

К.Я.ОРЛОВ
В.А.ПАРХИМОВИЧ

РЕМОНТ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ



К.Я.ОРЛОВ
В.А.ПАРХИМОВИЧ

РЕМОНТ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Допущено
Управлением
учебных заведений МГА
в качестве учебника для средних
специальных учебных заведений
гражданской авиации



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1986

р-
р-
к-
т
е
р-
и
Ю
а

р-
м
а-
и-
а-

зо
н-
а-
ях
а-
и-
и,

ся
у.
ут
е-

ся

и
ль

по
то
з

Орлов К. Я., Пархимович В. А. Ремонт самолетов и вертолетов: Учебник для авиац. училищ. — М.: Транспорт, 1986. — 295 с.

Изложены основы ремонта самолетов и вертолетов. Приведены необходимые сведения по управлению производственным процессом и его оснащению, автоматизации, управлению качеством. Рассмотрены современные методы технического диагностирования, особенности обнаружения дефектов и неисправностей, описаны технологические процессы ремонта основных узлов, агрегатов и систем, а также восстановления деталей.

Для учащихся авиационных училищ, может быть использовано инженерно-техническими работниками ремонтных и эксплуатационных авиапредприятий.

Ил. 185, табл. 3, библиогр. 8 назв.

Рецензенты: Егорьевское авиационное техническое училище гражданской авиации и канд. экон. наук Е. Н. Китов

Заведующий редакцией В. С. Захаров

Редактор Л. В. Васильева

ВВЕДЕНИЕ

Самолет (вертолет) — сложнейшая инженерная конструкция, которая непрерывно совершенствуется по всем параметрам: скорости, грузоподъемности, высотности, прочности, надежности, эффективности и т. п. Скорость пассажирских самолетов возросла от 100 км/ч в 20-х годах нашего столетия до сверхзвуковой в наше время. На трассах появились самолеты, способные перевозить более 300 пассажиров на высотах 10—15 км на расстояние в тысячи километров. Нагрузка на квадратный метр крыла возросла от 500 до 4500 Н и более. Ресурсы значительно увеличились, возросла долговечность, уровень надежности неизмеримо поднялся.

Значительно расширилось применение авиации в народном хозяйстве: строительстве, разведке полезных ископаемых, сельском хозяйстве, рыбозахватке и др. Все это оказалось возможным благодаря использованию последних достижений науки и техники, применению новейших методов изготовления, использованию принципиально новых методов конструирования и исследования при создании авиационных конструкций.

На современном самолете устанавливается большое количество различного по назначению оборудования — от бортовых электронно-вычислительных машин, способных решать сложнейшие навигационные задачи, до энергетических, регулирующих и управляющих устройств разнообразных систем. В конструкциях современных самолетов насчитываются сотни тысяч крепежных деталей, миллионы заклепок, сотни километров трубопроводов и электропроводки, тысячи разъемных и неразъемных соединений.

В перспективе появятся самолеты нового поколения. Повысится их эффективность, уменьшится влияние на окружающую среду. Двигатели будут легче, экономичнее и менее шумные. Крылья будут создавать большую подъемную силу при высоком аэродинамическом качестве.

Появятся системы полной автоматизации полета. Расширится применение встроенных диагностических устройств.

Число эксплуатирующихся в гражданской авиации самолетов и вертолетов непрерывно возрастает и соответственно растет роль авиации в народном хозяйстве.

Известно, что любая машина требует систематической работы по поддержанию ее технического состояния на заданном уровне. Что

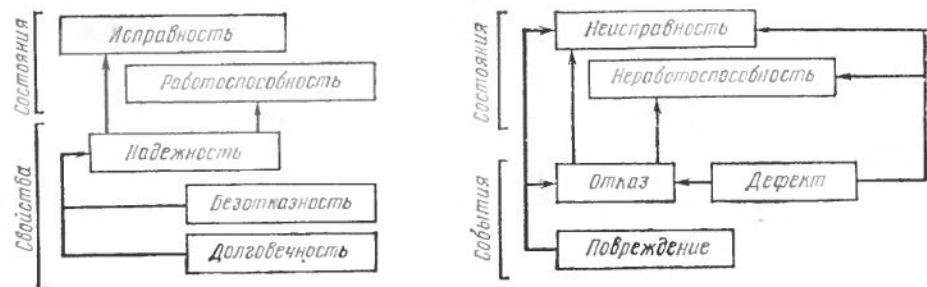


Рис. 0.1. Свойства и состояния изделий

же касается самолета или вертолета, то этот вид транспорта может нормально эксплуатироваться только при соблюдении двух важных условий: полного обеспечения безопасности полетов и достаточной эффективности использования. Основным условием обеспечения безопасности полетов является безотказная работа в воздухе всей материальной части: двигателей, планера, бортовых систем и оборудования. Эффективность во многом зависит также от исправности и работоспособности материальной части самолета и вертолета. Следовательно, в течение всего срока эксплуатации необходимо оценивать их техническое состояние и выполнять комплекс работ по поддержанию заданного уровня надежности, долговечности, исправности и других показателей.

Оценка технического состояния материальной части производится на основе терминов и определений, данных в ГОСТ 27.002—83, 15467—79, 16322—80. При всем многообразии деталей, агрегатов и узлов авиационных конструкций в течение всего периода эксплуатации общим для них является то, что все они должны находиться в определенном состоянии и иметь определенные свойства (рис. 0.1).

Исправность — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Под объектом здесь и далее будем понимать самолет (вертолет), его агрегаты, узлы и детали.

Под нормативно-технической документацией будем понимать чертежи, технические условия и другую документацию, краткое описание которой дано в гл. 1.

Неисправность — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией.

Важнейшей характеристикой состояния объекта является **работоспособность**, т. е. состояние, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение установленных нормативно-технической документацией параметров.

Противоположное состояние — **неработоспособность**: состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Из приведенных определений очевидно, что понятие исправность шире, чем понятие работоспособность. Работоспособный объект может быть неисправным, но способным выполнять заданные функции. Например, нарушение требований к внешнему виду декоративных покрытий не приводит к неработоспособности самолета (вертолета).

Исправность и работоспособность характеризуют состояние объекта в каждый отдельный момент времени. Для того чтобы объект сохранял работоспособность и исправность в течение определенного времени, он должен обладать свойством надежности.

Надежность — свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах. Эти пределы должны соответствовать: заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Таким образом, надежность как свойство может не сохраниться, если будут, например, нарушены условия транспортирования или использования. Так, установка какой-либо детали на другой тип авиатехники, что не было предусмотрено документацией, может привести к уменьшению периода, в который она будет работоспособна, т. е. к снижению надежности, поскольку изменятся условия нагружения. Надежность является комплексным свойством, включающим безотказность, долговечность и др.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. **Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. **Предельное состояние** — состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена. Признаки предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект. В признаки предельного состояния для самолетов и вертолетов, кроме определенных параметров, входит такой показатель долговечности, как **назначенный ресурс**, т. е. суммарная наработка объекта, при которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Предельное состояние для самолетов и вертолетов определяется наступлением момента, когда дальнейшая эксплуатация невозможна или нецелесообразна по одной или нескольким из следующих причин:

становится невозможным поддержание безопасности полетов или эффективности эксплуатации на допустимом уровне;

в результате изнашивания и старения самолет (вертолет) приходит в такое состояние, когда невозможно обеспечить восстановление работоспособности и исправности или требуются недопустимо большие затраты для восстановления работоспособности.

Для самолетов и вертолетов имеет большое значение также **фактор морального старения**. Это означает, что ранее эксплуатировавшаяся авиационная техника не отвечает, например, возросшим требованиям к скорости, дальности и высотности полетов, автома-

тизации управления воздушным движением, трудоемкости и удобствам работы экипажей в полете, объему затрат труда и средств на наземное обслуживание, сокращению расхода топлива, уровню комфорта для пассажиров и другим характеристикам. Несмотря на то, что конструкция работоспособна и надежна, эксплуатация ее прекращается.

Важной характеристикой работы авиационной техники является ее наработка. *Наработкой* называется продолжительность или объем работы объекта. Для самолетов и вертолетов наработка исчисляется в часах, полетах (взлет — посадка) или календарном сроке. Для одних типов самолетов имеет решающее значение наработка в полетах, для других — в часах. Это определяется по результатам расчетов и испытаний, при которых выясняется, какой показатель оказывает более значительное влияние на прочностные характеристики конструкции. Назначенный ресурс дополняется характеристикой, называемой *сроком службы* — календарной продолжительностью эксплуатации объекта от ее начала до наступления предельного состояния.

Переход из исправного и работоспособного состояний в неисправное и неработоспособное может произойти при наступлении событий, именуемых отказом, повреждением или при появлении дефекта.

✓ *Отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Признаки отказов устанавливаются нормативно-технической документацией на данный объект. *Повреждение* — событие, заключающееся в нарушении исправности объекта или его составных частей (агрегатов, узлов, деталей) вследствие внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на объект. Повреждение может быть незначительным, при котором работоспособность объекта сохраняется. Значительное повреждение может привести к отказу. Причиной отказов могут быть дефекты, допущенные при конструировании, производстве и ремонтах, нарушение правил и норм эксплуатации, различного рода поломки, а также естественные процессы изнашивания и старения.

✓ *Дефектом* называется каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Термин дефект связан с термином неисправность, но не является его синонимом. Неисправность представляет собой определенное состояние изделия. Находясь в исправном состоянии, изделие имеет один или несколько дефектов. В отличие от термина дефект термин неисправность распространяется не на всякую продукцию. Например, не называют неисправностями отклонение показателей качества топлива, химических продуктов и т. п. Термин дефект следует отличать также от термина отказ. Отказ может возникнуть в результате наличия в изделии одного или нескольких дефектов, но появление дефектов не всегда означает, что возник отказ, т. е. изделие стало неработоспособным.

С помощью приведенных выше понятий и терминов мы можем качественно оценить техническое состояние материальной части

самолетов и вертолетов, т. е. определить состояние исправности или неисправности, наличие дефекта, повреждения и т. п. Однако при этом требуются количественные характеристики неисправностей, дефектов или повреждений. Чтобы их определить, необходимо осуществить комплекс специальных действий, называемых техническим обслуживанием и ремонтом.

Поскольку в процессе эксплуатации авиационных конструкций протекает широкий спектр необратимых физико-химических изменений (накопление усталостных повреждений, изнашивание, старение и т. п.), необратимо изменяются состояние и свойства деталей, узлов, агрегатов. Наступает момент, когда эти изменения могут привести к отказам, полной или частичной потере работоспособности, что нарушит безопасность полетов. Процессы, приводящие к появлению необратимых изменений, очень сложны и предвидеть закономерность их развития с ростом наработки не всегда удается. В связи с этим принимается система технического обслуживания и ремонта авиатехники, позволяющая своевременно выявить все предпосылки к появлению возможных отказов, неисправностей или повреждений, а также обнаружить возникающие дефекты.

В настоящем учебном пособии рассматривается *ремонт*, т. е. комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности, а также ресурсов самолетов, вертолетов и их агрегатов.

Ремонт авиационной техники выполняется в трех случаях: при восстановлении работоспособности или исправности после их нарушения в результате особых случаев: поломок, аварий, значительных повреждений, эксплуатации в особых условиях, приведших к потере работоспособности (например, значительные коррозионные повреждения в условиях влажного тропического или морского климата);

при выполнении переоборудования или реконструкции; при отработке установленных ресурсов.

Восстановление работоспособности зачастую не может быть выполнено в условиях аэродрома или в полевых условиях. Кроме того, устранение повреждений часто требует большого объема демонтажно-монтажных, регулировочных и испытательных работ, которые можно выполнить только в заводских условиях. В таких случаях самолет или вертолет направляют в ремонт.

Поскольку применение авиации в народном хозяйстве непрерывно расширяется, возникают новые задачи, для решения которых промышленности не выпускает специализированных типов самолетов и вертолетов. В таких случаях идут по пути модификации уже эксплуатирующейся авиатехники. Модификация осуществляется путем установки специального оборудования как внутри, так и на внешней поверхности самолета или вертолета. При этом выполняется большой объем работ по реконструкции планера, бортовых систем, оборудования пассажирских кабин и другие работы. Все это может быть выполнено только в заводских условиях, и авиатехнику направляют в ремонт.

Ресурс определяется как наработка до наступления определенного технического состояния самолета, вертолета или их агрегатов. Кроме упоминавшегося выше назначенного ресурса, широко применяются ресурсы до первого ремонта и между ремонтами. В первом случае ресурс устанавливается заводом-изготовителем, во втором — авиаремонтным предприятием. Таким образом, в период после первого ремонта и до отработки назначенного ресурса ответственность за весь комплекс ремонтных работ, а следовательно, и за исправное состояние отремонтированной авиатехники несет авиаремонтное предприятие.

Ресурс исчисляется в часах, полетах или дается срок службы в календарном исчислении времени. Ресурс зависит от уровня надежности, запасов прочности конструкции, особенностей эксплуатации и других характеристик самолетов и вертолетов, их агрегатов, деталей или узлов. В отдельных случаях ресурсы (назначенные, межремонтные) некоторых агрегатов, деталей или узлов могут не совпадать с ресурсами всего самолета или вертолета, поэтому замены деталей и агрегатов по отработке ресурса могут производиться и в эксплуатационных предприятиях.

Существует прямая связь ресурса с надежностью авиационной техники. Чем выше показатели надежности, тем больше ресурсы. И в этом смысле ремонт играет значительную роль. Здесь имеет большое значение не только качество ремонта, но и совершенствование конструкции, которое выполняется при этом. Практически для всех ремонтируемых самолетов и вертолетов межремонтные ресурсы с начала изготовления увеличивались. Причем, часто это увеличение было значительным. Так что во многих случаях комплекс ремонтных работ направлен не только на восстановление ресурса, но и на его увеличение.

Данные о техническом состоянии конструкции, полученные при ремонте, служат основанием для доработки недостаточно надежных мест конструкции, для улучшения технологичности, т. е. обеспечения доступов для ремонтных, монтажных и диагностических операций, улучшения условий монтажа, испытаний и др. Таким образом, ремонт оказывает влияние и на эффективность эксплуатации отремонтированной авиатехники.

Как мы видим, во многих случаях под термином ремонт подразумевают не только комплекс технологических операций по восстановлению работоспособности и ресурсов авиатехники, но и другие работы, выполняемые на самолетах, вертолетах или их агрегатах при их пребывании на авиаремонтном предприятии.

Однако, как бы ни расширялось понятие ремонт, его применение всегда включает: определение технического состояния, устранение обнаруженных неисправностей и дефектов, испытание и сдачу отремонтированной продукции. Независимо от сложности детали или всего изделия упомянутые этапы ремонта должны быть выполнены. Если это сложная конструкция (самолет, вертолет, агрегат, узел), ее разбирают, очищают и промывают для целей технического диагностирования. Если это отдельная деталь (вал, втулка, шестерня

и т. п.), разборка не требуется, после промывки деталь подвергают техническому диагностированию, затем устраняют обнаруженные неисправности и дефекты.

Таким образом, термин ремонт может применяться в узком смысле для обозначения технологических операций ремонта непосредственно на деталях, узлах и агрегатах авиатехники, а также в широком смысле, как понятие, обозначающее комплекс операций по восстановлению работоспособности и ресурсов самолетов, вертолетов и их агрегатов.

По сравнению с другими видами машиностроительных изделий самолеты и вертолеты как объекты ремонта имеют следующие особенности:

1. Высокие требования к качеству вообще и надежности в особенности, что диктуется специфическими условиями эксплуатации авиатехники в воздухе. Этим основным требованиям подчинены технологические процессы изготовления и ремонта. Эти требования диктуют также необходимость проведения значительного объема контрольных и испытательных работ.

2. Высокие требования к качеству и надежности вызывают необходимость разработки и оформления расширенного объема технологической, контрольной и исполнительной документации при ремонте.

3. Большой объем демонтаж-монтажных и ремонтных работ с применением ручного труда. Сложные пространственные формы, ограниченные и весьма насыщенные оборудованием внутренние объемы, ограниченная взаимозаменяемость, наличие жестких элементов конструкции и другие конструктивные особенности затрудняют применение большого числа механизированных и автоматизированных операций для демонтажа, монтажа и ремонта.

4. Значительная номенклатура используемых материалов. Наряду с широким использованием легких сплавов, применяются высокопрочные стали, титановые сплавы. Все более расширяется применение неметаллических материалов, особенно композиционных, использование которых характерно только для авиационной техники. Такое разнообразие требует разработки и применения специфических технологических процессов ремонта.

5. Широкая номенклатура деталей и агрегатов, что усложняет производственный процесс, планирование и контроль технологического процесса ремонта. Например, только в гидросистемах современных самолетов насчитывается более 200 агрегатов. Большое число используемых при ремонте различных полуфабрикатов, ремонтируемых приборов, сложнейшего радиоэлектронного оборудования, агрегатов бортовых систем приводит к широкому кооперированию со многими специализированными предприятиями различных отраслей народного хозяйства. Кооперирование требует значительного объема организационных мероприятий от планирования и диспетчирования до строгого контроля исполнения на основе устойчивых связей с заводами-смежниками.

6. В отличие от производственных процессов изготовления изделий машиностроительной промышленности в производственных процессах ремонта в подавляющем большинстве случаев участвуют не новые детали, агрегаты и узлы, а уже работавшие, имеющие износы, повреждения, дефекты и т. п. В то же время из ремонта авиатехника должна выходить с ресурсами не только равными ресурсам до первого ремонта, установленными авиапромышленностью, но и превышающими их. При этом выпуск продукции из ремонта производится по техническим условиям на новую продукцию. Ни по летным характеристикам, ни по параметрам всех бортовых систем, ни по уровню комфорта для пассажиров и экипажа отремонтированный самолет (вертолет) совершенно не должен отличаться от нового. В этом смысле самолеты (вертолеты) должны быть взаимозаменяемы. Иными словами, любой экипаж, переходя с нового самолета на отремонтированный, не почувствует разницы в процессе эксплуатации ни по каким характеристикам.

Для того чтобы осуществить комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности, а также ресурсов ремонтируемой авиатехники, прежде всего необходимо иметь авиаремонтное производство. Цель такого производства — выполнить ремонт в возможно короткий срок с минимальными затратами труда и средств.

Авиаремонтное производство может быть организовано в условиях завода, авиационно-технических баз и других предприятий. Авиаремонтное производство организуется там, где возможно осуществление производственного процесса. Однако где бы ни было организовано авиаремонтное производство, технологический процесс ремонта должен выполняться без каких-либо отступлений от требований нормативно-технической документации.

Глава 1

АВИАРЕМОНТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Безопасность полетов, долговечность авиационной техники, эффективность ее использования обеспечиваются по двум направлениям: в летной эксплуатации и наземном обслуживании. Особенность воздушного транспорта состоит в том, что наземное обслуживание неразрывно связано с летной эксплуатацией, полет не может состояться, если наземное обслуживание не обеспечено. Фундамент безопасного, экономичного полета закладывается на земле.

В систему наземного обеспечения безотказной работы авиационной техники входят два важнейших звена: техническое обслуживание и ремонт.

В 40—50-е годы действовала система плано-предупредительных капитальных и средних ремонтов, предусматривающая полную разборку самолета при определенной наработке независимо от его технического состояния. Это было вызвано прежде всего недостаточным знанием зависимости состояния конструкции от наработки, отсутствием методов моделирования поведения наиболее ответственных агрегатов и узлов с ростом наработки, недостаточной изученностью процессов изнашивания, отсутствием отработанных методов неразрушающего контроля и другими факторами. В этих условиях связь между техническим обслуживанием и ремонтом была недостаточно тесной, отсутствовала единая система сбора и обработки информации о техническом состоянии авиационной техники.

С течением времени накопились необходимые знания, промышленностью начали выпускаться новые приборы неразрушающего контроля, установились более тесные контакты в единой цепи: эксплуатация — ремонт — научные учреждения — конструкторские организации. Понятие капитальный ремонт постепенно стало терять свое значение. Уточнялись ресурсы и их зависимость от объемов наземных работ. Технологичность авиационных конструкций значительно улучшилась. Авиационная промышленность на основе результатов дефектации при техническом обслуживании и ремонте, на основе анализа отказов и неисправностей более оперативно и обоснованно стала выполнять доработки, совершенствовать конструкцию. Каждая новая модификация, каждая новая серия самолетов и вертолетов выпускались с учетом накопившегося опыта, знаний и возможностей. По мере внедрения новых форм технического обслуживания и ремонта связь между ними становится более тесной.

Формирование объемов ремонтных работ проводится по единым программам и планам-графикам как для технического обслуживания, так и для ремонта.

В настоящее время все более широкое распространение получают системы эксплуатации и ремонта с учетом фактического состояния авиационной техники. Следовательно, намечается переход к такой системе, когда ремонт станет частью, одной из форм технического обслуживания.

1.2. СИСТЕМЫ РЕМОНТОВ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

При создании самолета или вертолета, на стадии проектирования закладывается определенный уровень надежности всех его частей. При этом в любой конструкции невозможно добиться такого положения, чтобы ресурсы планера, всех агрегатов и узлов были равны между собой. Заданные разработчиком ресурсы, связанные с уровнем надежности элементов авиационных конструкций, в процессе эксплуатации уточняются. В одних случаях заданный уровень надежности подтверждается, в других оказывается ниже или выше. Прогнозировать показатели надежности каждого узла, агрегата или деталей с высоким уровнем достоверности невозможно. Поэтому в период эксплуатации необходимо выполнять определенные работы для оценки технического состояния самолета и вертолета, устранения неисправностей, восстановления работоспособности, проводить плановые доработки, обеспечивающие безотказную работу в течение установленных ресурсов, т. е. проводить ремонт. Определенная последовательность выполнения ремонтов образует систему ремонтов.

Система капитальных ремонтов. При этой системе самолет, вертолет или агрегат поступают в ремонт через определенные, строго регламентированные промежутки времени, полностью разбираются, подвергаются техническому диагностированию и ремонту независимо от технического состояния. Такую систему называют системой планово-предупредительных капитальных ремонтов.

Преимущество этой системы состояло в техническом диагностировании всей конструкции. Таким образом имелась возможность обнаружить неисправность и предотвратить отказ. Однако с течением времени выявились существенные недостатки этой системы:

большое число демонтажно-монтажных работ, во многих случаях без учета фактического технического состояния конструкций, приводит к появлению неоправданных износов, нарушению условия посадки в соединениях, нарушению параметров регулировки и т. п.; длительные сроки (в связи с большой трудоемкостью ремонтных работ) пребывания авиатехники в ремонте значительно снижают эффективность ее использования.

В настоящее время система капитальных ремонтов для самолетов и вертолетов в гражданской авиации применяется достаточно

редко. Однако шасси, воздушные винты и некоторые другие агрегаты систем подвергаются капитальным ремонтам. Ведутся интенсивные поиски возможностей перехода на менее трудоемкие системы ремонта.

Система регламентированных ремонтов. Суть этой системы состоит в том, что объем каждого ремонта изменяется по мере наработки часов в зависимости от технического состояния конструкции. При этом все ремонтные работы делятся на две части: постоянно выполняемые и переменные.

Постоянный объем работ включает техническое диагностирование наиболее «слабых» мест конструкции, замену агрегатов с ограниченным ресурсом через фиксированные промежутки времени. Переменный объем ремонтных работ зависит от технического состояния конструкции, изменяясь с ростом наработки и в связи с техническим состоянием данного экземпляра. Например, шасси демонтируется при каждом регламентированном ремонте, а отъемная часть крыла, начиная со второго ремонта.

В настоящее время система регламентированных ремонтов применяется для средних магистральных самолетов. При формировании объема ремонта для многих агрегатов предусматривается проверка технического состояния по нормам технических параметров (НТП), и ремонт осуществляется в том случае, когда фактические НТП не соответствуют техническим условиям.

Система регламентированных ремонтов дает возможность сократить сроки нахождения самолетов в ремонте, поскольку при определении объема ремонта учитывается техническое состояние конструкции. Эта система позволяет также систематически пересматривать перечни ремонтных работ по мере накопления и обработки информации об уровнях надежности узлов, агрегатов и всей конструкции в целом. Накопление информации проводится по специальной системе подконтрольной эксплуатации группы самолетов. Это означает, что анализ технического состояния конструкции каждого подконтрольного самолета выполняется объединенной группой специалистов авиационно-технической базы (АТБ), ведущего авиационного ремонтного завода (АРЗ), представителей разработчиков и изготовителей. В процессе анализа оценивается уровень надежности агрегатов, деталей и узлов, эффективность ремонтных работ, вносятся предложения об изменении и уточнении объемов ремонта.

В системе регламентированных ремонтов используется информация, поступающая в результате оценки технического состояния самолетов-лидеров. Такие самолеты эксплуатируются ускоренно, с наработкой, значительно превышающей наработку всего парка. По отработке назначенного ресурса такие самолеты подвергаются испытаниям на определение остаточной прочности, что позволяет уточнять ресурсы.

Система зональных ремонтов. При этой системе конструкция самолета или вертолета делится на ряд зон так, что на различных этапах эксплуатации ремонтные работы проводятся в определенной зоне. Причем, работы по зонам не совпадают во времени и могут

выполняться при различной наработке. Зоны могут быть крупными, например крыло. Крупная зона делится на более мелкие, например элерон. Техническая документация на выполнение работ разрабатывается применительно к зональной разбивке.

Такая система оказывается весьма эффективной, когда в конструкции самолета или вертолета разбивка на зоны предусмотрена еще на стадии проектирования. В этом случае разграничение зон проводится по конструктивным элементам. Например, если управляющие агрегаты гидрогазовой системы сосредоточены в одной зоне, все ремонтные работы быстро и эффективно выполняются с применением специального оборудования, независимо от остальных зон. Система зональных ремонтов имеет то преимущество, что информация о техническом состоянии зоны поступает на ранней стадии эксплуатации, так как нет необходимости ожидать поступления в ремонт всего самолета или вертолета.

К любой зоне для проведения работ должен быть обеспечен свободный доступ. Зональный метод ремонта позволяет расширить фронт работ, сократить объем подготовительно-заключительных операций, создать наиболее производительные условия труда, что в целом сокращает время проведения ремонтных работ. Широкое применение панельной сборки, модульных конструкций при изготовлении самолетов и вертолетов сделают зональный ремонт более эффективным, позволяя применить непрерывный ремонт по зонам.

В этом случае не будет необходимости останавливать самолет на длительное время, а периодически, совмещая это с регламентными работами, можно определять техническое состояние конструкции.

Система ремонта по техническому состоянию. Эта система от всех предыдущих отличается тем, что техническое состояние каждого конкретного ремонтируемого объекта оценивается в процессе эксплуатации и ремонт проводится при достижении им некоторого предельного состояния. В этом случае межремонтный ресурс не назначается, так как изделие поступает в ремонт не по наработке, а по техническому состоянию. Эта система позволяет использовать резервы надежности каждого конкретного экземпляра. Ведь известно, что надежность имеет разбросы, которые не учитываются при ремонте по истечении определенной наработки.

Наиболее эффективной система ремонтов по техническому состоянию окажется тогда, когда на стадии проектирования будут предусмотрены конструктивные мероприятия по определению технического состояния всех узлов, агрегатов и систем. Здесь большую роль сыграют встроенные системы контроля, предусматривающие проверку основных параметров: давления, температуры, расходов жидкости, загрязненности систем, наличия продуктов износа, времени срабатывания, уровня вибрации и др. Контроль этих параметров может быть автоматизирован на борту воздушного судна, сообщение о выходе параметра из допуска может быть передано экипажу и к месту базирования.

В настоящее время такая система широко применяется в радиоэлектронном оборудовании, что позволило перейти на его ремонт

по техническому состоянию. В других системах встроенный контроль также получает все большее развитие: устанавливаются, например, сигнализаторы наличия стружки в масле, измерители вибрации и т. п.

Ремонт по техническому состоянию возможен в том случае, когда налажена система сбора и обработки информации о техническом состоянии конструкции. Обработка такой информации позволит прогнозировать состояние элементов конструкции. Например, прогнозирование скорости развития трещины позволит определить момент, когда она приведет к потере работоспособности детали. Ремонт в этом случае не будет произведен сразу же при возникновении трещины, если это не нарушит, например, герметичности. При других системах ремонт трещины выполняют сразу же при обнаружении или разрешают эксплуатацию до ремонта.

Система ремонта по техническому состоянию в настоящее время внедряется при ремонте отдельных агрегатов. Неоспоримые преимущества этой системы — сокращение сроков ремонта, экономическая целесообразность — способствуют дальнейшему ее развитию и внедрению. Самолеты, вертолеты нового поколения будут, несомненно, сконструированы с учетом применения системы ремонта по техническому состоянию.

Система ремонта по уровню надежности. При всех системах ремонта отдельные агрегаты и узлы могут эксплуатироваться по уровню надежности или до отказа. В первом случае, когда известен уровень надежности, изделие ремонтируется или заменяется по достижении этого уровня, оцениваемого в часах, полетах, числе срабатываний и т. п. Во втором случае агрегат или узел эксплуатируют до отказа, и только после этого он подлежит замене или ремонту.

При проектировании некоторых конструкций закладывают принцип безопасной повреждаемости. Это означает, что при появлении некоторой неисправности работоспособность конструкции сохраняется, хотя нарушены технические условия, появляется неисправность. Например, появилась трещина или повышенный износ в соединении. Поскольку в конструкции заложен такой принцип, устранение неисправности не проводится, конструкция оказывается работоспособной.

1.3. АВИАРЕМОНТНЫЙ ЗАВОД

Образование АРЗ. Авиаремонтное производство является важнейшей составной частью в системе обеспечения надежности, долговечности и эффективности эксплуатации авиационной техники. Возрастающая сложность самолетов, вертолетов как воздушных транспортных средств, оснащенных современным оборудованием, высокие требования к качеству ремонтных работ привели к созданию авиаремонтных заводов.

В 30—40-х годах самолеты гражданской авиации ремонтировались в полевых условиях, в маленьких мастерских, оснащенных при-

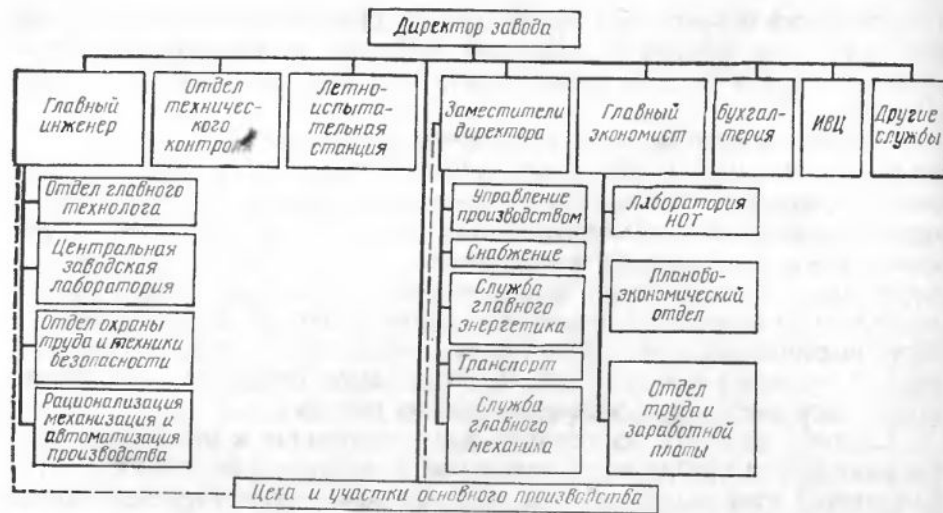


Рис. 1.1. Типовая организационная структура авиаремонтного завода

митивным оборудованием, с незначительной численностью работающих. В тот период не было нужды в крупных авиаремонтных предприятиях. Мастерские справлялись с объемом ремонтных работ, обеспечивая необходимый уровень исправности самолетного парка. Выход на трассы самолетов Ли-2, появление надежного и экономичного самолета Ил-12, а затем Ил-14, начавшееся применение в народном хозяйстве вертолетов, привели к усложнению процесса ремонта и к росту объема работ, так как численность парка самолетов и вертолетов резко возросла. Применявшаяся система капитальных ремонтов предусматривала полную разборку, дефектацию, испытание самолетов и вертолетов. Все это потребовало организации авиаремонтного производства на новой, заводской основе.

В 50-х годах крупные авиаремонтные мастерские, авиационные ремонтные базы были преобразованы в заводы. В этот же период ремонт стал выполняться по специально разработанной технологической документации, в основу которой были положены машиностроительные технологии. В дальнейшем структура авиаремонтного производства совершенствовалась, дорабатывалась руководящая техническая документация, внедрялись методы научной организации труда, в системе управления производством широко стала применяться вычислительная техника, автоматизация производственных процессов. В настоящее время АРЗ представляет собой современное высокоорганизованное предприятие, способное на высоком уровне обеспечить выполнение сложного комплекса работ по ремонту самолетов, вертолетов, авиадвигателей, радиоэлектронного, приборного, электротехнического оборудования и агрегатов всех систем.

Производственная структура АРЗ. Авиаремонтный завод — предприятие, хозяйственная деятельность которого регламентируется «Положением о социалистическом государственном производственном предприятии». АРЗ представляет собой сложную организацию. Его производственная структура включает в себя цехи, участки основного и вспомогательного производств, учетные и управляющие подразделения (рис. 1.1).

Авиаремонтный завод возглавляет директор, которому подчинен ряд служб непосредственно или через заместителей. В соответствии с положением о трудовых коллективах они принимают участие во всей деятельности завода.

Главный инженер и подчиненные ему отделы осуществляют техническое руководство предприятием. Отдел главного технолога (ОГТ) разрабатывает все виды технологической документации и осуществляет авторский надзор за их исполнением. Основной вид документации, который разрабатывает ОГТ, — технология ремонта.

Отдел технического контроля (ОТК) — группа специалистов, осуществляющих пооперационный, групповой и комплексный контроль за качеством выполнения работ, предписанных всеми видами технологической документации. В технологиях, технологических указаниях и других видах нормативно-технической документации предусмотрены конкретные работы, предъявляемые работнику ОТК. Однако это только часть его обязанностей. Контрольный мастер — основная производственная единица ОТК — является участником процесса производства и обязан следить за ходом его выполнения. Проверка инструмента, документации, выполнение технологических операций ремонта — все это должно находиться в поле зрения контрольного мастера. В обязанности ОТК входит анализ дефектов, обнаруживаемых в процессе контроля, активное участие в разработке мероприятий по обеспечению высокого качества всех ремонтных работ. ОТК — основное звено в системе управления качеством выпускаемой продукции. Начальник ОТК подчиняется непосредственно директору завода, в связи с чем на его решения не может повлиять никакая другая служба. Только после подписи начальника ОТК самолет признается готовым к сдаче заказчику. Высокая мера ответственности работников ОТК сочетается с большими правами.

Летно-испытательная станция (ЛИС) — подразделение, осуществляющее наземные и летные испытания самолетов и вертолетов. ЛИС на заключительном этапе оценивает всю проведенную при ремонте работу и дает окончательное заключение о возможности допуска воздушного судна к рейсовым полетам. Так же, как и ОТК, ЛИС подчиняется непосредственно директору завода. Цель такого подчинения — независимость в принятии решений, поскольку это связано с безопасностью полетов. ЛИС руководствуется также документами, регламентирующими летную работу в гражданской авиации СССР.

Основным производственным подразделением является цех — обособленное административное подразделение, наделенное опера-

тивной самостоятельностью в решении внутренних организационных, экономических и хозяйственных вопросов. Внутри цеха определенная совокупность рабочих мест может образовать производственный участок. Цехи и производственные участки делятся на основные, вспомогательные и обслуживающие. К основным цехам относятся сборочные, ремонтные основной продукции, механической обработки. К вспомогательным — цехи: изготовления нестандартного оборудования, энергосиловой. К обслуживающим относятся транспортные, ремонтно-строительные цехи, складское хозяйство.

В каждом авиаремонтном предприятии специализация и число цехов могут быть разными, поскольку различаются типы и число ремонтируемой авиатехники, оснащённость оборудованием. Обеспеченность производственными сооружениями также существенно влияет на цеховую производственную структуру.

Специализация АРЗ. Авиаремонтные заводы специализируются по типам и видам авиационной техники. На некоторых заводах ремонтируют несколько типов самолетов, вертолетов и авиадвигателей. По каждому типу самолета или вертолета выделяется ведущий АРЗ. На таком предприятии разрабатывается вся нормативно-техническая документация на ремонт. Другие заводы, ремонтирующие такую же технику, являются ведомыми, сами документацию не разрабатывают, а применяют разработанную ведущим заводом. Такая специализация позволяет целенаправленно, не распыляя сил и средств, обрабатывать и совершенствовать технологические процессы ремонта, организацию производства, осуществлять связь с промышленными предприятиями и научными организациями. Производственные отношения между ведущим и ведомым заводами регламентируются специальными положениями.

1.4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС РЕМОНТА

В авиаремонтном производстве применяют различные методы и средства для ремонта авиационной техники — самолетов, вертолетов и их агрегатов. Совокупность методов и средств производства, соединенных трудовым процессом людей для ремонта, называется *производственным процессом ремонта* авиационной техники, который включает: управление производством, финансовую деятельность, обеспечение энергетикой, снабжение, а также технологический процесс ремонта. К *технологическому процессу ремонта* относится та часть производственного процесса, в которой содержатся действия по определению технического состояния изделия, изготовлению новых деталей, устранению обнаруженных неисправностей, монтажу и испытанию самолетов, вертолетов и их агрегатов. Технологический процесс ремонта самолетов и вертолетов состоит из нескольких крупных этапов:

1. Приемка в ремонт — процесс передачи ремонтируемого объекта заказчиком ремонтному предприятию (под ремонтируемым

объектом понимается самолет, вертолет или поступающий отдельно агрегат).

2. Объемная дефектация — первый этап работы по определению технического состояния материальной части.

3. Разборка. Операции выполняют по утвержденным перечням работ в соответствии с технологией ремонта, после чего детали, агрегаты и весь объект очищают и промывают.

4. Комплектование изделий по группам и передача их в ремонт.

5. Техническое диагностирование — совокупность действий по определению технического состояния ремонтируемого объекта и методов устранения обнаруженных неисправностей и дефектов.

6. Ремонт и доработка конструкции — совокупность действий по устранению обнаруженных неисправностей и дефектов и доработка конструкции по специальным документам.

7. Сборка, монтаж, отработка. После окончания этих работ самолет, вертолет передается на ЛИС. Агрегат проходит статочные испытания.

8. Наземные и летные испытания — этап технологического процесса ремонта, представляющий собой контрольно-статочные испытания.

9. Сдача заказчику. Этот этап завершает технологический процесс ремонта.

1.5. ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА

В технологии ремонта разработан технологический процесс ремонта самолета, вертолета или агрегата. Технология ремонта является директивным документом, исполнение которого обязательно, нарушения могут привести к снижению уровня надежности. Как уже отмечалось, технология ремонта разрабатывается ведущим заводом по данному типу авиационной техники. Проектирование технологии — процесс сложный и многоэтапный.

При освоении ремонта нового типа самолета, вертолета или агрегата на первом этапе изучается документация разработчика, изготовителя, анализируется опыт эксплуатации этих изделий, поскольку в ремонт они поступают после отработки первого установленного ресурса. Изучается также опыт эксплуатации аналогичных изделий.

Основные руководящие материалы. Такими материалами для разработки технологии ремонта являются: технические условия, чертежи, «Альбом основных сочленений и ремонтных допусков», «Руководство по ремонту», ГОСТы, приказы и указания вышестоящих организаций, инструктивный материал научно-исследовательских организаций, официальные справочные источники.

Технические условия — основной документ, в котором оговариваются технические параметры на изделие, допускаемые отклонения, условия испытаний, условия монтажа, требования к внешнему

виду, правила консервации, упаковки, хранения и другие характеристики выпускаемых изделий. Этот документ является основным потому, что при ремонте неукоснительно соблюдается правило: отремонтированное изделие должно соответствовать техническим условиям на новое, выпускаемое промышленностью изделие. Отступление от требований технических условий может привести к изменению основных параметров изделия: летных характеристик, давления, расхода, скорости срабатывания, кинематики механизмов и других показателей. Заводы-изготовители, опытные конструкторские бюро разрабатывают технические условия на основании результатов различного рода испытаний (ресурсных, на повторно-статические и вибрационные нагрузки, серийных, специальных на усталостную выносливость), опытной эксплуатации. Используются также методы математического моделирования и прогнозирования процессов изнашивания. Этим объясняется обоснованность технических условий. По мере накопления информации об уровне надежности они могут изменяться, что должно найти отражение в технологии ремонта.

Чертежи сборочные, деталировочные являются основой для разработки последовательности разборки, сборки, монтажа. В чертежах указываются все размеры, конкретные требования к технологии изготовления, методы обеспечения чистоты поверхности, методы контроля.

«Альбом основных сочленений и ремонтных допусков» служит справочным и руководящим материалом. Здесь указываются допускаемые ремонтные размеры отверстий, перемычек, болтов, допускаемые изменения посадок и т. п.

«Руководство по ремонту» дает основные сведения по объему ремонтных работ: что должно быть демонтировано, разобрано, объем разборки, что подлежит контролю, допускаемые износы, методы усиления и восстановления размеров. На первом этапе «Руководство по ремонту» дает возможность определить объем ремонтных работ. Однако этот документ не может учитывать специфику конкретного ремонтного завода: наличие технологического оборудования, расцеховку, организационную структуру, конкретную систему управления качеством, производственными процессами и т. п. Поэтому разрабатывается технология ремонта. Все выполняемые работы по контролю, применяемые материалы, условия приемки, указываемые в технологии ремонта, должны соответствовать ГОСТам. Их соблюдение — непереносимое условие обеспечения высокого качества выпускаемой продукции.

Приказы и указания вышестоящих организаций могут вносить дополнения и уточнения в технологию ремонта. Остальные документы могут являться либо справочными, либо руководящими. Здесь необходимо иметь в виду, что только официально введенные инструкции, положения и другие виды документов могут приниматься во внимание при разработке технологии, ее уточнении и дополнении.

Общий технологический процесс ремонта самолета, вертолета состоит из ряда агрегатных технологических процессов: ремонта планера, шасси, оборудования, агрегатов и т. п.

Составные части технологического процесса. Технологический процесс обычно расчленяется на отдельные составные части: технологические операции, переходы, приемы и др.

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Сюда могут быть отнесены также контроль, маркировка, транспортировка.

Переход — законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента, объекта ремонта или изготовления при неизменном режиме работы оборудования. Изменение одного из перечисленных элементов определяет новый переход.

Приемом называется законченное движение рабочего в процессе выполнения операции.

На конкретном примере рассмотрим одну из технологических операций:

Операция	Переход	Приемы
Установить кронштейн	Разметить привалочную поверхность	Взять кронштейн, приложить к поверхности, накернить центры
	Просверлить отверстия	Взять дрель, вставить сверло, совместить с керном, просверлить
	Зачистить	Взять шлифовальную шкурку, удалить заусенцы
	Загрунтовать	Обезжирить, взять пульверизатор, окрасить
	Установить кронштейн	Совместить отверстия, вставить болты, навернуть гайки, затянуть моментом <i>M</i>
Контроль установки	Проверить качество затяжки	Взять ключ, проверить затяжку
	Проверить качество установки	Осмотреть кронштейн, осмотреть болты и гайки

В конкретной технологии, в технологических картах указаны также чертежные номера деталей, значения моментов затяжки, материалы (проволока, грунт, шпаклевки и т. п.), инструмент (ключи, отвертки и т. п.), разряд выполняемой работы, номера чертежей, инструкций, чтобы при необходимости можно было получить нужную справку.

Существуют и некоторые другие составные части технологических процессов: позиция, рабочий ход, установ. При ремонте они применяются крайне редко. Их использование оправдано при крупносерийном или массовом производстве.

Состав технологии ремонта. Кроме технологических карт, в которых описывается технологический процесс ремонта, в состав технологии входят: общие положения, перечень постоянно заменя-

емых деталей, комплектовочные ведомости, карты неразрушающих методов контроля, эскизы, чертежи.

В общих положениях излагаются требования по охране труда, технике безопасности, культуре производства, организации рабочих мест. В перечень постоянно заменяемых деталей включают детали, которые заменяются при каждом ремонте: резиновые уплотнения, шплинты, стопорная проволока и др. Комплектовочные ведомости — перечень всех деталей, входящих в ремонтируемый узел, агрегат. Комплектовочные ведомости разрабатываются в двух видах: в ремонт и из ремонта. Эскизы, чертежи являются приложениями к технологии и служат справочным материалом. Например, эскизы усиливающей накладки, ремонтной втулки, сборочный чертеж агрегата.

Технологический процесс строится таким образом, чтобы обеспечить рациональные, высокопроизводительные последовательности сборочно-разборочных, демонтажно-монтажных, ремонтных и других работ. Здесь существенную роль играет типизация технологических процессов. Типовой технологический процесс позволяет применить рациональные, высокопроизводительные операции, приемы и распространить их на ремонт всех систем самолета (вертолета). Например, типовые технологические процессы ремонта трубопроводов, подшипников, болтов и гаек могут применяться на всех участках, независимо от принадлежности к той или иной системе. Типизация дает возможность централизовать ремонт, что в некоторых случаях выгоднее, чем выполнять его мелкими партиями на различных участках. Для гибки трубопроводов, например, применяются различные станки. При децентрализации их необходимо устанавливать на каждом участке. Загрузка оборудования при этом будет неоправданно низкой.

1.6. ПРОИЗВОДСТВЕННО-КОНТРОЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

В течение всего срока службы самолета и вертолета документация играет существенную роль. Основная функция производственно-контрольной документации (ПКД): учет проведенной работы, анализ ее полноты и эффективности, установление юридической ответственности за качество и полноту выполненной работы.

Каждое воздушное судно имеет: удостоверение, дающее право на его эксплуатацию; формуляры самолета и авиадвигателей, в которых отмечаются все выполненные работы — записи о каждом полете, регламентных и ремонтных работах, доработках конструкции. Каждому самолету придается альбом силовых элементов, в котором отмечаются ремонтные работы, проведенные на силовых элементах планера.

В системе управления качеством работ техническая документация на ремонт является важным звеном. Никакая работа не может считаться законченной до тех пор, пока не оформлена соответствующая документация. Перечень документов, описание их формы и

содержания входят в «Положение о разработке и издании производственно-контрольной документации при ремонте авиационной техники на ремонтных предприятиях гражданской авиации».

Состав ПКД. В состав ПКД входят следующие виды документов:

приемосдаточный акт, регистрирующий все технические данные самолета или вертолета и удостоверяющий факт передачи его в ремонт;

перечень бытового оборудования и агрегатов, установленных на данном воздушном судне;

документы объемной дефектации (протоколы испытаний систем и дефектации до начала разборки);

карты демонтажных работ;

документы, фиксирующие все выполненные работы при ремонте (дефектацию, восстановление, усиление, замены и т. п.);

паспорт сборки, в котором отражаются все сборочные работы;

карта чистоты закрываемых зон — специальный документ, регистрирующий отсутствие посторонних предметов перед началом испытания и отработки систем;

документы на испытание и наземную отработку систем;

карты выполненных работ по бюллетеням;

протокол взвешивания и нивелировки;

документы на комплексный осмотр (окончательный контроль состояния собранного самолета или вертолета);

документы наземных и летных испытаний;

документы, регистрирующие факт приемки отремонтированного самолета или вертолета из ремонта заказчиком.

В каждом из перечисленных документов имеется подпись исполнителя, мастера и контрольного мастера (контролера).

Все документы для удобства пользования и возможности машинного учета имеют шифры. Ниже на конкретном примере рассмотрим структуру шифра документа: ТУ—134А.1.55.30.3.5.

Здесь указан тип самолета, номер функциональной группы (1 — планер); раздел (55 — горизонтальное и вертикальное оперение); подраздел (30 — киль), вид работ (3 — дефектация и ремонт), порядковый номер карты дефектации и ремонта в группе (№ 5).

Все документы на ремонт хранятся в течение установленного срока в виде «Дела ремонта». Комплекуются документы в соответствии с эталонным «Делом ремонта», которое представляет собой сборник ПКД для каждого конкретного типа самолета и вертолета.

Содержание ПКД. ПКД содержит все сведения о техническом состоянии каждой детали, узла, агрегата и всего изделия в целом до начала ремонта, о всех выполненных при ремонте работах, о результатах технического диагностирования, о параметрах агрегатов и всего изделия после ремонта. ПКД является официальным юридическим документом.

Конкретная структура ПКД (объем карт, их число) уточняется с учетом особенностей организационной структуры конкретного ремонтного предприятия и метода ремонта (индивидуальный, поточно-

стендовый и т. п.). В этих случаях учитывается расцеховка, группы комплектования в ремонт, группы комплектования в сборку, сигнально-учетная система и другие особенности предприятия. Здесь дело в том, что каждая карта, по которой выполняются работы, не может одновременно быть на разных участках, а ее передача из цеха в цех увеличивает срок ремонта. Кроме того, с учетом специфики предприятия строится система управления производством. Разбивка работ на группы, удобные для учета, анализа и отчетности, может отличаться для данного предприятия. Здесь играет роль число цехов, участков, их оснащенность оборудованием и другие факторы.

Комплект ПКД может быть дополнен рядом специфических документов, характерных для конкретного самолета или вертолета: актами и картами для случаев поломок, листками технических решений (ЛТР) и другими. ЛТР является документом, в котором отражено коллегиальное решение о конкретном отступлении от технических условий на данном изделии, принимаемое в исключительных случаях. Изменения в ПКД могут вноситься в обоснованных случаях с оформлением специального документа — листка изменения документации (ЛИД).

Оформленный комплект ПКД (со всеми подписями и штампами) является основанием для соответствующих записей в формуляре воздушного судна, в паспортах, аттестатах и других документах, принадлежащих данному самолету или вертолету. Ни для ремонтного предприятия, ни для заказчика работа не считается законченной, пока не оформлены все документы. В первый испытательный полет самолет или вертолет выпускают только после полного оформления ПКД. Отсутствие хотя бы одной подписи на любом документе дает основание считать, что работы по ремонту всего изделия не выполнены.

Правильно и четко оформленная документация дает возможность провести анализ состояния данного изделия, обобщить информацию, провести статистическую ее обработку, обоснованное прогнозирование и т. п. На всех этапах эксплуатации и ремонта оформление документации так же важно, как и выполнение комплекса ремонтных работ, является неразрывным составляющим одного процесса.

1.7. ОСНАЩЕНИЕ АВИАРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Стандартное и нестандартное оборудование. Для осуществления всего комплекса работ в производственном процессе ремонта применяют стандартные инструменты и оборудование, а также нестандартное оборудование, различные приспособления.

К стандартному оборудованию относятся станки, мерительный инструмент, приборы и установки неразрушающего контроля, оборудование для гальванических, термических и покрасочных работ, клепальное оборудование, аэродромное оборудование лётно-испытательной станции. К стандартному оборудованию относят также

серийно выпускаемые промышленностью испытательные стенды и установки, подъемно-транспортное оборудование, ремонтные комплекты инструмента и приспособлений.

К нестандартному оборудованию относят доки, специальные стенды и установки для испытания агрегатов и систем конкретного типа ремонтируемого изделия, различные приспособления для сборки и ремонта, специальное подъемно-транспортное оборудование и т. п. Потребность в оборудовании рассчитывается исходя из конструктивных особенностей ремонтируемого типа изделия, принятых системы ремонта и метода организации ремонта (поточный, поточно-стендовый и т. п.). Нестандартное оборудование изготавливают в одном или нескольких экземплярах на авиаремонтном предприятии или по его заказу с учетом специфики конкретного АРЗ, объема выпускаемой продукции, энергооборуженности, наличия производственных площадей и др. Высокая производительность нестандартного оборудования — непременное условие для обеспечения коротких сроков ремонта, что прямо связано с эффективностью использования авиационной техники. Это непременно учитывается при проектировании нестандартного оборудования.

Рассмотрим несколько примеров нестандартного оборудования. Изготовлен стенд с автоматизированной системой проверки расхождений топливной системы. По заданной программе исполнительный механизм подключает и отключает топливо, подающееся к испытываемому агрегату, контрольные приборы записывают показания на бумажной ленте, которая является контрольным документом.

Автоматическая прозвонка (проверка правильности подключения электропроводов) электрощитков, автоматическая отработка пилотажно-навигационного комплекса в блоке с вычислительной машиной, с помощью установок, разработанных для конкретного типа самолета, не только повышают производительность труда, но и исключают субъективные ошибки ремонтников. Большая группа нестандартного оборудования связана с необходимостью обеспечить доступ к различным участкам конструкции самолета или вертолета.

С этой целью применяют подвижные и неподвижные доки. Это название перешло из морского флота, где корабли для ремонта устанавливаются в доки. Док служит для обеспечения доступа ко всем частям самолета и представляет собой систему площадок, лестниц, переходов. Док оснащается светильниками, сетью сжатого воздуха, устройствами для присоединения электроприборов.

При ремонте по поточно-стендовому методу самолет либо передвигается вместе с доком от стенда к стенду — при подвижном доке (рис. 1.2, а), либо переставляется из дока в док, расположенный на соответствующем посту — при неподвижных доках (рис. 1.2, б). Самолет закатывается в док, поднимается на подъемники в соответствии с инструкцией по эксплуатации данного типа самолета, закрепляется страхующими приспособлениями с таким расчетом, чтобы группа работающих на данном стенде могла свободно перемещаться без нарушения равновесия установленного в доке самолета.

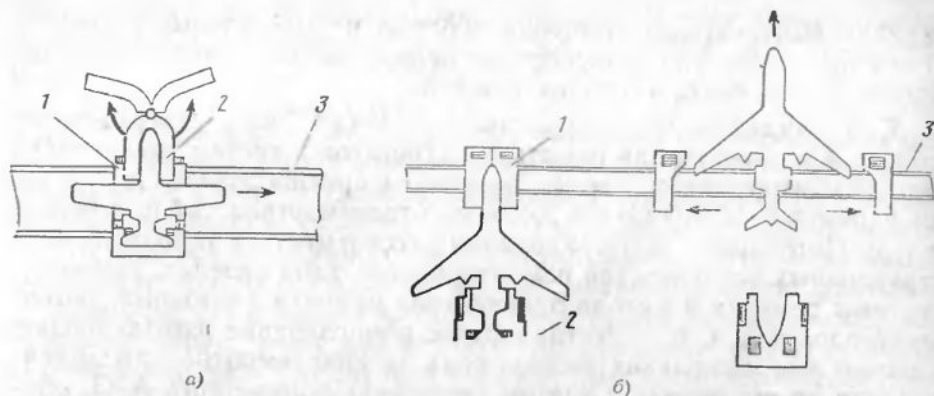


Рис. 1.2. Схема движения самолета при поточно-стендовом методе ремонта

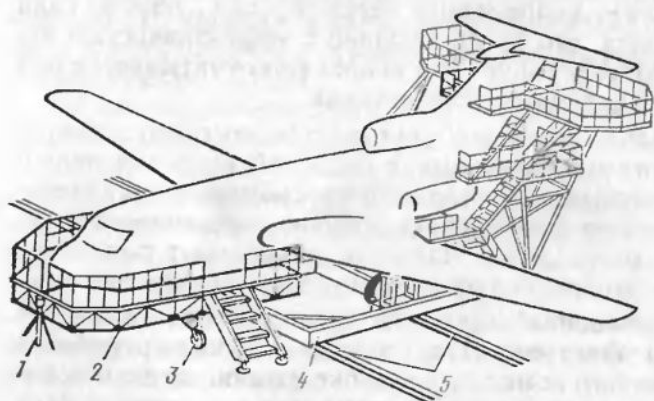


Рис. 1.3. Подвижный док

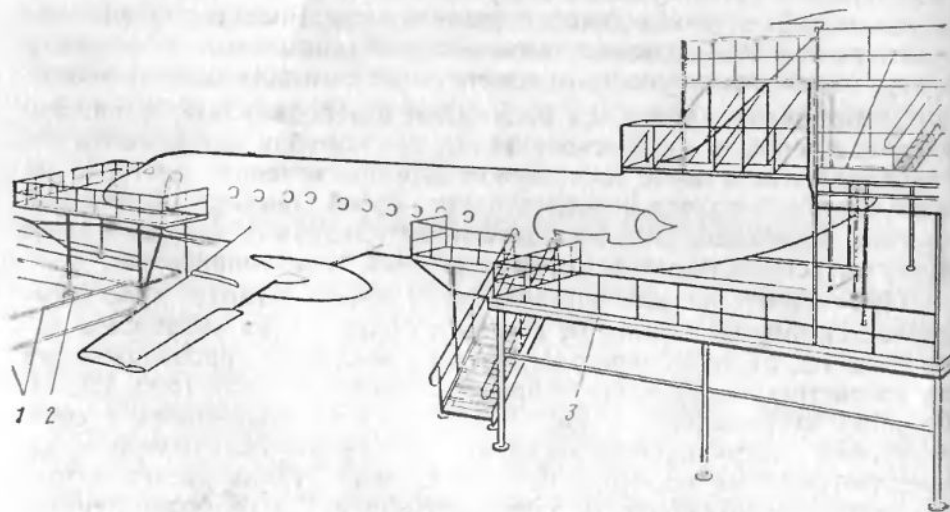


Рис. 1.4. Неподвижный док

В случае применения подвижного дока самолет устанавливается на платформу 1, передвигающуюся на рельсах 3. При передвижении платформы стационарные площадки 2, расположенные на определенном стенде, раздвигаются, а после установки платформы снова сдвигаются. В случае применения неподвижного дока при выкатывании самолета и его установке площадки 1 раздвигаются, двигаясь по рельсам 3. Платформа 2 остается неподвижной.

На рис. 1.3 показана принципиальная конструктивная схема подвижного дока. Самолет установлен на платформу 4, передвигающуюся по рельсам 5. Вокруг осевой стойки 1 площадки 2 раздвигаются, перемещаясь на колесах 3. На рис. 1.4 изображена принципиальная конструктивная схема неподвижного дока. На колесах 2 по рельсам 1 перемещаются площадки, позволяя установить или выкатить самолет из дока. Стационарные платформы 3 остаются неподвижными.

Преимущества использования дока состоят в следующем:

обеспечивается удобное расположение рабочих мест для демонтаж-монтажных и ремонтных работ без применения большого числа лестниц, стремянок, что сокращает время на их установку и на переходы работающих;

настройка инструмента в связи с наличием на доке электросети и сети сжатого воздуха обеспечивается за короткое время, что повышает производительность труда;

такелажные работы по перемещению самолета от стенда к стенду занимают незначительное время, так как нет необходимости в большом числе приставных приспособлений;

сокращаются коммуникации: электропровода, шланги для подачи сжатого воздуха, разъемные колодки для подключения к электросети, что повышает культуру производства и улучшает условия для соблюдения правил по охране труда и технике безопасности.

Современный док представляет собой сборную конструкцию из труб (или других жестких элементов), соединенных между собой типовыми узлами. Это дает возможность перестроить док под другой тип самолета. Сравнительно просто решаются вопросы освещения рабочих мест, ибо один раз отработав схему освещения, нет необходимости каждый раз настраивать осветительные приборы, являющиеся принадлежностью дока. На неподвижных доках организуют хранение приспособлений, инструмента, документации, что сокращает транспортные пути, повышает производительность труда. Например, на неподвижном доке, где проводится техническое диагностирование, могут быть установлены приборы для неразрушающих методов контроля, что сокращает время их настройки. На доке окончательной сборки устанавливаются испытательные установки или стенды.

Большую группу нестандартного оборудования составляют испытательные стенды и установки для контроля герметичности систем и агрегатов, для их отработки и регулировки. Их конструкция предусматривает проверку задаваемых техническими условиями параметров: давления, расхода жидкости, времени срабатывания.

Автоматизация и механизация. Большое внимание при оснащении авиаремонтного предприятия уделяют механизации и автоматизации производственных процессов. Несмотря на уже описанные специфические особенности авиационных конструкций, на передовых предприятиях механизуют часть сборочных работ, испытания, измерения и т. п. Значительное повышение производительности труда может быть достигнуто в авиаремонтном производстве на основе применения роботов. В настоящее время роботостроение стало одним из важных направлений научно-технического прогресса.

Различают три поколения роботов. К роботам первого поколения относят механизмы типа механическая рука и манипуляторы. Они широко используются в авиаремонтном производстве, например в поточных линиях промывки с использованием вредных для здоровья человека жидкостей. Роботы второго поколения построены на основе использования устройств с числовым программным управлением (ЧПУ). Они способны воспроизводить некоторые движения руки человека и могут использоваться для монтажных работ при ремонте. Третье поколение роботов — машины будущего, «разумные» роботы. Они могут распознавать зрительную, звуковую и иную информацию, приспосабливаться к изменяющимся условиям технологического процесса, самообучаться и перестраиваться в соответствии с заданной стратегией управления и внешними условиями. По мере полной автоматизации полетов при ремонте может найти применение третье поколение роботов.

При ремонте авиационной техники для массового изготовления крепежных деталей (болтов, винтов, гаек, шайб) применяют токарные автоматы. В последние годы все шире применяют станки, оснащенные ЧПУ. Автоматизация авиаремонтного производства — самый результативный путь повышения производительности труда.

1.8. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА

Типы производственных процессов. В результате производственной деятельности авиаремонтного завода обеспечивается ремонт определенной номенклатуры авиационной техники в количестве, заданном программой выпуска.

Производственный процесс ремонта организуют таким образом, чтобы при минимальных затратах труда и средств обеспечить выполнение производственного плана. В зависимости от числа выпускаемых изделий за определенный календарный срок (например, месяц) различают следующие типы производственных процессов: индивидуальный, серийный и массовый. При индивидуальном производстве на АРЗ ремонтируют единичные типы авиатехники. При серийном производстве производится ремонт серии однотипных изделий. Массовый ремонт характеризуется большим объемом выпуска однотипных изделий при одинаковых условиях их ремонта.

Методы организации. Различные типы производственных процессов могут быть организованы следующими методами: индивиду-

альным, бригадным, бригадно-узловым или поточным. Индивидуальный метод характеризуется тем, что выполнение технологических процессов поручается отдельным исполнителям. При бригадном методе выполнение технологических процессов поручается бригаде исполнителей. При бригадно-узловым методе группе исполнителей поручается выполнение ремонта отдельных узлов, агрегатов, систем. Первые два метода применяют при индивидуальном типе производства, при ремонте в полевых условиях. В авиаремонтном производстве чаще всего встречается серийный тип производственного процесса, организованного по методу поточного или поточно-стендового производства.

Поточный метод — организация производства ремонта авиатехники, основанная на применении поточных линий, обеспечивающих согласованное во времени выполнение всех операций технологического процесса ремонта в заранее установленной последовательности. Поточно-стендовый метод — разновидность поточного производства. При этом методе весь комплекс ремонтных работ расчленяется на группы с примерно равной трудоемкостью. Эти группы работ выполняются на закрепленных за ними стендах, где установлен ремонтируемый самолет. Таким образом, число одновременно ремонтируемых самолетов равно числу стендов. По окончании комплекса работ на одном стенде самолет передвигается к другому. Так, ритмично двигаясь от стенда к стенду, самолеты (вертолеты) проходят весь цикл ремонта. Существует другой способ выполнения работ на стендах, при котором самолет остается на месте, а передвигаются группы рабочих с инструментами, приспособлениями и т. п. Поскольку при этом велики потери на переходы, организацию рабочих мест, переноску и передвижение инструмента и оборудования, такой способ применяется достаточно редко, как правило, при единичном производстве.

При передвижении самолета обеспечивается ритмичный выпуск продукции. Поскольку к моменту передвижения все работы на данном стенде должны быть закончены, это дисциплинирует производство, заставляя все его звенья работать в соответствии с установленным ритмом. Поточно-стендовый метод позволяет рационально распределить ремонтные работы, обеспечить высокую загрузку оборудования, обеспечить хорошую организацию рабочих мест. Эти преимущества явились основой для широкого распространения поточно-стендового метода в авиаремонтном производстве.

Обеспечение эффективности. Важнейшее условие эффективности поточно-стендового метода — целесообразная разбивка работ, выполняющихся на каждом стенде. Прежде всего заметим, что последовательность выполнения ремонтных работ диктуется особенностями авиаремонтного производства. Например, невозможно выполнять разборку без приемки в ремонт или дефектацию — до окончания очистки и промывки; ремонт не может быть начат, пока не закончена дефектация. Разбивка работ на группы — задача достаточно сложная и решается на основе: наличия фронта работ; ана-

лиза трудоемкости технологических операций; учета конструктивных особенностей изделия; программы выпуска.

Фронт работ — характеристика, определяющая число работающих, необходимых инструментов и оборудования, которые можно одновременно разместить для высокопроизводительного выполнения заданного объема работ. Чем шире фронт работ, тем меньше срок, необходимый для их выполнения. Фронт работ определяется объемами отсеков, конструктивными особенностями ремонтируемой авиатехники, трудоемкостью ремонтных работ.

Поточно-стендовый метод характеризуется *ритмом*, т. е. частотой выпуска ремонтируемого изделия. Ритмичность потока обеспечивается правильной организацией работ на каждом стенде. Если на одном из них произойдет задержка, ритм станет больше и программа выпуска не будет выполнена.

Одно из организационных мероприятий, направленных на обеспечение ритма — диспетчеризация. **Диспетчеризация** — контроль за ходом выполнения технологических операций и организация устранения задержек. Этим занимаются производственно-диспетчерские отделы (ПДО), которые оперативно управляют ходом производства. ПДО имеются как в масштабе завода, так и в каждом цехе.

Часто значительным препятствием для ритмичной работы потока являются производственные стыки, т. е. рассредоточение ответственности за выпуск определенного вида продукции по разным производственным участкам. Например, необходимо отремонтировать съемный кронштейн. После очистки, дефектации в нем надо развернуть отверстия, перепрессовать подшипник, осуществив входной контроль, покрасить и сдать в комплекточное отделение. Если все эти операции будут выполнены на одном производственном участке, то стыков не будет. В том случае, когда ремонт будет на одном участке, промывка на другом, магнитный или другой контроль — на третьем, покраска — на четвертом и т. д., проконтролировать путь кронштейна, спланировать сроки его пребывания в ремонте очень сложно. А разобраться в причинах задержки иногда невозможно.

При этом следует учесть, что контроль за ходом ремонта каждой детали при большой номенклатуре изделий осуществить крайне затруднительно. Поэтому в большинстве случаев применяют ремонт деталей, узлов и агрегатов по *предметно-замкнутому циклу*. Это означает, что за их ремонт отвечает один участок, который оснащается соответствующим оборудованием. Например, на участке ремонта шасси может быть установлен хонинговальный станок, комплект оборудования для неразрушающего контроля, сварочный пост, покрасочная камера. И только термообработка, гальванические и другие покрытия будут выполнены на других участках. Однако контроль за организацией этих внецеховых работ осуществляется не в масштабе завода, а на участке ремонта шасси. Межцеховое кооперирование в этих случаях является заботой цеховой, а не заводской. Если удастся полностью замкнуть цикл ремонта на одном участке, достигается максимальный организационный эффект.

Важным фактором соблюдения ритма является своевременная, по определенному часовому графику, подача деталей, узлов и агрегатов в ремонт и затем на сборку. При большой номенклатуре поставляемых изделий невозможно проследить их движение. Применяют в связи с этим *комплект-талонную систему*. Всю номенклатуру изделий разбивают на группы по организационно-производственному признаку. Например, если детали управления самолетов (тяги, качалки, тросы) ремонтируют на одном участке, их комплектуют в одну группу, присваивая ей номер. С этим номером комплект проходит весь цикл ремонта и поступает на сборку. Прохождение комплекта контролируется с помощью талона. Талон находится на участке, куда по графику должен поступать комплект. Как только комплект поступил в ремонт, талон вручается поставщику. При автоматизированной системе талон заменяют соответствующей документацией, информация с которой передается в ЭВМ.

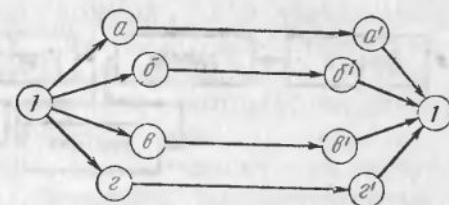


Рис. 1.5. Сетевой график

Эффективным способом сокращения времени пребывания самолета на каждом стенде, времени ремонта агрегата, узла или детали является *сетевое планирование* с помощью сетевых графиков.

Рассмотрим принципиальную структуру сетевого графика ремонта агрегата 1 (рис. 1.5), который разбирается на узлы *a, б, в, г*. Эти узлы ремонтируют за разное время. В процессе ремонта узлы проходят временной путь: $a \rightarrow a'$, $б \rightarrow б'$, $в \rightarrow в'$, $г \rightarrow г'$. Заметим, что сокращение путей $a \rightarrow a'$, $б \rightarrow б'$, $в \rightarrow в'$ не приведет к общему сокращению пребывания агрегата 1 в ремонте, так как путь $г \rightarrow г'$ остается наибольшим, его называют *критическим*. Разработка мероприятий и начинается с изучения возможностей сокращения пути $г \rightarrow г'$. Здесь на помощь приходят научная организация труда, совершенствование технологического процесса, повышение квалификации исполнителя и т. п.

Если удастся сократить время пути $г \rightarrow г'$, то общий цикл ремонта также сократится. Сетевой график помогает анализировать производственный процесс, разрабатывать мероприятия по его совершенствованию. В общей массе выполняемых технологических операций выявить без сетевого графика критические пути крайне затруднительно, а иногда и просто невозможно. Сетевое планирование получило широкое применение на авиаремонтных заводах.

Выбор рационального пути движения ремонтируемых деталей, агрегата или узла также дает возможность добиться сокращения сроков ремонта. Рассмотрим графический пример движения ремонтируемого агрегата и его деталей. Линия $a \rightarrow a'$ на рис. 1.6 обозначает движение на участке ремонта агрегата. Выход из этой линии означает передачу детали или узла агрегата на другой участок. Здесь видно, что от уровня $a \rightarrow a'$ отклонились: промывка, неразру-



Рис. 1.6. Схема движения ремонтируемого изделия

шающий контроль, притирка. Для выполнения этих операций детали и узлы агрегата передаются на другие участки, что приводит к непроизводительным потерям времени на укладку, транспортировку, настройку оборудования, приборов, разгрузку и другие операции. Установка промывочного поста на линии $a-a'$ или совмещение промывки и разборки сократили бы путь движения. Установка на участке ремонта приборов неразрушающего контроля, станка для притирки также привели бы к значительному сокращению непроизводительных потерь времени.

Из этих примеров видно, что образование отклонений от основного направления движения ремонтируемого объекта (наличие технологических «петель»), удлиняет сроки ремонта. Технологические «петли» нарушают принцип предметно-замкнутого цикла ремонта, их всегда стремятся устранить. Описанные примеры показывают, что графическое изображение последовательности выполнения технологических операций на протяжении всего технологического процесса делает анализ возможностей их совершенствования наглядным настолько, что действия по сокращению сроков ремонта, увеличению производительности труда, внедрению научной организации труда четко конкретизируются, становятся целенаправленными и сравнительно быстро приводят к эффективному результату.

1.9. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ РЕМОНТА И ЕГО АВТОМАТИЗАЦИЯ

Задачи системы управления. Авиаремонтный завод представляет собой службную организационную систему, составляющие части которой постоянно изменяются и находятся в сложном взаимодействии. Управление авиаремонтным заводом представляет собой целенаправленное воздействие органов управления на весь производственный процесс, производственный коллектив, материальные ресурсы, потоки информации для обеспечения выпуска из ремонта заданного количества авиатехники при обеспечении необходимого уровня надежности и долговечности.

Структура управления на ремонтных предприятиях устанавливается применительно к конкретным условиям организации производственного процесса. При выпуске одного типа изделий в малом количестве из ремонта в течение месяца нет смысла устанавливать сложную систему управления. Если программа выпуска предусматривает ремонт 2—3 типов изделий с выпуском 8—12 единиц в ме-

сяц, системы управления будет более сложной. Выше кратко упоминалось о планово-диспетчерских отделах, диспетчеризации, комплект-талонной системе, используемых в управлении производственным процессом. Остановимся теперь на некоторых аспектах автоматизации системы управления производством.

Автоматизация системы управления. Автоматизация идет по пути создания автоматических систем управления технологическими процессами (АСУТП) и систем сбора и обработки информации. В первом случае технологическим процессом управляет оператор. Примером могут служить автоматические линии гальванических покрытий, промывки и др.

Во втором случае автоматизируется сбор информации о ходе производственного процесса в целом или отдельного технологического процесса, обработка информации и выдача результата. Ниже приведены примеры таких систем.

АСУОП — автоматизированная система управления основным производством. С помощью этой системы осуществляется оперативно-календарное планирование ремонтного производства, включая выдачу ежедневных заданий цеху, участку и на каждое рабочее место, выдачу информации о невыполненных работах за смену, корректировку задания на следующий рабочий день, неделю, декаду, месяц.

АСУВП — автоматизированная система управления вспомогательным производством. Например, автотранспортом: учет расходов, учет использования автомашин, расчет их износа.

АСУМС — автоматизированная система управления материально-техническим снабжением. Эта система дает возможность рассчитывать нормы расхода запчастей и материалов, учитывать их фактические расходы и стоимости.

АСУТ и ЗП — автоматизированная система управления трудом и заработной платой. Система производит начисление и удержания со всех видов заработной платы (основная зарплата, премии, удержание налогов) и расчет через сберегательные кассы.

Внедрение таких систем предполагает типизацию всех видов документации по форме и цифровым обозначениям. Для обработки на ЭВМ информация переносится из типовых документов на машинные носители: перфокарты, магнитные ленты.

Необходимым условием функционирования АСУ является получение абсолютно достоверной информации. В противном случае ЭВМ выдаст неверный результат и эффективность АСУ станет равной нулю. Потеря доверия к ЭВМ в этом случае — неизбежный результат. Здесь ярко проявляется роль человека в АСУ как главной направляющей и определяющей силы. Если, например, ввести в ЭВМ ложную информацию об окончании какой-либо работы или наличии фактически отсутствующего материала, она выдаст неверное задание на выполнение работ и неверную сводку о наличии материалов. В тех предприятиях, где ввод в ЭВМ ложной информации исключен, АСУ действует эффективно, значительно повышая

производительность труда управляющего персонала от директора до мастера и диспетчера.

В управлении технологическими процессами применяется частичная автоматизация: автоматическое регулирование расходов жидкостей, давления и температуры, частичная автоматизация испытательных процессов и др.

1.10. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РЕМОНТА

Цель системы управления качеством ремонта — обеспечение безопасности полетов на отремонтированной авиационной технике, снижение простоев на земле из-за некачественного ремонта. Эта цель может быть достигнута при обеспечении заданных уровней надежности и долговечности авиационной техники при ремонте. Управление качеством ремонта осуществляется с помощью комплексной системы, обеспечивающей воздействие на все основные факторы, влияющие на качество ремонта.

Стандартизация. Она устанавливает нормы и требования к физическим величинам и размерам производимых и ремонтируемых изделий, а также к полуфабрикатам, сырью и материалам. Стандартами устанавливаются требования к условиям труда, оформлению документации, деятельности по обеспечению надежности, неразрушающему контролю и т. п.

Все эти нормы и требования оформляются в виде документов, называемых стандартами. Стандарты подразделяются на государственные (ГОСТ), республиканские (РСТ), отраслевые (ОСТ) и стандарты предприятий (СТП). ГОСТ является важнейшим определяющим документом. РСТ, ОСТ, СТП могут уточнять или дополнять ГОСТы, не ухудшая показателей, установленных ими. РСТ конкретизирует требования и нормы применительно к республиканским условиям. ОСТ учитывает требования отрасли, например повышенные требования к подбору гаек и болтов, заклепочным соединениям в авиационной промышленности. СТП в соответствии с требованиями ГОСТов, ОСТов, РСТ устанавливают, например, требования к сбору и обработке информации, эксплуатации оборудования на конкретном предприятии.

Существуют системы документации по управлению качеством продукции, состоящие из ряда ГОСТов: ЕСТПП — единая система технологической подготовки производства, обеспечивающая единый подход к выбору и применению методов и средств технологической подготовки производства; ЕСКД — единая система конструкторской документации, регламентирующая правила выполнения чертежей, схем; ЕСТД — единая система технологической документации, определяющая требования к оформлению технологий, инструкций; ЕСАКП — единая система аттестации качества продукции, т. е. оценки соответствия ее ТУ, ГОСТам.

Стандартизацией на авиаремонтном предприятии занимается группа по управлению качеством ремонта.

Входной контроль. С помощью этого вида контроля предотвращают проникновение в авиаремонтное производство материалов и готовых изделий, не соответствующих техническим условиям. При входном контроле — перед началом использования в производстве — проверяют ряд параметров, характеризующих основные свойства материалов, полуфабрикатов и готовых изделий. Объем контроля устанавливается конкретно в каждом отдельном случае. Методы контроля применяют самые разнообразные: неразрушающие, химический анализ, разрушающие.

Металлические материалы проверяют на соответствие маркировке с помощью спектрального анализа (например, стилоскопом). Листовой материал, кроме того, контролируют на отсутствие механических повреждений. Проверяют механические свойства металлов, оценивая твердость.

При входном контроле неметаллических материалов — пластмасс, резин, лаков, красок, клеев, герметиков, тканей — определяют сроки хранения, оценивают внешний вид. Для резин, резиновых смесей наличие паспорта поставщика — необходимое условие для определения возможности их использования. Входной контроль их состоит в том, что из партии резиновых смесей изготавливают образец, испытывают его на прочность (на разрыв, твердость), набухание в рабочей жидкости. Лакокрасочные материалы, гидросмеси, масла проверяют на наличие механических примесей, влаги, контролируют вязкость и другие параметры. У герметиков проверяют прочностные характеристики.

Полуфабрикаты и готовые изделия контролируют при входном контроле с помощью промеров, испытаний по основным параметрам (для агрегатов). Обязательной в этом случае является проверка документации (паспортов, аттестатов, сопроводительных ведомостей). В технологиях ремонта обычно указывают объем и средства контроля. Чаще всего это проверка технического состояния по НТП (например, герметичности, скорости срабатывания, отсутствия механических повреждений). Для агрегатов это имеет важное значение, так как могут быть нарушены условия и сроки транспортировки и хранения, правила консервации. Агрегат с нарушением какого-либо параметра не может быть допущен к установке, и его либо ремонтируют, либо предъявляют претензию поставщику.

Контроль технологического процесса. Этот вид контроля является непременной составной частью всего технологического процесса. Осуществляют контроль в ходе выполнения операций и после их окончания. В технологии ремонта оговаривают, на каких этапах выполнения работа предъявляется контрольному аппарату. Существует множество способов оценки качества выполнения работ, предусмотренных технологией ремонта. При этом определяют число отступлений от заданного режима технологического процесса, число дефектов, обнаруженных при контроле, и другие показатели.

Для повышения качества выполняемых при ремонте работ проводят: аттестацию рабочих мест и технологических процессов, оп-

ределяя оснащенность инструментом, приспособлениями, квалификацию исполнителей, целесообразность технологических потоков; внедрение системы бездефектного труда, определяя число операций, принятых с первого предъявления, со второго и т. д. Полученная информация обрабатывается на ЭВМ с помощью автоматизированной системы управления качеством работ (АСУКР). При этом может быть оценено качество работ исполнителя, участка, цеха и всего завода. АСУКР дает возможность с помощью полученных оценок оперативно принимать меры, т. е. проводить управляющие действия по повышению качества выполняемых работ.

Основную работу по контролю за технологическим процессом и оценку его качества проводят работники ОТК.

В авиаремонтном производстве все шире применяется автоматизация контроля некоторых параметров технологических процессов. Например, автоматически контролируется и регулируется температура в прессах при изготовлении деталей из резины, в терморadiационных сушильных установках окрашенных деталей. Применяется автоматизация контроля основных параметров при испытании агрегатов бортовых систем (давления, расхода, числа переключений). Все это позволяет дать объективную оценку при контроле и автоматически получить запись полученных результатов.

Приемочный контроль. Его осуществляют на заключительной стадии ремонта при комплексных осмотрах отремонтированного самолета, вертолета или агрегата, при испытаниях систем и их отработке. Он совмещается с проведением работ по регулировке и испытанию.

Метрологический контроль. Его проводят на всех этапах измерений различных видов. Он основан на науке — метрологии, изучающей единицы физических величин, методы и средства измерений, погрешности. На каждом предприятии создается собственная метрологическая служба, метрологическое руководство которой осуществляется Государственной метрологической службой. Органы метрологической службы обеспечивают необходимое качество средств измерений, повышение их точности, подвергают испытаниям образцы средств измерений, проверяют условия выполнения измерений в соответствии с ГОСТ 8.002—71, проверяют условия выполнения метрологического контроля конструкторской и технологической документации в соответствии с ГОСТ 8.103—73. Метрологическая служба играет важную роль в системе управления качеством ремонта. Без штампа, пломбы, отметки в паспорте или аттестате измерительных средств соответствующей метрологической службы пользоваться этими средствами запрещается. Известно, что в процессе использования мерительных инструментов, приборов их детали, механизмы изнашиваются. Может наступить момент, когда износы измерительных средств достигнут таких размеров, что погрешности измерений приведут к значительным ошибкам, а это, в свою очередь, вызовет недопустимое снижение уровня надежности ремонтируемой

авиатехники. Как правило, метрологическая служба АРЗ входит в состав центральной заводской лаборатории. Эта служба осуществляет периодический контроль по специальным графикам всех средств измерений в соответствии с установленными сроками контроля для каждого типа измерительных средств.

Летные испытания и инспекторские проверки. На стадии летных испытаний дается окончательная оценка качества ремонта и заключение о возможности дальнейшей эксплуатации.

Инспекторские проверки осуществляют вышестоящие организации периодически, проводя выборочный контроль отремонтированной авиатехники и разрабатывая мероприятия по устранению обнаруженных недостатков.

Анализ качества ремонта. На основе информации о дефектах, полученной при контроле внутри предприятия и в процессе эксплуатации анализируется качество ремонта с целью разработки мероприятий по его улучшению. Сюда входит также информация, связанная с анализом уровня надежности. Определенная часть результатов анализа передается в научно-исследовательские организации, разработчикам и изготовителям. Информация для анализа качества ремонта на ведущие АРЗ поступает также от подразделений, проводящих подконтрольную эксплуатацию группы самолетов.

Анализ качества ремонта позволяет совершенствовать технологический процесс, улучшать обучение специалистов, повышать технологическую дисциплину на предприятии. Значительное место в анализе занимает контроль за состоянием отремонтированной авиатехники. Такой контроль может быть пассивным и активным. В первом случае анализируются отказы и претензии эксплуатирующих предприятий, поступающие в виде письменных извещений и вызовов для предъявления претензий. Во втором случае дополнительно к этому авиаремонтное предприятие осуществляет активную связь с эксплуатирующим предприятием, проводя обследования, специальные конференции по качеству ремонта совместно с заказчиком.

По результатам анализа мероприятия могут быть направлены на совершенствование стандартизации, улучшение контроля, дополнение программы летных испытаний и т. д.

Разработка мероприятий. Этот этап наиболее ответственный в системе обратной связи управления качеством ремонта. Мероприятия разрабатываются по нескольким направлениям:

- немедленное устранение нарушений технологического процесса;
- совершенствование технологического процесса — введение дополнительного контроля, внедрение новых методов неразрушающего контроля, разработка приспособлений;

- профилактика — дополнительное обучение исполнителей, комплексные проверки;

- предъявление претензий промышленности по конструктивным и производственным недостаткам;

- разработка проблемных вопросов, связанных с поиском новых средств контроля, новых материалов, новых технологических процессов обработки и испытаний.

Разработанные мероприятия окажутся действенными только в том случае, когда будет осуществляться жесткий контроль за их выполнением. На многих предприятиях с этой целью используется автоматизированная система контроля исполнения документации (АСКИД). При этой системе мероприятие считается выполненным, если в ЭВМ дан соответствующий сигнал. Для подачи такого сигнала оформляется документ, контролируемый руководством АРЗ, включая директора. Ход выполнения мероприятий анализируется еженедельно на специальном совещании по качеству ремонта, проводимом директором. Контрольные функции осуществляет ОТК.

Управление качеством ремонта авиационной техники гражданской авиации в масштабе отрасли осуществляется комплексной системой управления качеством ремонта авиатехники (КС УКРАТ), установленной ОСТом МГА.

Глава 2

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РЕМОНТА

2.1. ПРИЕМКА В РЕМОНТ

График поступления в ремонт. Авиационная техника поступает в ремонт по заранее разработанным графикам и вне графика, по различным причинам, требующим досрочного ремонта. График поступления в ремонт — документ, определяющий дату поступления самолета или вертолета в ремонт и вид ремонта. Обычно графики разрабатываются на календарный год и строго исполняются. В соответствии с графиком АРЗ планирует подготовку производства для приема самолета или вертолета в назначенный срок.

В процессе подготовки составляются заявочные документы на необходимое оборудование, агрегаты, запасные части, полуфабрикаты и другие материалы, определяется трудоемкость годового объема ремонтных работ, рассчитываются финансовые, экономические и другие показатели производственной деятельности авиапредприятия.

Плановое поступление в ремонт определенных типов самолетов и вертолетов по утвержденному графику позволяет организовать своевременную и качественную подготовку производства. При этом авиаремонтное предприятие имеет возможность учесть особенности видов и объемов работ при ремонте каждой конкретной машины в зависимости от наработки и условий эксплуатации. Кроме того, при ремонте современных самолетов и вертолетов используются высококачественные легкие сплавы, жаропрочные и высоколегированные стали, уникальные агрегаты и приборы, заявки на которые должны направляться планирующим и комплектующим организациям.

Для эксплуатирующей организации предварительное планирование передачи воздушного судна в ремонт дает возможность определить численность рабочих единиц парка для выполнения производственных заданий и регулировать загрузку машин в течение года. Стихийная обработка межремонтного ресурса привела бы к тому, что в какие-то периоды времени большое число самолетов и вертолетов необходимо отремонтировать одновременно. Это вызовет значительные непроизводительные простои и снизит эффективность эксплуатации авиатехники. Таким образом, график передачи в ремонт — основополагающий документ отрасли по регулированию обработки межремонтного ресурса.

Приемка. Это первый, начальный этап технологического процесса ремонта самолета и вертолета. В процессе приемки определяется характер работ, которые необходимо выполнить при ремонте. Она также фиксирует факт передачи самолета или вертолета новому владельцу на определенный период времени.

Приемка в ремонт самолета или вертолета, прибывшего по графику, осуществляется двумя сторонами: заказчиком и представителями АРЗ. Заказчик может поручить сдачу в ремонт экипажу или направить специального представителя. На АРЗ имеется постоянная группа работников, принимающая каждый самолет или вертолет. При приемке проверяются: бортовые документы и правильность их ведения, комплектность, наличие особых случаев эксплуатации, записи о наработке.

К бортовым документам относятся: формуляры на самолет или вертолет и авиадвигатели, паспорта и аттестаты на агрегаты, альбом силовых элементов, альбом формулярных схем, нивелировочный паспорт, удостоверение воздушного судна. В формулярах, паспортах и аттестатах заказчиком должен быть подведен итог наработки в часах и посадках к моменту начала ремонта. Эти показатели являются основанием для определения вида ремонта, зависящего от наработки. По принятой для гражданской авиации системе авиатехника поступает в ремонт при отработке трех видов межремонтного ресурса: в часах, посадках или по календарному сроку. Эти межремонтные ресурсы устанавливаются для каждого типа авиатехники, а также для агрегатов. Отработка одного из них, независимо от наработки по остальным показателям, является основанием для отправки в ремонт.

При приемке проверяется не только наличие документов, но и их соответствие фактическому наличию паспортизируемых или аттестуемых агрегатов путем сверки номеров документов с фактическим номером агрегатов. В практике ремонта встречаются случаи, когда в процессе эксплуатации были заменены агрегаты. При этом может оказаться, что ресурс нового агрегата не соответствует ресурсу самолета или вертолета, и потребуются принимать отдельное решение по определению объема его ремонта. Может оказаться, что на агрегат, который должен иметь паспорт, такой документ отсутствует. В этих случаях агрегат подлежит ремонту независимо от состояния и наработки. Здесь должен быть соблюден очень важный принцип: паспортизируемое изделие не может эксплуатироваться без соответствующего документа.

Контролируется на этом этапе также комплектность поступившего в ремонт самолета или вертолета. Каждое воздушное судно должно быть укомплектовано не только рабочими агрегатами, но и бытовым оборудованием: занавесками, портьерами, чехлами, коврами, зеркалами и т. п. Строгий учет такого оборудования необходим для исключения непроизводительных затрат.

Особые случаи эксплуатации. Изучая формуляры и другую бортовую документацию, группа приемки устанавливает наличие особых случаев эксплуатации: поломок, аварий, значительных пере-

грузок. При подобных записях в формулярах привлекают специалистов для определения значимости и влияния на объем ремонта имевшего место особого случая эксплуатации.

Поступление авиатехники в ремонт вне графика может быть вызвано поломкой, аварией, значительными коррозионными повреждениями, необходимостью реконструкции или переоборудования.

Если самолет (вертолет) претерпел в процессе эксплуатации поломку или аварию, приемка в ремонт усложняется. В этих случаях выясняют причину происшествия и наличия следующей документации: акта расследования, решения о перегонке в ремонт, ведомости предварительной дефектации. Без таких документов невозможно установить объем ремонта и принять решение о дальнейшей эксплуатации машины. Независимо от наличия документации специалисты завода осуществляют предварительную дефектацию поврежденных мест конструкции. Если окажется, что ремонт не может быть выполнен по типовым разработкам, приемка прекращается и принимается решение о разработке специальной документации: чертежей, перечней работ. Выясняется необходимость замены агрегатов, узлов или деталей, наличие их на АРЗ, необходимость предварительных заказов в промышленности. Если потребуется длительное время для решения подобных вопросов, самолет запускать в ремонт нецелесообразно, так как производство не сможет без документации и специальных поставок выполнить ремонтные работы. В этих случаях осуществляют приемку на хранение и устанавливают срок запуска в ремонт. В сложных случаях документация разрабатывается конструкторскими организациями авиационной промышленности. Ремонтные чертежи могут быть также выполнены силами специалистов АРЗ.

Встречаются случаи, когда при длительном хранении самолетов и вертолетов, особенно в тропических условиях, возникают значительные коррозионные повреждения. В процессе приемки проводят предварительную их количественную оценку с применением методов неразрушающего контроля. При необходимости выполняют частичные демонтажные работы, чтобы обеспечить доступ для выполнения дефектации. По результатам дефектации принимают решение о выполнении определенного вида ремонта. Во всех таких особых случаях составляют карту дополнительных работ, которые не входят в основной технологический процесс ремонта.

Переоборудование. АРЗ часто получают задание на реконструкцию или переоборудование самолетов. Под реконструкцией понимают комплекс работ, предназначенных для изменения целевого назначения самолета. Например, грузовой или пассажирский самолет может быть реконструирован в ледовый или рыбознарядный. Конструкторская документация разрабатывается совместно специалистами авиационной промышленности и АРЗ. Приемка в этих случаях, кроме обычных операций, включает проверку наличия документации и обеспечения поставок необходимого оборудования, агрегатов и т. п.

Под переоборудованием понимают комплекс работ по изменению количества пассажирских мест, оборудование салонного варианта и другие. Такие работы производятся по документации авиационной промышленности, приемка состоит из обычных операций.

Оформление приемки в ремонт. Первый этап ремонта — приемка — заканчивается оформлением специального документа: акта приемки в ремонт. В этом документе регистрируется комплектация, факт передачи авиатехники в ремонт, наработка. С момента подписания такого акта заказчиком и представителями АРЗ воздушное судно на весь период ремонта передается другому владельцу — заводу. Вся административная и юридическая ответственность за сохранность, обеспечение качественного ремонта ложится на ремонтное предприятие. Вот почему приемка в ремонт является важным и ответственным этапом.

2.2. РАЗБОРКА

Объем разборки зависит от вида ремонта и дополнительных работ, определенных при приемке. Описание технологического процесса разборки дается в технологии ремонта.

От качества выполнения работ на этом этапе во многом зависит качество и трудоемкость выполнения всех последующих этапов ремонта. В первую очередь при разборке должна обеспечиваться полнота всех предусмотренных технологией, а часто и дополнительных работ. Если какой-либо узел при разборке не будет снят, это приведет к нежелательным задержкам, и, как следствие, к дополнительной трудоемкости ремонта. Качество разборки также оказывает существенное влияние на трудоемкость ремонта. Утеря деталей, их поломка или деформация могут привести к необоснованному браку и повышению расходов на ремонт. Особенно опасна небрежность при разборке тем, что она может привести к возникновению скрытого дефекта, например механического повреждения (забоины, вмятины) в недоступном для осмотра и дефектации месте.

Поэтому разборку поручают группе обученных специалистов, допущенных к выполнению работ на данном типе авиатехники. В их функции входит выдача необходимой информации о состоянии разбираемых узлов и обнаруженных при разборке дефектах. В процессе разборки могут встретиться случаи, когда разборка подвижного разъёмного соединения вызывает большие усилия. Могут быть обнаружены необычные продукты изнашивания в местах, которые при объемной дефектации не осматриваются. После разборки и промывки следы изнашивания исчезнут. По своевременной информации об обнаруженных особенностях специалисты примут решение о проведении дополнительных исследований.

Подготовка к разборке. В подготовительные работы входят: установка самолета (вертолета) на стоянку для разборки, комплектование необходимого инструмента, доставка на участок разборки сортировиков, тележек и другого оборудования для укладки снятых

деталей, узлов и оборудования. Перед началом разборки жидкостных и газовых систем стравливают давление в газовых полостях и сливают жидкость из нижних точек систем в специально подготовительные емкости.

Затем приступают к собственно разборке, требования к которой описаны ниже.

Разгрузка разбираемой конструкции. Основное требование, которое неукоснительно должно выполняться во всех случаях: необходимо производить разборочные работы при разгруженной конструкции. Это особенно важно для таких агрегатов со значительной массой, как отъемные части крыла (ОЧК), силовые установки, стабилизатор, киль и др. При разборке соединений, детали которых находятся под нагрузкой, вынужденно будут применены значительные усилия для снятия крепежных деталей, что приведет к нежелательному изнашиванию отверстий соединяемых деталей, их деформации и даже поломке. Кроме того, могут возникнуть достаточно высокие механические напряжения, вызывающие появление деформаций и скрытых дефектов.

С целью разгрузки соединений собственный вес демонтируемых агрегатов уравнивают с помощью различных приспособлений. Рассмотрим конкретный пример. Пусть необходимо уравновесить отъемную часть стреловидного крыла при ее снятии с самолета. Установка обычных нерегулируемых страховочных ложементов эффекта не дает, поскольку крыло имеет обратное поперечное V и закрутку. Поэтому здесь применяются регулируемые ложементы (рис. 2.1). К разгружаемой ОЧК подкатывается тележка, представляющая собой раму 2 на колесах 10. С двух сторон рамы смонтированы

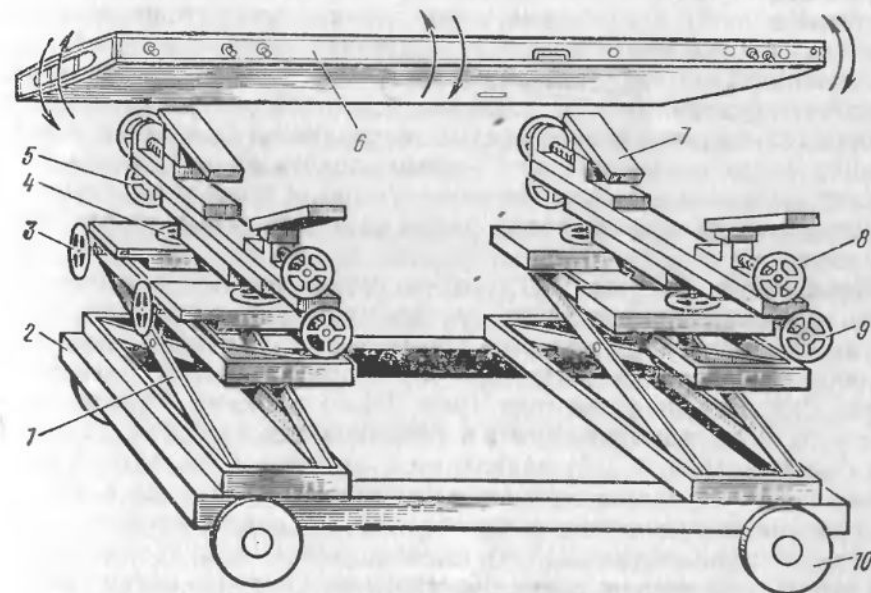


Рис. 2.1. Тележка с регулируемыми ложементами для снятия ОЧК самолета

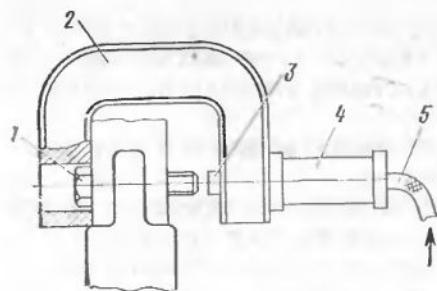


Рис. 2.2. Силовой съемник болтов

крестообразные механизмы подъема 1, управляемые либо гидравлическими цилиндрами, либо винтовыми механизмами (условно не показаны). С помощью рукояток 3, 5, 9 грубой установки и рукояток 4, 8 тонкой установки ложементы 7 подводят к нижней поверхности ОЧК 6. С помощью регулирующих устройств ОЧК может быть повернуто в разных направлениях, как это показано на рисунке стрелками, что и дает

возможность выполнить полную разгрузку, оцениваемую по легкости выхода болтов из гнезд многоболтового стыкового соединения.

Исключение ударных нагрузок и деформаций. В некоторых разъемных соединениях возникает коррозия, схватывание контактирующих поверхностей, скопления продуктов изнашивания, которые приводят к заеданию крепежных деталей, вызывающему необходимость применения значительных усилий при разборке. Применение в таких случаях ударных нагрузок недопустимо, поскольку в результате неизбежно появление остаточных деформаций, изнашивания, механических повреждений и других дефектов. Для повышения производительности труда при разборке и исключения ударных нагрузок применяют силовые съемники различной конструкции.

Принципиальная схема одного из таких съемников изображена на рис. 2.2. Пусть необходимо удалить из соединения болт 1. Устанавливают скобу 2 съемника, левая лапка которого имеет отверстие для головки болта и служит для уравнивания усилия выдавливания. Съемник работает следующим образом: через шланг 5 подается гидравлическое давление в силовой цилиндр 4, поршень которого 3, создавая осевое усилие, выдавливает болт. При использовании таких съемников необходимо следить за тем, чтобы болт, с силой выдавленный из соединения, не нанес травму обслуживающему персоналу и не повредил рядом расположенные конструктивные элементы.

Исключение ударных нагрузок и нестандартных приемов разборки при небольших усилиях, требующихся для разъединения сопрягаемых деталей, достигается применением песиловых съемников различных конструкций. Примеры таких приспособлений приведены на рис. 2.3. Винтовой съемник (рис. 2.3, а) лапками 3 упирается в бурт узла 2 и с помощью винта 1 производится разборка. Пружинный съемник (рис. 2.3, б) захватами 3 заходит в соответствующие пазы детали. Захваты раздвигают нажатием на рукоятки 1, возврат в первоначальное положение происходит под действием пружины 2. Специальный ключ (рис. 2.3, в) имеет штифты 1 для захода в соответствующие отверстия гайки. Конструктивное выполнение съемников может быть самым разнообразным, но цель одна — исключить

применение ударных, изгибных и других нерасчетных видов нагрузок, которые при разборке могут повредить различные элементы разбираемых узлов.

Требование разгрузки должно выполняться и при разборке nippleных и других соединений трубопроводных систем, различных конструктивных узлов. Если, например, отворачивать накидную гайку без поддержки соединительного элемента (например, крестовины, переходника), то при большом усилии трубопровод может быть деформирован. Если применить значительное усилие отворачивания на консольной детали или недостаточно жестком элементе, может быть при этом вызвана их деформация. И в этих случаях прилагаемое усилие для разборки должно быть уравновешено.

Таким образом, разгрузка разбираемых соединений, исключение ударных нагрузок — общий принцип, который неукоснительно должен применяться при разборке.

Глушение внутренних полостей. Важнейшим условием, обеспечивающим предупреждение загрязнений внутренних полостей, является глушение. Открытые концы трубопроводов всех систем, внутренние полости кесон-баков, различные емкости, штуцера и полости агрегатов, открытые части штепсельных разъемов должны быть закрыты. С этой целью применяют заглушки различных конструкций. Они должны отвечать следующим требованиям: плотно закрывать заглушаемые отверстия; при установке не повреждать основные детали; устанавливаться легко, без больших трудовых затрат; быть достаточно прочными, чтобы при работе разрушившиеся их части не привели к загрязнению. С учетом сказанного лучше всего изготавливать заглушки из пластмасс, например капрона, или мягких алюминиевых сплавов.

При хранении или проведении работ на открытом воздухе исключена возможность попадания влаги, пыли и других загрязнений внутрь ремонтируемой авиатехники. Поэтому при снятии дверей, люков, иллюминаторов, стекол и других узлов устанавливают в образовавшиеся проемы заглушки из легких алюминиевых сплавов, реже из фанеры.

2.3. ОЧИСТКА И ПРОМЫВКА

Основные задачи. В процессе эксплуатации самолетов и вертолетов их наружные и внутренние поверхности загрязняются. Для современных самолетов, особенно сверхзвуковых, чистота поверхностей, находящихся в воздушном потоке, является непременным условием эффективности эксплуатации. По данным многих авиа-

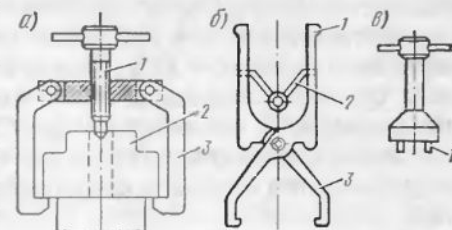


Рис. 2.3. Съемники, применяемые при разборке

коэффициент лобового сопротивления для дозвукового самолета с загрязненной обшивкой возрастает на 3—5%, а сверхзвукового — на 10—12%. Потери топлива по этой причине для одного среднего магистрального самолета при перелете на расстоянии около 2000 км могут составить до 2000 кг. Снижение эффективности эксплуатации происходит также за счет непроизводительного увеличения массы конструкции по мере накопления загрязнений.

Определить техническое состояние, особенно в условиях ремонта, авиационных конструкций без удаления загрязнений зачастую невозможно. Все существующие методы неразрушающего контроля могут быть эффективно применены только при очищенных поверхностях. Загрязнения могут скрыть трещину, ослабление соединений и другие дефекты. Посторонние частицы в подвижных сочленениях ускоряют процесс изнашивания. Нельзя применить методы восстановления изношенных поверхностей без их очистки.

Загрязнения способствуют развитию процессов коррозии, так как могут задерживать влагу и коррозионно-агрессивные вещества. Загрязнения зачастую нарушают функционирование многих систем, закупоривая отверстия малых диаметров, уменьшая зазоры в подвижных сочленениях.

Даже этот краткий перечень неблагоприятных последствий эксплуатации загрязненных конструкций свидетельствует о прямой связи этого фактора с надежностью, долговечностью и другими жизненно важными элементами. Кроме того, любые загрязнения деталей интерьера пассажирских и пилотских кабин резко ухудшают их внешний вид, снижают уровень эстетики и комфорта для пассажиров и экипажа. Все это вызывает необходимость при ремонте уделять самое серьезное внимание удалению загрязнений, а также покрытий в некоторых технологических процессах.

Очистка поверхности производится не только при наличии образовавшихся загрязнений, но и для выполнения последующих технологических операций восстановления. Например, невозможно восстановить металлизационное покрытие без удаления верхнего лакокрасочного покрытия. Для многих типов самолетов и вертолетов трудоемкость промывки и очистки составляет 10—15% от всей трудоемкости ремонта.

Таким образом, цель очистки и промывки — подготовка поверхностей к техническому диагностированию, ремонту, выполнению операций восстановления и улучшение внешнего вида ремонтируемых самолетов и вертолетов.

Степень чистоты обрабатываемой поверхности — понятие относительное. В одном случае достаточно удалить пыль, грязь, сварочные брызги, окалину, например при подготовке изделия к дефектации с помощью просвечивания. Обезжиривать детали перед восстановлением с помощью гальванических процессов нецелесообразно, так как при этом применяется протравливание. В то же время наличие жировых пленок на склеиваемых или покрываемых лакокрасочными материалами поверхностях недопустимо.

Выбор методов. С учетом этих особенностей определяют методы удаления загрязнений с поверхности деталей. Решающими факторами, определяющими выбор методов и способов очистки или промывки, являются: природа удаляемых веществ, степень их адгезии относительно очищаемой поверхности, требуемая чистота поверхности, влияние процесса на свойства очищаемой поверхности. Так, если загрязнения представляют собой легко удаляемую пыль или грязь, возможно применение простейших способов очистки или промывки. Если это нагарообразование, то без растворения загрязняющей пленки обойтись сложно, тем более, что подобные отложения имеют большую адгезию относительно поверхности деталей. Применение механических способов очистки может привести к недопустимой шероховатости поверхности, вмятинам и другим механическим повреждениям.

Сопутствующими факторами, играющими роль в определении способов очистки и промывки являются: влияние технологического процесса на здоровье обслуживающего персонала, возможность механизации и автоматизации удаления загрязнений, наличие средств промывки и очистки. Широко применявшиеся пескоструйные способы очистки с воздушным распылением оказались вредными для здоровья человека, и их применение крайне ограничено. Если их применяют, то выполняют ряд специальных мероприятий (включая работу в респираторе) для исключения возможности попадания песочной пыли в органы дыхания человека. Механизированные способы очистки и промывки всегда предпочтительнее ручных. Даже при неполной загрузке оборудования его применение резко поднимает культуру производства, обеспечивает более высокую степень очистки, сокращает сроки этапа очистки и промывки.

Сготавливаемых поверхностей нежелательные вещества могут удаляться одним или несколькими из следующих способов: смыванием, растворением, механическим воздействием, с помощью химической реакции.

Существующие методы очистки и промывки, применяемые в авиаремонтном производстве, могут быть разделены на две большие группы (рис. 2.4): механические и физико-химические. Такое разделение удобно с точки зрения проектирования технологического процесса, поскольку применяется различное оборудование, приемы и методы труда. Эти два метода очистки в некоторых случаях могут выполняться последовательно или параллельно. Например, после гидроабразивной очистки обязательна промывка для удаления посторонних частиц. Удаление загрязнений может производиться с помощью щеток с одновременной подачей моющей жидкости.

Современные способы очистки загрязненных изделий предусматривают комплексное механическое, химическое и физико-химическое взаимодействие моющих растворов с загрязнениями и очищаемой поверхностью. Загрязнениями, подлежащими обязательному удалению, являются: продукты высокотемпературных превращений масел, топлив и рабочих жидкостей — нагароотложения, лаковые отложения, смолы и осадки, старые лакокрасочные и неметалличе-

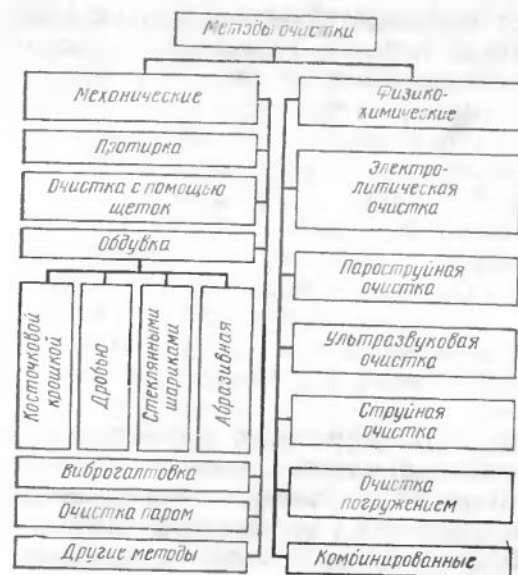


Рис. 2.4. Классификация методов очистки деталей самолетов и вертолетов

Однако способ этот низкопроизводителен и применяется только при разовых, эпизодических работах для удаления загрязнений с малой адгезией на отдельных участках незначительной площади.

Распространен способ *очистки с помощью щеток*: жестких металлических, мягких волосяных, синтетических, травяных. Металлические щетки могут применяться для удаления и зачистки наплавов после сварки стальных деталей большого объема. В авиаремонтном производстве этот способ находит применение в основном при изготовлении оснастки. Мягкие щетки широко применяются для удаления пыли, грязи, продуктов коррозии. Важная область применения такого способа — очистка наружной поверхности самолета или вертолета. В этом случае применяют щетки с длинным ворсом, изготовленным из синтетических волокон.

На рис. 2.5 изображена комплекс-машина для очистки наружной поверхности самолета. Управляемые с помощью гидропривода щетки подводятся оператором к очищаемой поверхности, куда одновременно подается жидкий раствор. На рис. 2.5 позиции 1, 2, 3, 4, 5 — установки для мойки различных частей самолета.

Обдувка — один из наиболее распространенных способов удаления загрязнений с различной степенью адгезии. С помощью сжатого воздуха можно с очищаемой поверхности удалить пыль, грязь. Продувают также внутренние полости, удаляя после обработки посторонние частицы. Легко удаляемые загрязнения предпочтительнее отсасывать. С этой целью применяют различные конструкции промышленных пылесосов. На многих ремонтных предприятиях по-

ские покрытия, консервирующие материалы, случайные и посторонние частицы различного происхождения.

Применяемые при ремонте методы и средства удаления загрязнений должны быть высокопроизводительными, не повреждать очищаемую поверхность, не оказывать вредного влияния на человеческий организм, не вызывать загрязнений окружающей среды.

Рассмотрим процессы очистки и промывки в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.4.

Механические методы. Наиболее простым способом удаления загрязнений является *прогирка* с применением ветоши, салфеток и т. п.

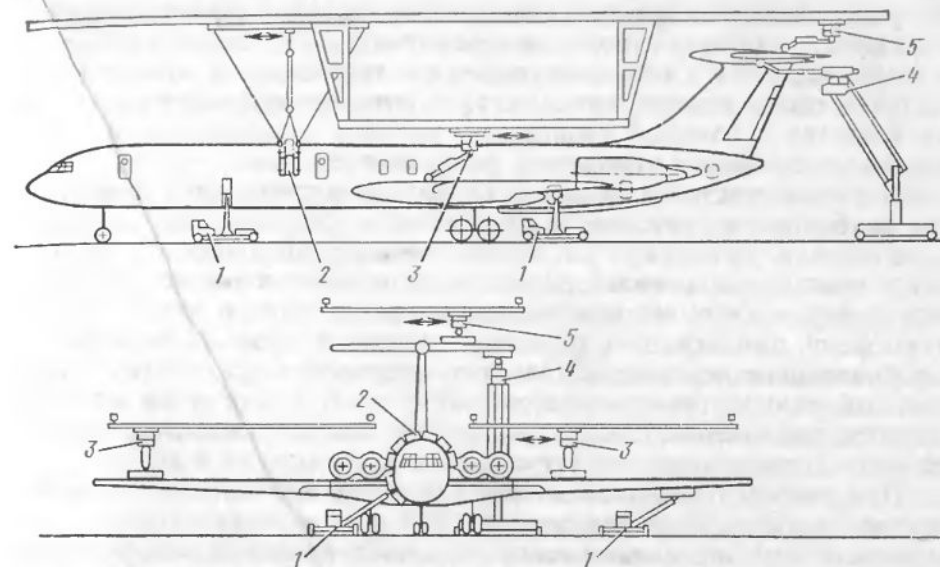


Рис. 2.5. Мобильная машина для мойки самолетов

лучило распространение портативное пылеотсасывающее устройство (рис. 2.6). Здесь используется сжатый воздух от технологической сети производственного предприятия. Проходя по трубопроводу 1 с достаточно большой скоростью он создает разрежение (по известному закону Бернулли) в трубопроводе 3, через который засасываются посторонние частицы (пыль, стружка и т. п.). Частицы попадают в тканевый фильтр 2, а сжатый воздух уходит через пористую ткань. Степень очистки зависит от густоты переплетений нитей ткани. Такое устройство удобно применять для очистки внутренних полостей самолетов и вертолетов после выполнения работ, связанных со стружкообразованием (запиловки, сверления), для удаления пыли и других посторонних частиц. Одно из существенных преимуществ описанного способа — простота и малая стоимость устройства. Недостаток — большой расход сжатого воздуха из технологической сети предприятия.

Для удаления отложений и лакокрасочных покрытий со значительной адгезией применяют обдувку с использованием твердых

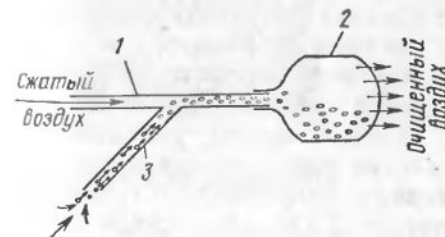


Рис. 2.6. Схема пылеотсасывающего устройства



Рис. 2.7. Схема устройства для обдувки деталей

частиц: стеклянных шариков, косточковой крошки, дробь (рис. 2.7). В бункер 3 загружают стеклянные шарики, косточковую крошку, абразивные частицы 4, которые через шланг 2 подаются в пистолет 1 и засасываются в него с помощью сжатого воздуха. Существуют и другие схемы подачи очищающих частиц в струю сжатого воздуха. Вылетая с большой скоростью, частицы ударяются о поверхность загрязняющих отложений, разрушая их.

Материал частиц и скорость их подачи к очищаемой поверхности подбирают в зависимости от прочности удаляемых загрязнений и их адгезии. Учитывают также возможность повреждения поверхности очищаемых деталей. Очистку производят в герметизированных камерах, стремясь исключить попадание пыли в окружающую атмосферу, предохранить ее проникновение в органы дыхания обслуживающего персонала. Очистка обдувкой — высокопроизводительный, технологически несложный способ, поэтому он находит широкое применение. Способ непрерывно совершенствуется, вводятся автоматизация подачи, регулировка напора струи и др.

При очистке с помощью твердых частиц в процессе их соприкосновения и взаимодействия проявляются два важных фактора: возможное внедрение мелких осколков в поверхность детали, упрочнение и изменение чистоты поверхностного слоя обработанной детали. Внедрение мелких частиц всегда может привести в различных сочленениях к повышенным износам. Избегают этого явления регулировкой напора струи, выбором рационального расстояния между срезом сопла обдувочного пистолета и очищаемой поверхностью.

В этом смысле наиболее приемлемые результаты получаются при использовании косточковой крошки и стеклянных шариков, изготовленных из закаленного стекла. При *обдувке стеклянными шариками* обрабатываемая поверхность упрочняется за счет пластической деформации поверхностных слоев. Можно также при этом способе увеличить класс шероховатости обрабатываемой поверхности. Диаметр шариков подбирают в зависимости от природы удаляемой пленки. Например, для очистки лопаток газовых турбин применяют шарики диаметром 0,08 мм. В некоторых случаях для исключения пылеобразования в струю сжатого воздуха добавляют воду. *Обдувка косточковой крошкой* получила широкое распространение. Однако из-за недостаточной прочности частиц твердые и прочные отложения с ее помощью удалить не удастся. Кроме того, косточковая крошка не дает эффекта упрочнения обрабатываемой поверхности. Эффекта упрочнения добиваются, применяя *обдувку металлической дробью*. Однако здесь следует учитывать возможное повреждение поверхностей из мягких цветных сплавов.

Разновидностью обдувки является *абразивная очистка*. При гидроабразивной очистке абразив находится во взвешенном состоянии в жидкой среде (обычно воде). В этом случае уменьшается пылеобразование и увеличивается ресурс рабочего инструмента. При сухой обдувке абразивный материал, соприкасаясь с поверхностью рабочих полостей, изнашивает ее. Гидроабразивная струя дает значительно меньшие износы. Интенсивность очистки при

этом способе регулируется содержанием абразива в жидкости. Здесь существует ограничение, так как избыточное количество абразива уплотняет смесь до такой степени, что удаление ее из рабочих полостей становится затруднительным. Обычно рекомендуют поддерживать количество абразива в размерах 20—30% от всего объема смеси.

В качестве абразива применяют кварцевый песок (в гидроструйках), карборунд, окись алюминия и др. Способ абразивной обработки может быть использован для полировки и очистки поверхности перед нанесением различных покрытий, снятия заусенцев и окалины после термообработки. Абразивный способ позволяет также механизировать процесс очистки и более эффективно использовать абразивные материалы.

Широкое распространение получила очистка с помощью *виброгалтовки*, поскольку в этом случае одновременно упрочняется поверхность обрабатываемой детали (рис. 2.8). Деталь 4 закрепляется в бункере 2, внутренняя поверхность которого покрыта слоем резины 3, отражающей дробь 5. С помощью приводного устройства 6 (например, вала, создающего вибрацию) бункер приводится в колебательное движение. Упругие пружинные опоры 1 способствуют колебаниям бункера. Загруженная масса перемещается, соударяясь с обрабатываемой поверхностью детали, очищает и упрочняет ее. Мелкие детали могут не закрепляться, а загружаться свободно, перемещаясь со всей массой очищающего материала. Масса для очистки, как правило, состоит из керамических зерен, металлической дробь, наполнителя и воды. Таким образом обрабатывают втулки, фланцы, цапфы, диски турбины, валы компрессоров и другие детали. После обработки детали промывают и сушат.

Способ *очистки паром* применяют для удаления консервирующих смазок, масел и других пленок, хорошо растворяющихся и разжижающихся струей пара. После обработки детали просушивают.

Кратко описаны наиболее широко применяемые способы механической очистки. Они непрерывно совершенствуются, развивают-

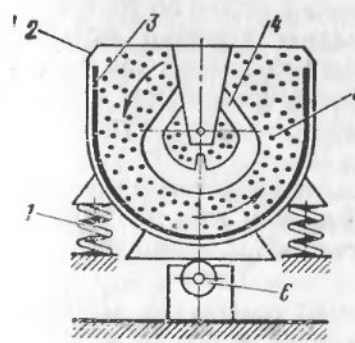


Рис. 2.8. Схема установки для виброгалтовки

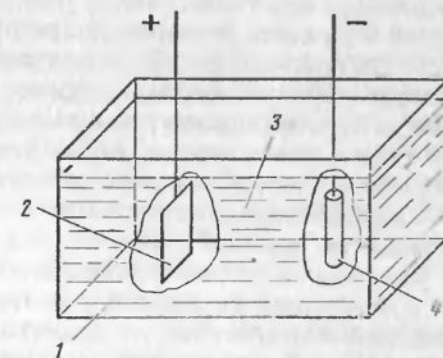


Рис. 2.9. Схема электролитической очистки

ся, механизмируются и автоматизируются с использованием для очистки новых синтетических материалов.

Физико-химические методы. Наиболее распространены физико-химические методы очистки с помощью органических растворителей и специальных моющих жидкостей. Они технически и экономически эффективны, позволяют механизировать и автоматизировать процесс очистки, допускают многократное использование моющих жидкостей путем их регенерации. В зависимости от характера загрязнений детали могут обрабатываться различными составами моющих и обезжиривающих средств. Вид загрязнения является самым важным фактором, определяющим выбор моющего раствора и условий очистки.

При *электролитической очистке* (рис. 2.9) очищаемая деталь 4, погруженная в токопроводящий раствор 3 в ванне 1, выполняет роль катода. Деталь очищается благодаря механическому и эмульгирующему воздействию обильно выделяющегося на ней водорода и кислорода на аноде 2. Выделение больших количеств газа сопровождается высоким уровнем возбуждения жидкости, особенно в участках, где загрязнения частично удалены и нет препятствий для прохождения электрического тока. Электролитическая очистка дает возможность получать весьма высокое качество очищаемой поверхности.

Катодная очистка более эффективна, чем анодная, но при ней может иметь место наводороживание поверхности («водородная хрупкость»), что вредно сказывается на эксплуатационных свойствах детали. В большинстве случаев целесообразнее применять анодную очистку, сопутствующее действие которой на поверхность металла менее вредно. Электролитический метод широко используется для очистки деталей газотурбинных двигателей от сажи и нагара.

С помощью *пароструйной очистки* с моющим веществом можно быстро производить промылочные работы при ремонте крупных деталей. Ее можно использовать и для очистки малого числа деталей, когда организация линии струйной очистки нерентабельна. Принцип работы пароструйного очистителя прост. Моющий раствор под умеренным давлением поступает в теплообменник, где он перегревается и уже под большим давлением подается дальше по трубопроводу. Вытекая из сопла с большой скоростью, горячий моющий раствор образует паровую мелкодисперсную струю, которая проникает даже в малодоступные полости. Турбулентность струи и ударная сила о поверхность детали вместе с высокой температурой раствора помогают ускорению очистки.

Ультразвуковая очистка имеет широкое распространение. Она проводится в какой-либо жидкой среде, активно воздействующей на удаляемый вид загрязнений. В такой среде при помощи источника колебаний создаются упругие волны высокой частоты. Основу очищающего действия ультразвука составляет кавитация. При распространении в жидкости ультразвуковых волн в ней появляются сжатия и разрежения, чередующиеся с ультразвуковой частотой. Пики давления, образующиеся при захлопывании кавитационных

пузырьков, разрушают загрязнения. Если при этом жидкость активно воздействует на удаляемые вещества с помощью химических реакций, процесс очистки проходит высокопроизводительно и качественно.

К достоинствам этого способа очистки можно отнести: возможность удалять с поверхности различные виды загрязнений; способность очищать детали сложной формы с труднодоступными полостями; сравнительная простота механизации и автоматизации процесса. Принцип работы установки для ультразвуковой

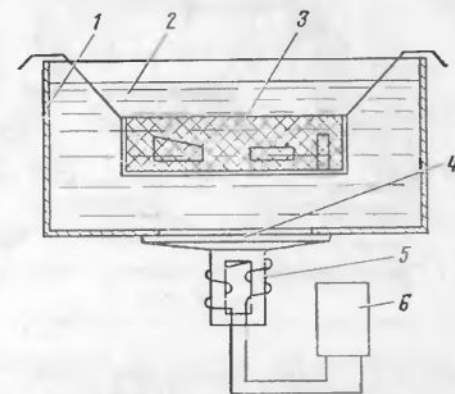


Рис. 2.10. Схема ультразвуковой установки

очистки (рис. 2.10) состоит в следующем. В ванну 1 с раствором 2 помещен контейнер 3 с деталями. Ко дну ванны прикреплена мембрана 4, которой придает колебательные движения ультразвуковой частоты магнитострикционный преобразователь, получающий импульсы от ультразвукового генератора 6. С помощью ультразвуковых колебаний не только создается кавитация, но и возбуждаются пульсирующие перемещения очищающей жидкости, способствующие интенсификации очистки.

Образующиеся при воздействии ультразвука на моющий раствор пузырьки проникают во все поры и щели между слоем загрязнения и поверхностью. Вибрация отслаивает и отрывает частицы загрязнений, которые затем уносятся акустически возмущенной жидкостью. Наиболее благоприятным для ультразвуковой очистки является диапазон частот 20—40 кГц.

Расположение деталей относительно излучателя (мембраны на рис. 2.10) существенно влияет на эффективность очистки. Лучше очищаются те детали, которые расположены ближе к излучателю. Поскольку распространение ультразвуковых волн подчиняется законам отражения и преломления, подобно оптическим, располагать детали необходимо с учетом этого явления. Так как большое значение имеет неравномерное распределение участков максимальной эффективности в облучаемой ультразвуком массе жидкости, крупноразмерные детали вращают в ультразвуковом поле, детали в сортовик укладывают в небольших количествах. Во избежание этого недостатка иногда прибегают к конструкции преобразователя, способного фокусировать пучок ультразвуковой энергии высокой интенсивности на строго определенный участок ванны.

Время очистки деталей зависит от природы загрязнений и состава моющих жидкостей, которые сами по себе являются эффективными растворителями или моющими средствами. Для удаления мельчайших инородных частиц из приборного оборудования, очистки и обезжиривания механизмов самописцев, гироскопов самолета

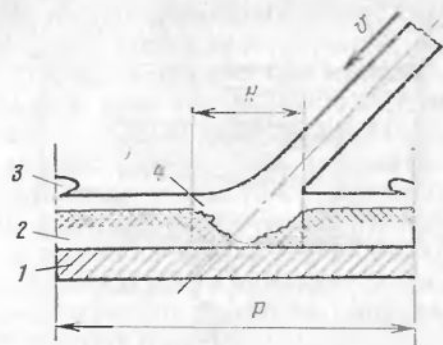


Рис. 2.11. Схема воздействия струи на очищаемую поверхность

H удара струи слой загрязнения 2 деформируется, что приводит к его разрушению и размыву за счет возникающих нормальных и касательных напряжений. Отработавшая жидкость и частицы загрязнения отводятся из зоны очистки. При введении в струю моющих средств снижается поверхностное натяжение, вследствие этого уменьшается адгезия загрязнений к поверхности, что ускоряет их удаление.

Струйная обработка поверхности применяется при очистке узлов, агрегатов и деталей, обезжиривания поверхностей перед покраской и для удаления технологических загрязнений деталей перед сборкой. Для этих целей широко применяются установки для очистки высоконапорными струями, тупиковые и конвейерные установки камерного типа. При небольшом объеме моечных работ используются камерные установки тупикового типа. Они состоят из моечной камеры, бака для моющего раствора, насосного агрегата и системы качающихся гидрантов, обеспечивающих всестороннюю очистку деталей. При большом объеме работ применяют камерные установки проходного типа (рис. 2.12). Перемещение контейнера 3 с деталями в моечной камере 2 обеспечивается транспортером 1 (конвейером), очистка осуществляется раствором в моечных камерах.

Эффективная струйная очистка достигается в зоне прямого контакта струи моющего раствора с очищаемой поверхностью. Обеспечить попадание струй на все участки деталей сложно. В этой связи очистка погружением деталей в раствор является важным способом в ремонтном производстве.

К преимуществам этого способа очистки перед струйными относятся: возможность использования высокоэффективных моющих средств щелочного типа, имеющих повышенное пенообразование; возможность использования различных растворителей; возможность интенсификации процесса очистки; конструктивная простота оборудования; удобство эксплуатации и экономичность.

Очистка погружением проводится в ваннах различных конструкций в зависимости от вида деталей и характера их загрязнений.

тов и вертолетов применяют ванну с фреоном, через которую пропускают ультразвук. Кратковременное погружение обеспечивает чистоту механизма, избавляя от дорогостоящих разборочно-сборочных операций.

Струйная очистка заключается в механическом, термическом и физико-химическом воздействии струи моющей жидкости на загрязненную поверхность (рис. 2.11). Механическое воздействие струи 4 проявляется при ее ударе о поверхность 1. При этом в зоне

Корзина с промываемыми деталями 5 (рис. 2.13) через загрузочный люк 3 устанавливается на конвейерное устройство 6, изменяющее направление с помощью блоков 7 и приводимое в движение приводом 4. Перемещаясь в объеме ванны, детали попадают в моющий раствор 1, выходя из которого охлаждаются с помощью змеевика 8. Пары отсасываются через вентиляционное отверстие 2. Нагрев ванн осуществляется с помощью паровых змеевиков 9 или электронагревателей. Для интенсификации процессов очистки в ваннах применяют различные способы возбуждения раствора: сжатым воздухом, винтами, ультразвуковыми колебаниями, электрогидравлическими импульсами и т. п.

На различных очистных операциях получили широкое распространение ванны с колеблющейся платформой. Детали в контейнерах устанавливают на платформу, которая погружается в ванну с раствором и совершает там возвратно-поступательные перемещения. Возникающие при этом турбулентные потоки омывают все поверхности деталей, что обеспечивает всестороннюю очистку. Для повышения качества очистки, кроме промывки вибрацией в ваннах, производится последующее ополаскивание деталей, поднятых над раствором, струями моющей жидкости.

Рис. 2.13. Принципиальная схема очистки погружением

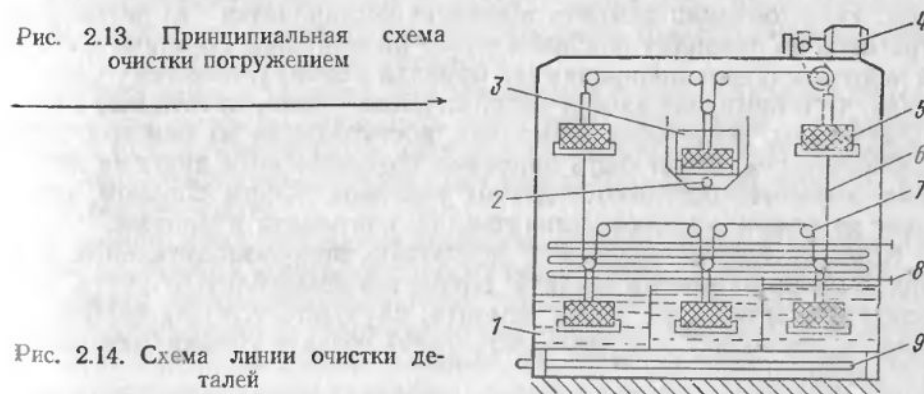
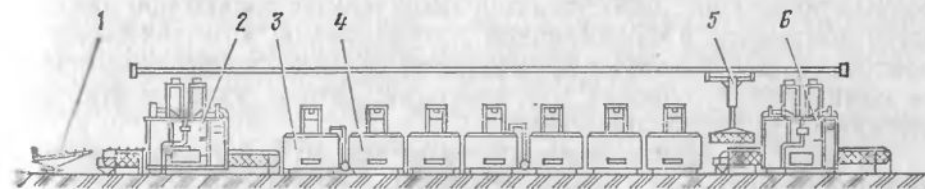


Рис. 2.14. Схема линии очистки деталей



Струйная очистка реализуется в несколько этапов, сочетание различных струй позволяет обеспечить оптимальное протекание физико-химических и гидродинамических процессов удаления загрязнений.

Примером практической реализации указанных принципов является автоматическая поточная линия очистки деталей на АРЗ (рис. 2.14). Линия предназначена для очистки деталей от загрязнений, лакокрасочных покрытий, углеродистых отложений. Детали поступают в контейнерах 6 в моечную установку струйного типа для предварительной очистки. Затем автооператор 5 подает контейнер к ваннам с различными моющими составами, к вибрационной ванне 4, виброструйной ванне 3. После этого контейнер попадает в моечную установку струйного типа 2 для ополаскивания деталей и затем устанавливается на поворотный стол 1. После всех видов промывки детали просушивают.

2.4. КОМПЛЕКТОВАНИЕ

Основные положения. Комплект — это набор деталей, агрегатов, ремонтируемых на одном участке, в одном цехе или на одном рабочем месте. В комплект включают те детали и агрегаты, ремонт которых выполняется совместно на этапах разборки, дефектации, ремонта. Такой набор включают в комплект-талонную систему.

Комплектование, т. е. составление комплектов, проводится по этапам: в ремонт, из ремонта и в монтаж. Комплектование в ремонт проводится после разборки. Комплект очищают, промывают и направляют на участок ремонта, где выполняются дефектация и ремонт. По окончании ремонта комплект составляется из деталей и агрегатов по признаку разбивки работ на монтаже. Например, если на монтаже специализированная бригада монтирует систему управления, то в комплект входят тяги, качалки, тросы, крепежные детали, агрегаты, гермоузлы. Комплект, поступающий из ремонта, при необходимости может быть дополнен крепежными и другими деталями, которые поступают с других участков. Таким образом, комплект из ремонта может отличаться от комплекта в монтаж.

Комплектование позволяет: исключить непроизводительные потери времени на поиски деталей; сократить номенклатуру учета, что облегчает контроль за ходом ремонта; улучшить условия транспортировки, поскольку для комплекта легче создать специализированную оснастку.

Комплектование выполняется при соблюдении следующих основных положений: оно считается законченным только при наличии всего комплекта и оформленной документации; комплектование в монтаж осуществляется с применением входного контроля — осмотра комплекта и проверки документации; детали, узлы и агрегаты должны быть взаимозаменяемы.

В последнем случае учитывается не только конструктивная взаимозаменяемость, но и взаимозаменяемость по наработке. Поясним

это на конкретном примере. Рулям поворота, элеронам устанавливается назначенный ресурс по самолету, их наработка соответствует наработке самолета. Если эти агрегаты установить на другой самолет с меньшей наработкой, получится, что их назначенного ресурса не хватит для отработки назначенного ресурса всего самолета. Поскольку превышение назначенного ресурса недопустимо, эти агрегаты невзаимозаменяемы. Невзаимозаменяемые детали, узлы и агрегаты при демонтаже отмечают специальным образом. Например, навешивается металлическая бирка с указанием номера самолета.

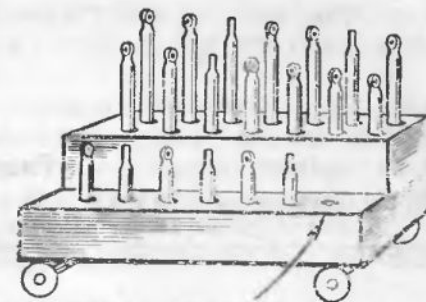


Рис. 2.15. Сортвик-тележка

Оснастка для комплектования. Комплектование осуществляется с применением универсальных и специализированных сортовиков. Сортвики представляют собой емкости или тележки для укладки комплекта. Емкости могут конструироваться в виде ящиков с ячейками для укладки деталей. Комплект ответственных деталей стыка планера укладывается в сортвик с крышкой, пломбируемой контрольным мастером с тем, чтобы случайно не попали некондиционные болты, гайки, шайбы.

На рис. 2.15 показан сортвик-тележка для укладки тяг системы управления. Он удобен тем, что наглядно и быстро дает возможность проверить полноту комплекта. Одна незаполненная ячейка свидетельствует об отсутствии конкретной тяги. Такой принцип конструирования сортовиков позволяет повысить производительность труда при комплектовании, облегчает транспортировку, предохраняет детали от повреждения.

В сортовиках-тележках (универсальных и специализированных) ложементы ячеек должны быть выполнены так, чтобы укладываемые в них детали не были повреждены. Это достигается обшивкой ложементов мягкими материалами или изготовлением ячеек из резины или пластмасс.

Принцип комплектования применяют при выдаче и хранении деталей с основных и промежуточных складов. Это позволяет широко применять автоматизацию поиска необходимого изделия. На АРЗ широко применяются автоматизированные штабелеры. Принцип устройства такого штабелера основан на поиске адреса сортовика, когда известны номера стеллажа, полки и ячейки. Нажатием кнопки оператор посылет каретку с захватом по известному адресу, и она доставит ему нужный сортвик. Наибольший эффект дает комплектование сквозное, означающее, что детали для комплекта имеют общий адрес, например стеллаж деталей системы управления.

Комплектование в ремонт обычно начинается в процессе разборки или после нее с помощью укладки в сортвики в специализированных комплектовочных отделениях.

Глава 3

ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРИ РЕМОНТЕ

3.1. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В комплексе действий, направленных на обеспечение надежности и долговечности авиационной техники, техническое диагностирование имеет решающее значение. В общем смысле техническая диагностика — наука о распознавании состояния технических систем. Эта наука имеет два направления: теорию распознавания и теорию контролеспособности.

В теории распознавания рассматриваются диагностические модели, алгоритмы распознавания, математические модели устройств и с помощью введения в модели различных ситуаций, включая отказы и неисправности, определяется их техническое состояние. Математическая модель дает возможность в кратчайший срок анализировать полученную информацию и прогнозировать поведение диагностируемого объекта. Эта работа может быть выполнена непосредственно на борту самолета или вертолета портативной вычислительной машиной, использующей информацию встроенных диагностических устройств, что даст возможность оперативно принять обоснованное решение. Такая информация может быть передана на землю в базовое предприятие, где к моменту прилета самолета или вертолета будет принято решение о необходимом объеме ремонтных работ. Проводится работа по созданию единого комплекса наземных диагностических устройств для определения технического состояния систем в рамках внедрения эксплуатации и ремонта авиационной техники по состоянию. Теория распознавания как направление технической диагностики найдет в этом случае самое широкое применение.

В теории контролеспособности рассматриваются средства и методы получения диагностической информации, средства автоматизации контроля и поиска неисправностей.

Поскольку основной задачей ремонта является обеспечение надежности и ресурса самолета, вертолета, авиадвигателя, что совпадает с целями технического диагностирования, мы можем рассматривать совокупность действий по получению диагностической информации при ремонте, как часть технического диагностирования. При ремонте диагностическую информацию получают при дефектации. Термин *дефектация* означает комплекс работ, выполняемых для определения соответствия деталей, узлов, агрегатов и всей конструкции в целом чертежам, техническим условиям и требованиям

технологии ремонта. В процессе дефектации устанавливается наличие неисправностей и дефектов в объектах, т. е. получается диагностическая информация.

Заданный уровень надежности авиационных конструкций может быть обеспечен только при условии получения в процессе дефектации абсолютно достоверной диагностической информации, так как малейшая ошибка в определении характера неисправности (дефекта) или ее пропуск, могут привести к труднопрогнозируемым последствиям. В связи с этим при дефектации необходимо соблюдать следующие основные положения:

дефектация может выполняться только высококвалифицированным специалистом (дефектовщиком);

рабочее место дефектовщика (передвижное или стационарное) должно быть оснащено приборами неразрушающего контроля, осветительными устройствами, мерительным инструментом и комплектом технической документации;

дефектация должна осуществляться по целесообразно выбранному маршруту.

По принятой при ремонте системе перед дефектацией ставится двоякая цель: не только определить техническое состояние, но и дать способ устранения обнаруженной неисправности (дефекта).

3.2. ДЕФЕКТАЦИЯ

Весь процесс дефектации состоит из нескольких этапов: объемная дефектация; дефектация несъемного и съемного оборудования; определение методов ремонта; оформление документации. Рассмотрим цели и задачи каждого этапа дефектации.

Объемная дефектация. Диагностическую информацию при объемной дефектации получают до начала разборки самолета, вертолета или агрегата, т. е. когда вся конструкция находится в полном объеме (отсюда и название этапа).

Первым источником такой информации являются данные, полученные в процессе эксплуатации, до поступления авиатехники в ремонт. Самолеты и вертолеты снабжены рядом диагностических устройств, дающих информацию о состоянии некоторых систем и об условиях эксплуатации всей конструкции в целом. Так, на самолетах и вертолетах установлены измерители вибрации силовых установок, сигнализаторы наличия стружки в масле. Если уровень вибрации превышает установленную норму или появился сигнал о наличии стружки в масле, двигатель подлежит снятию и отправке в ремонт. На всех самолетах и вертолетах имеется устройство, регистрирующее ряд параметров (в некоторых устройствах до 100) в процессе эксплуатации. Например, регистрируются перегрузки. Если перегрузка в полете или при посадке превысила установленную норму, конструкция самолета или вертолета подлежит дополнительной дефектации для определения наличия остаточных деформаций и дру-

гих отклонений от требований нормативно-технической документации.

Эксплуатирующее предприятие передает дополнительную информацию по отклонениям, имевшим место за весь период отработки ресурса до ремонта. Сюда могут войти данные о поломках, отклонениях от требований норм летной эксплуатации (например, повышенный крен в полете, затяжеление в системе управления и т. п.). Эксплуатирующее предприятие сообщает также об имевших место отказах и неисправностях систем и агрегатов самолета, вертолета или авиадвигателя.

Поступившая информация, занесенная в карты объемной дефектации, позволяет обратить внимание дефектовщиков на те места конструкции, где имело место отклонение от установленных норм. При больших перегрузках или значительной поломке, связанной с резким изменением нагрузки, назначается входная нивелировка с тем, чтобы определить степень деформации всей конструкции. В случае выхода из допускаемых отклонений при измерениях по реперным точкам может оказаться, что конструкция настолько деформирована, что не должна дольше эксплуатироваться и ее необходимо списать.

Эксплуатирующее предприятие при необходимости передает информацию об изменении летных качеств самолета или вертолета. Например, об увеличении времени набора высоты, замедлении реакции на действия управляющих поверхностей (рулей, элеронов). В этих случаях идет поиск причин ухудшения аэродинамических характеристик (повышенная шероховатость поверхности, увеличение сопротивления за счет деформаций, нарушение регулировки органов управления и т. п.) или весовых данных. В последнем случае самолет взвешивается до ремонта для определения центровки и сравнения с установленными нормативными пределами. Полученная таким образом диагностическая информация до начала разборки дает возможность конкретно по каждому агрегату сосредоточить внимание на определенных деталях, узлах и участках конструкции.

Вторым источником диагностической информации при объемной дефектации является непосредственный контроль состояния всей конструкции в полном объеме. Цель этой части объемной дефектации — выявить те неисправности, которые после разборки обнаружить невозможно. Ниже приводятся примеры таких неисправностей.

Так проверяется герметичность кессонов-баков. Дефектовщик, осматривая кессоны-баки, обнаруживает видимые течи по следам подтекания топлива и отмечает их легкосмываемой красной краской (например, вокруг заклепок, болтов, у стыков). При вскрытии кессонов-баков, когда наружная поверхность промыта, следов подтекания нет, по сделанным дефектовщиком отметкам определяется причина течи: ослабление крепежных деталей, коррозия, нарушение сплошности, износ отверстия. Устранение причины течи в процессе ремонта сокращает время доводки герметичности кессонов-баков после сборки. Могут быть также проведены предварительные испытания кессонов-баков с той же целью. Такой диагностический при-

ем позволяет предварительно определить ослабления в местах сосредоточенных нагрузок, перепадов жесткости и др. Например, кронштейн навески элеронов самолета является составной частью конструкции кессона, так как крепится к его второму лонжерону. Повышенные нагрузки на этот узел, включая вибрационные, могут привести к ослаблению мест крепления, свидетельством чего часто является негерметичность соответствующего соединения. Таким образом, течь в районе узла навески элерона может явиться первым сигналом повышенных износов в этом районе.

До начала разборки проверяют герметичность гермокабин. Это делают в связи с тем, что после разборки, когда двери, люки, гермоузлы, гермопроходники сняты, невозможно установить, насколько герметичны были эти узлы. Объемная дефектация дает возможность определить объем ремонтных работ по обеспечению герметичности: необходимость замены уплотнителей, наличие деформаций силовых элементов окантовок проемов. Проверка герметичности до разборки позволит определить наличие утечек воздуха по контурам иллюминаторов, остекления пилотских и пассажирских кабин. В некоторых случаях при ремонте остекление не снимается, если его состояние соответствует техническим требованиям. Однако если имеется негерметичность, остекление демонтируют для устранения недопустимых утечек воздуха.

Предварительная проверка герметичности гермокабин имеет большое значение для определения плотности заклепочных швов. На отдельных участках могут появиться ослабления заклепок, болтов, винтов, значительные износы в крепежных отверстиях, что, с одной стороны, приводит к утечкам, а с другой — свидетельствует о необходимости провести ремонтные работы на таких участках: выполнить замену заклепок, установить ремонтные болты, винты, подтянуть крепежные детали. Эта операция дает также возможность систематически наблюдать за участками с ослабленным соединением, собирать статистический материал для анализа работы конструкции, позволяет выявить ее слабые места и наметить конструктивные и другие мероприятия по предупреждению и устранению нежелательных износов.

Важное значение имеет проверка герметичности как диагностический прием для определения целостности конструкции, особенно элементов обшивки. При наличии трещин в труднодоступных для осмотра местах, при появлении в таких же местах зазоров, особенно в многослойных конструкциях, появятся утечки, свидетельствующие о наличии дефектов. Здесь следует иметь в виду, что при проверке герметичности после сборки утечки не всегда проявляются, так как конструкцию окрашивают, наносят смазку, возобновляют герметизацию с помощью уплотнителей и в недоступных местах наличие покрытий может перекрыть щель, трещину, уменьшить зазор. Сразу же после окончания межремонтного срока эксплуатации вероятность обнаружения описанного дефекта значительно выше.

При объемной дефектации проверяют *вписываемость* — соответствие зазоров, превышений, «ножниц» управляющих поверхностей

(рулей, элеронов, закрылков, триммеров, флетнеров и др.) относительно базовых контуров. Например, для закрылка базовым контуром будет профиль крыла на соответствующем участке. Вписываемость элерона определяется по превышению над законцовочными профилями или поверхностями крыла. Между элеронами, рулями, закрылками, триммерами, флетнерами и примыкающими к ним сечениями основной конструкции (торцевые нервюры крыла, хвостового оперения) установлены строго нормированные зазоры. Размеры таких зазоров оказывают значительное влияние на аэродинамические характеристики. В процессе эксплуатации зазоры могут измениться вследствие остаточных деформаций, при нарушении условий монтажа в случае замены агрегата (например, элерона, руля) или узла его крепления. При разборке эти зазоры и превышения исчезнут и отступления от нормативных значений обнаружатся только на монтаже при сборке всей конструкции. Устранение подобных отклонений не всегда может быть выполнено регулирующей, иногда необходимо переставить узлы навески. На заключительном этапе ремонта, при окончательной сборке это вызовет задержки монтажа многих систем и общий цикл сборки значительно возрастет. Здесь необходимо учитывать, что допускаемые отклонения вписываемости имеют пределы (верхний и нижний). Важно знать, как изменились пределы вписываемости после ремонта. Путем сравнения зазоров, «ножниц», превышений до и после ремонта можно определить нарушение правил монтажа.

Здесь описаны некоторые основные приемы объемной дефектации. По каждому конкретному типу самолетной конструкции диагностическая программа поиска неисправностей уточняется.

Дефектация несъемного и съемного оборудования. После завершения объемной дефектации самолет (вертолет) поступает в разборку. В соответствии с технологией ремонта снимают агрегаты, детали и узлы, промывают, комплектуют в ремонт и направляют на соответствующие участки ремонтных цехов. Весь комплект условно называется *съемным оборудованием*. Оставшаяся часть деталей, узлов и агрегатов, не демонтированных с основной конструкции, условно называется *несъемным оборудованием*.

Перед дефектацией несъемное и съемное оборудование очищают и промывают от пыли, грязи, смазок и других загрязнений. Пятна отложений не дадут возможность дефектовщику достоверно провести контроль. Кроме этого, на заранее обусловленных участках удаляют герметики, лакокрасочные покрытия, если это необходимо для поиска повреждений, которые могут быть скрыты под слоем загрязнений и покрытий.

Дефектация несъемного и съемного оборудования начинается с внешнего осмотра. При этом определяют видимые глазом деформации, повреждения покрытий, нарушения сплошности, изменения крепежных отверстий. Во всех случаях осматриваемый участок должен быть хорошо освещен. В некоторых случаях деформации и нарушения сплошности могут быть настолько значительными, что по результатам внешнего осмотра сразу принимают решение о замене

дефектной детали или узла. То же относится к повреждениям лакокрасочных, гальванических и других покрытий. Здесь могут наблюдаться растрескивание, отслоение защитной пленки, покрытия, могут иметь место потертости таких размеров, что антикоррозионная защита должна быть возобновлена. Однако в большинстве случаев при дефектации применяют методы неразрушающего контроля, производят измерения дефектируемых деталей и сопряжений.

Во всех случаях дефектовщик должен представить себе причину появления дефекта с тем, чтобы определить метод ремонта из условий обеспечения необходимого уровня надежности. В этом смысле имеют принципиальное значение два положения: метод ремонта не должен ухудшать условия работы ремонтируемого узла; при определении метода ремонта необходимо исключить возможность повторного появления дефекта, неисправности.

Рассмотрим эти положения на некоторых примерах. Допустим, необходимо установить ремонтный болт с размером, превышающим номинальный. При этом дефектируют сопряженные детали и выявляют, как изменение этого размера повлияет на уменьшение перемычек сопряженных деталей. Может оказаться, что перемычка уменьшается до недопустимого размера, и тогда установка ремонтного болта станет невозможной, поскольку снизится надежность всего узла. В другом случае может оказаться, что усиливающая накладка ухудшает условия прилегания люка или двери, ее установка ухудшит условия работы герметизируемого соединения. В этом случае необходимо искать другое конструктивное решение усиления.

В многослойных конструкциях причиной появления наружной трещины может явиться разрушение внутреннего конструктивного элемента. Усиление обшивки не исключит возможности появления трещины вновь. На рис. 3.1 показана схематично конструкция стыка стрингера 1, приклепанного к обшивке 2. Стык стрингера перекрыт накладкой 3. В процессе эксплуатации появилась трещина 4 в стрингере. Эта трещина не была видна снаружи, поскольку закрыта накладкой. В результате потери жесткости стрингера на обшивке появилась трещина. Усиление обшивки не дало эффекта. Трещина же в стрингере будет продолжать развиваться и после установки накладки на обшивку. В результате стрингер разрушится и только после этого появится видимая трещина в накладке 3. Таким

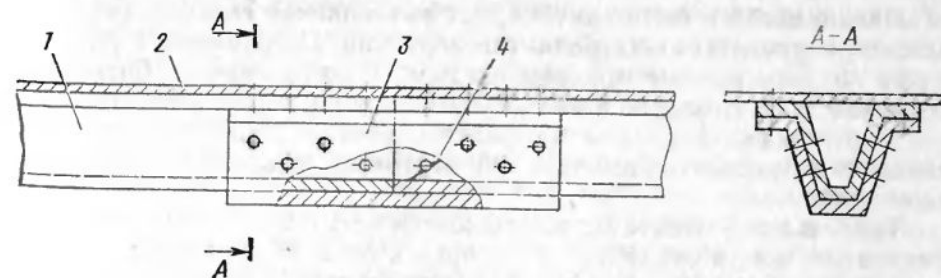


Рис. 3.1. Скрытая трещина в стыке стрингера

образом, усиление обшивки без выяснения причины появления трещины не предотвратит в этом примере появления трещины вновь. В таких случаях необходимо снять накладку 3 и проконтролировать состояние конструкции под ней. В данном примере было проведено усиление или замена стрингера, чем предотвращено дальнейшее разрушение в этом районе.

Представим, что в многоболтовом и многослойном соединении был обнаружен обрыв болта. При дефектации соединения может оказаться, что причиной обрыва явилась неполная стяжка пакета. В этом случае простая замена болта не даст желаемого эффекта, болт через некоторое время снова разрушится. Необходимо обеспечить стяжку пакета и только после этого заменить болт.

Изнашивание отверстий часто является следствием нарушения их соосности. Если развернуть такие отверстия, не ликвидировав несоосность или перекос деталей, изнашивание будет продолжаться.

Приведенные примеры иллюстрируют требование о необходимости рассматривать обнаруженный дефект и определяемый метод ремонта во взаимной связи с работой узла, его надежностью.

Определение методов ремонта. При определении метода ремонта учитывают следующие факторы: характер дефекта и причину его возникновения, условия функционирования ремонтируемого объекта, материал и конструктивную форму детали. С учетом этих факторов технологией ремонта самолета или вертолета устанавливаются браковочные признаки, т. е. количественные и качественные характеристики дефектов, которые требуют замены, усиления или восстановления определенных деталей или элементов конструкций.

Замена (полная или частичная) деталей, агрегатов или узлов производится в соответствии с браковочными признаками в том случае, если: обнаружено недопустимое повреждение; размеры обнаруженного дефекта превышают установленные предельные значения; отработан назначенный ресурс; детали входят в перечень постоянно заменяемых при ремонте.

Рассмотрим несколько примеров. Обнаруженные трещины болтов, осей, валов относят к недопустимым повреждениям, вызывающим необходимость замены этих деталей. Наличие любых механических повреждений трубопровода в ниппельном соединении не допускается, и трубопровод подлежит замене. Поврежденный язвенной коррозией участок стрингера, особенно в месте соединения с обшивкой, должен быть заменен, так как никакие способы ремонта не смогут предотвратить развитие коррозии. Подшипник с вышедшими за допускаемые пределы осевыми и радиальными биениями не может быть допущен к дальнейшей эксплуатации, и его заменяют. Растрескавшееся, отшелушившееся лакокрасочное покрытие на внешней поверхности самолета или вертолета удаляют и полностью заменяют.

Замены при ремонте осуществляются не только при наличии дефектов, но и при обработке некоторыми деталями или агрегатами назначенного ресурса. Например, все резиновые манжеты, уплотнительные кольца, прокладки имеют ограниченный календарный срок

службы, и при ремонте их заменяют. То же относится к гибким рукавам и шлангам.

В отдельных случаях устанавливается определенный ресурс болтам, кронштейнам, рельсам закрылков и т. п. Такое ограничение вводится на основании результатов опережающих испытаний конструкции или по статистическим данным эксплуатирующих и ремонтных предприятий. На паспортизируемые агрегаты установлен назначенный ресурс, по отработке которого производят их замену. При всех видах ремонта стопорные детали (шплинты, пружинные шайбы, контрольную проволоку и т. п.) заменяют независимо от их состояния. В технологиях ремонта имеется карта постоянно заменяемых деталей.

В настоящее время значительную долю себестоимости ремонта составляют затраты на запасные части и новые агрегаты, изготовление деталей и элементов конструкций. Между тем, *восстановление работоспособности* авиационных деталей, изготовленных из дорогостоящих и дефицитных материалов, при рациональной технологии ремонта дает большой экономический эффект. Технологические возможности восстановления деталей на авиаремонтном предприятии расширяются за счет освоения прогрессивных методов обработки металлов, внедрения технологии нанесения металлических и других видов покрытий, перспективных видов сварки, пайки, склеивания.

Восстановительный ремонт производится в случаях: наличия дефектов и повреждений допустимых размеров на деталях и элементах конструкций; нарушения установленных посадок из-за износа сопрягаемых деталей подвижных и неподвижных соединений.

В зависимости от вида дефекта, материала и конструктивных особенностей деталей, условий работы, а также экономической и технологической целесообразности применяют соответствующие способы восстановления, в том числе слесарную или механическую обработку, обработку давлением, ремонт клепкой, сваркой, пайкой, склеиванием, металлизацию, антикоррозийную защиту.

Слесарно-механическая обработка применяется в основном для устранения поверхностных незначительных дефектов — рисок, забоин, царапин, эрозии, коррозии допустимых размеров. Например, забоины, риски, царапины, которые являются концентраторами напряжений и могут привести к разрушению детали при дальнейшей эксплуатации, должны зачищаться до полного удаления следов дефекта. Восстановление прочности ремонтируемых деталей достигается при этом обеспечением плавных переходов, заданной шероховатости поверхности. Слесарно-механическая обработка при восстановлении формы и размеров деталей может включать такие виды работ, как резка, опиливание, рихтовка, притирка, развертывание, шабрение, зенкование, полирование, нарезание резьб и др. В условиях авиаремонтного производства эти виды работ выполняются как с помощью ручного (напильники, шабера, абразивные бруски, ножовки), так и с применением электро- и пневмоинструмента.

Механическая обработка применяется как самостоятельный технологический процесс для придания заданных формы, размеров и шероховатости поверхности ремонтируемым деталям и как промежуточная операция при восстановлении другими методами. Например, восстановление размеров и формы стальных цилиндрических деталей включает предварительное шлифование до удаления овальности или конусности, наращивание слоя хрома, а затем окончательное шлифование до заданных чертежом размеров и шероховатости поверхности. Ремонт сваркой выполняется после засверловки концов трещины.

Особенностью механической обработки при ремонте авиадеталей является преобладание чистовых и доводочных операций, необходимость снятия тонкого и неравномерного слоя металла при устранении искажений формы деталей. В связи с этим на ремонтных предприятиях в составе станочного парка значительное место занимают станки для тонкой обработки — шлифовальные, хонинговальные, станки для выполнения отделочных операций — полирования, суперфиниширования, притирки.

Находят применение новые методы механической обработки — полирование абразивной струей и пульпой, которое отличается высокой производительностью, шлифование и хонингование алмазным инструментом, обеспечивающие высокую точность обработки и улучшение шероховатости поверхности.

Механическую обработку применяют на авиаремонтных предприятиях для изготовления новых деталей авиационных конструкций, оснастки, нестандартного оборудования, инструмента, различных приспособлений. Для выполнения этих работ используют токарно-винторезные, револьверные, фрезерные, строгальные, сверлильные станки, автоматы и полуавтоматы для изготовления крепежных деталей, станки для электроискровой, ультразвуковой обработки и др.

Восстановление пластическим деформированием (давлением) применяется для устранения остаточных деформаций (изгиба, скручивания, коробления), правки вмятин. Разновидностями обработки давлением являются гибка, штамповка, осадка, развальцовка, накатка и другие способы пластического деформирования. В зависимости от глубины деформации может применяться холодная или горячая правка деталей. К обработке давлением относят также способы поверхностного упрочнения деталей: пневмодинамический, дорнирование, обкатку роликами.

Металлизация, металлические и неметаллические неорганические покрытия широко используются в ремонтном производстве для восстановления размеров изношенных поверхностей путем наращивания металлов и сплавов с определенными физико-механическими свойствами. В сочетании с механической и термической обработкой нанесение покрытий позволяет восстановить заданные чертежом свойства поверхностного слоя, требуемую шероховатость поверхности. Восстановлению подлежат и поврежденные в процессе эксплуатации защитные, декоративные и специальные лакокрасочные, ме-

таллические и неметаллические (окисные) покрытия самолета или вертолета.

Наряду с традиционными способами нанесения покрытий химическим, электрохимическим — на авиаремонтных предприятиях находят применение плазменное напыление различных материалов на поверхность детали для наращивания слоя с повышенным сопротивлением изнашиванию и восстановления размеров, контактно-механическое (фрикционное) нанесение металлов на поверхность деталей с целью повышения износостойкости.

Сварка и пайка применяются для восстановления прочности сварных и паяных конструкций при наличии допустимых повреждений — незначительных пробоин, трещин, дефектов шва и др. В авиаремонтном производстве получили наибольшее распространение такие виды сварки, как электродуговая в среде защитных газов, газовая кислородно-ацетиленовая, электроконтактная, внедряются перспективные виды сварки — микроплазменная и диффузионная.

Основным недостатком ремонта сваркой является значительное тепловое воздействие на основной металл, вызывающее деформации и снижение прочности металла в околошовной зоне сварной конструкции. В связи с этим область применения ремонта авиадеталей сваркой устанавливается нормативно-технологической документацией.

Пайка используется при ремонте радиаторов для замены сот, запайки незначительных трещин, вмятин, при ремонте сетчатых фильтров, замене наконечников проводов. При выполнении сварочных работ и пайки особое место занимает контроль за качеством шва и соединения в целом.

Склеивание в авиационных конструкциях применяют для образования неразъемных соединений деталей, изготовленных из разнообразных материалов. Склеивают металлические детали из алюминиевых и магниевых сплавов, неметаллические элементы конструкции из пластмасс, композиционных и других материалов между собой и с металлами. Восстановление деталей склеиванием применяют при ремонте панелей, изготовленных из композиционных материалов (углепластиков, боропластиков и др.), для восстановления деталей интерьера пассажирских и пилотских кабин, бытовых отсеков, для ремонта резиновых и пластмассовых деталей.

Клепка — весьма распространенный процесс, применяющийся для образования неразъемных соединений в авиационных конструкциях. Клепаные соединения обеспечивают требуемую надежность, ресурс агрегатов планера и поэтому широко применяются при ремонте самолетов и вертолетов. Несмотря на недостатки (увеличение массы, относительно большая трудоемкость), клепаным соединениям отдают предпочтение вследствие относительно простого контроля качества соединения, достаточной надежности и простоты технологического процесса.

Усиление производится в тех случаях, когда какой-либо элемент конструкции заменять нецелесообразно ни из соображений сохранения прочности, ни из экономических соображений. Например,

многометровый лист обшивки фюзеляжа или крыла заменять не только нецелесообразно, но подчас и невозможно, поскольку он имеет сложную пространственную форму. Кроме того, замена может вызвать необходимость применения самолетостроительной оснастки (стапелей, шаблонов), что осуществить при ремонте невозможно. Усиливаются, как правило, элементы конструкций каркаса. Однако может встретиться необходимость усиления и других деталей: труб, подкосов или раскосов и т. п.

В некоторых случаях усиление выполняется профилактически для предотвращения появления дефектов, ранее выявлявшихся в процессе эксплуатации, при ремонте или опережающих испытаниях. Документация на такие усиления разрабатывается конструкторскими организациями и оформляется в виде бюллетеней.

Оформление технической документации. Этот этап является важнейшим на стадии завершения дефектации. Все дефекты, обнаруженные дефектовщиком, заносятся в специальную карту, образец которой представлен ниже. Процесс устранения дефектов, что составляет значительную часть ремонта, состоит из выполнения обозначенных в карте работ.

Форма I

Карта дефектации и ремонта

Зона дефектации	Обнаруженный дефект	Метод устранения	Подпись об устранении

Подпись: дефектовщик _____
 мастер _____
 контрольный мастер _____

Зона дефектации определяется маршрутной технологической картой. Например, для каркаса: нижняя обшивка крыла между 5—9-й нервюрами и 1—2-м лонжеронами, лонжерон от 5-й до 15-й нервюры. Для отдельных деталей в разделе «Зона дефектации» может быть указано: корпус, втулка, вал и т. п.

В графе «Обнаруженный дефект» дается его количественная характеристика. Например, указывается длина трещины, глубина и площадь вмятины, глубина коррозионного повреждения и т. п. В отдельных случаях размер дефекта не указывается. Если, например, на болте трещина не допускается, то дефектовщик просто указывает наличие такого дефекта.

В графе «Метод устранения» указывается определенный дефектовщиком метод ремонта. Например, «заменить», «зачистить», «развернуть отверстие», «возобновить покрытие — кадмировать», «заварить трещину АрДЭС», «выпрямить вмятину» и т. п.

Записи дефектовщика должны быть четкими, с точными указаниями ремонтных размеров крепежных деталей, накладок и их ха-

рактеристик. В некоторых случаях указывается номер чертежа, по которому выполняются ремонтные работы. Например: «установить накладку из Д16АТ л. 1,5 заклепками ЗУЗ 5×15 с шагом 20 мм» или «установить ремонтную втулку по чертежу № ...».

В случае применения методов неразрушающего контроля, в графе «Обнаруженный дефект» указывается этот метод и результаты контроля.

Карта дефектации имеет юридическую силу. Исполнение работ по карте дефектации является обязательным, изменения могут быть внесены только специальным документом. Отмена подписи дефектовщика — событие чрезвычайное и применяется в исключительных случаях.

3.3. ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Отметим особенности дефектоскопии деталей авиационных конструкций:

разнообразии материалов контролируемых деталей как по своей природе, так и по свойствам;

сложности контролируемых деталей по форме и разнообразию по массе;

необходимости контроля многослойных конструкций;

во многих случаях недостаточно технологичные доступы, что может вызвать дополнительные демонтирно-монтажные работы; необходимости подвергать контролю детали, установленные в конструкции, покрытые защитными пленками, имеющими загрязненную поверхность;

необходимости обнаруживать дефекты, возникающие в процессе эксплуатации по различным причинам — производственным, конструктивным и др.

Дефектоскопия, т. е. поиск дефектов с помощью неразрушающих методов контроля, позволяет обеспечивать заданный уровень надежности, добиваться увеличения долговечности с высокой эффективностью и производительностью. Средства неразрушающего контроля в соответствии с ГОСТ 23049—84 предназначены для выявления дефектов типа несплошности материала, контроля геометрических параметров изделий, оценки физико-химических свойств материала изделий. С помощью дефектоскопов получают информацию в виде электрических, световых, звуковых и других сигналов о качестве контролируемых объектов.

При ремонте в соответствии с ГОСТ 16504—81 применяют пять видов контроля: операционный, сплошной, выборочный, входной и приемочный.

Операционный контроль — контроль изделий в процессе выполнения или после завершения производственной операции (например, шлифовки, закалки, склеивания, монтажа узла). При этом контроль может быть *сплошным* или *выборочным*, т. е. проверяется либо каждое изделие, либо пробное из партии. При ремонте авиа-

ционной техники обычно применяется сплошной контроль. *Примочный контроль* — контроль готовой продукции. *Входной контроль* — контроль сырья, полуфабрикатов или изделий другого производства, а также соседних участков. При всех видах контроля широко применяется дефектоскопия.

В настоящее время при ремонте получили широкое распространение следующие основные методы неразрушающего контроля: визуально-оптический контроль, капиллярная дефектоскопия, магнитные методы контроля, контроль методом вихревых токов, акустические методы контроля, контроль изделий просвечиванием, методы течискания и другие.

3.4. ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Чувствительность метода. Возможности глаза человека не всегда позволяют получить достоверную информацию о состоянии детали, подвергшейся дефектации. Удаленность объекта контроля, недостаточная освещенность, ограниченная контрастная чувствительность и малая разрешающая способность (разрешающая способность определяется наименьшим расстоянием между двумя соседними минимальными выявленными дефектами, для которых возможна их раздельная регистрация) зрения человека позволяют применять визуальный контроль только для обнаружения больших видимых деформаций, трещин с большой шириной раскрытия и т. п.

Оптические приборы позволяют намного расширить пределы естественных возможностей глаза. Вследствие преломления лучей в оптической системе приборов увеличивается угловой размер рассматриваемого объекта. Острота зрения и разрешающая способность глаза увеличиваются примерно во столько раз, во сколько увеличивает изображение оптическое устройство. Это позволяет видеть мелкие объекты, размеры которых находятся за пределами границы видимости невооруженного глаза.

Визуальный контроль с применением оптических приборов называют *визуально-оптическим*. Он используется для обнаружения различных поверхностных дефектов, осмотра закрытых конструкций, труднодоступных мест самолетов и вертолетов. Контроль проводится путем наблюдения деталей в видимом свете. Оптические средства контроля используют на различных стадиях ремонта и эксплуатации авиационной техники. Основные преимущества этого метода — простота контроля, несложное оборудование, сравнительно малая трудоемкость. Однако визуально-оптический контроль имеет недостаточно высокую достоверность и чувствительность. Поэтому такой контроль применяют для поиска поверхностных дефектов, доступных для непосредственного осмотра, для анализа характера повреждений, обнаруженных другими методами дефектоскопии, для осмотра закрытых конструкций с целью обнаружения загрязнений, наличия посторонних предметов. Следует учитывать, что даже дефекты относительно больших размеров могут быть не об-

наружены с помощью оптических приборов из-за малого контраста с фоном.

Применяемые приборы. По виду регистрации изображения различают три группы оптических приборов: визуальные, детекторные и комбинированные. У *визуальных приборов* приемником является глаз (лупы, микроскопы, эндоскопы, приборы измерения линейных и угловых размеров и др.). Приемниками у *детекторных приборов* могут служить фотоэмульсии, люминесцирующие вещества, электронные приборы и т. п. *Комбинированные приборы* пригодны для обзора визуального и с помощью детектора.

Для осмотра участков конструкции, не доступных прямому наблюдению (например, внутренней полости камер сгорания, участков, закрытых близлежащим элементом — нервюрой, балкой и т. п.), применяют технические эндоскопы, бороскопы, перископические дефектоскопы. В этих устройствах лучи света изменяют свое первоначальное направление. Для осмотра внутренней поверхности относительно коротких полых деталей и закрытых конструкций применяют жесткие эндоскопы специального назначения: *цитоскопы* (для осмотра полостей диаметром более 8 мм, глубиной до 200 мм), *техноэндоскопы* (осмотр полостей глубиной более 500 мм), *перископические дефектоскопы* прямые и коленчатые.

К окуляру оптических приборов может быть присоединен фотоаппарат для регистрации изображения, что дает возможность последующего сравнительного анализа. Некоторые приборы снабжаются дополнительным устройством для проецирования изображения дефектируемой поверхности на фотокатод телевизионной трубки, что позволяет наблюдать изображение на экране телевизионной установки.

Возможности технических эндоскопов значительно расширены благодаря применению волоконно-оптических элементов. *Волоконные световоды* — набор тонких стеклянных светопроводящих нитей диаметром 10—20 мкм, собранных в жгут. Каждый элементарный светопровод покрыт снаружи тонким слоем (1—2 мкм) стекла с более низким показателем преломления. На границе световод — оболочка происходит полное внутреннее отражение света, входящего в основную нить, что обеспечивает его прохождение по световоду с минимальным ослаблением (рис. 3.2).

Для работы в ультрафиолетовой области используют кварцевые световоды. Для уменьшения потерь света из-за его выхода через боковую поверхность некоторые типы волокон покрывают металлической оболочкой из свинца, алюминия или индия. Из оптических волокон составляют жгуты, на торцах которых волокна скрепляют методом горячего прессования или склеивают. Торцы жгутов полируют. Жгуты для передачи изображения представляют собой совокупность волокон с регулярным распо-



Рис. 3.2. Схема прохождения светового луча по световоду

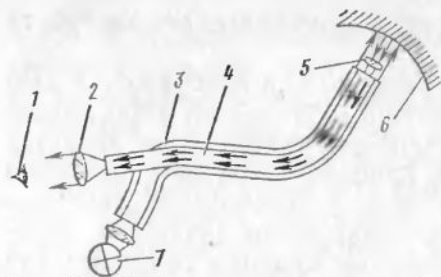


Рис. 3.3. Принципиальная схема гибкого эндоскопа

ложением светопроводящих жил. Каждое волокно несет один элемент изображения, так что общее изображение на выходном торце получается мозаичным. В осветительных жгутах, предназначенных для передачи света, оптические волокна расположены беспорядочно. Волоконные световоды позволяют передавать изображение без искажения при их изгибе по любому криволинейному профилю.

В *гибком эндоскопе* (рис. 3.3) монтируется жгут волокон для передачи изображения и жгут волокон для освещения осматриваемого места. Здесь по кольцевому осветительному световоду 3 проходят лучи света от источника 7 к осматриваемому объекту 6. Изображение передается через линзу 5 к световоду 4 и окуляру 2, а затем наблюдателю 1. В эндоскопе может быть смонтировано устройство для дистанционного управления изгибом жгута, что очень удобно для осмотра внутренних полостей различных конструкций, баллонов, камер сгорания реактивных двигателей и других закрытых полостей, имеющих смотровое отверстие.

Существуют особо тонкие гибкие световоды диаметром 3 мм с полезной длиной от 830 до 1300 мм. С их помощью можно осматривать внутренние полости тонких каналов и трубопроводов.

На современных предприятиях при большом числе диагностируемых деталей (например, лопаток турбин) могут применяться *оптико-электронные системы*, в которых глаз заменяется фотоэлементом. В таких устройствах изображение через канал информации передается в электронную логическую схему анализа и отбраковки либо по установленным граничным условиям (размеры трещины, поры и т. п.), либо по принципу «да — нет» (есть дефект — нет дефекта).

Возможности дефектоскопии с помощью эндоскопов существенно расширяются при использовании *голографического метода регистрации оптических сигналов* (рис. 3.4). Луч, посылаемый лазером 1, разделяется светоделительным зеркалом 2. Одна часть попадает через зеркало 3 на фотопластину 4, а вторая часть луча через световод 7 направляется на диагностируемую поверхность 6 и, отражаясь от нее, через световод 5 также попадает на фотопластинку, на которой получается голограмма.

Для осмотра поверхностей, расположенных на расстоянии не более 250 мм от глаз наблюдателя, используют *лупы* и различного типа *микроскопы*. Они позволяют обнаруживать трещины, эрозийные, коррозионные поверхностные повреждения, забоины, царапины, поры, выкрашивания материала, а также дефекты лакокрасочных и гальванических покрытий.

Лупы и микроскопы позволяют обнаруживать более мелкие трещины, непровары, волосовины и другие дефекты, чем обнаруживаемые при капиллярном и магнитопорошковом контроле. Широкое применение находят обзорные складные лупы с увеличением 1,25—2 \times , 2,5—7 \times , 7—20 \times . Удобны для применения налобные бинокулярные лупы (для осмотра двумя глазами). Некоторые виды их имеют осветительное устройство (например, БЛ-2).

При ремонте в лабораторных условиях применяются стереоскопические бинокулярные микроскопы МБС-1, МБС-2, МБС-3. Они позволяют увеличивать изображение до 100 \times . Промышленность выпускает стереомикроскопы с объективами переменного фокусного расстояния. Они имеют встроенный объектив, на который устанавливаются дополнительные линзы. Такие микроскопы позволяют увеличивать изображение до 240 \times .

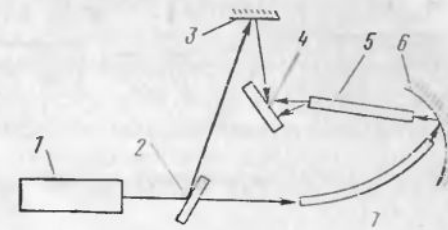


Рис. 3.4. Схема получения голограммы с использованием гибких световодов

3.5. КАПИЛЛЯРНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Сущность методов. Обнаружение невидимых при визуальном осмотре повреждений (трещин, пор и т. п.) с помощью методов капиллярной дефектоскопии основано на использовании капиллярных свойств жидкостей. При этом способе могут быть выявлены дефекты, открытые с поверхности.

Суть метода состоит в том, что на подготовленную (очищенную от грязи, отложений) поверхность наносят смачивающую (проникающую, индикаторную) жидкость. Под действием капиллярных сил жидкость проникает в глубь полости дефекта (трещину, пору). В жидкости могут находиться взвешенные частицы специального окрашенного или люминесцирующего порошка.

На рис. 3.5 показан принцип метода капиллярной дефектоскопии. В материал диагностируемой детали 1, имеющей поверхностную трещину, проникла индикаторная жидкость 2 (рис. 3.5, а). Остатки жидкости удалены (рис. 3.5, б). На поверхность нанесен проявитель 3. Проявитель обладает тем свойством, что вытягивает на поверхность часть жидкости из полости дефекта (наподобие промокательной бумаги), что показано на рис. 3.5, в. На фоне проявителя выявляется индикаторный рисунок 4. Такие рисунки имеют либо контрастную окраску, либо люминесцируют в ультрафиолетовых лучах. Ширина линий индикаторного рисунка больше, чем ширина контролируемого дефекта, что позволяет контрастно выявить его форму и протяженность.

Применяемые методы. Простейший метод капиллярной дефектоскопии — *метод топливной пробы*. При выявлении капиллярных



Рис. 3.5. Схема капиллярной дефектоскопии

течей топлива, например по заклепочным соединениям крыла-кессона, поверхность последнего покрывают меловой суспензией, являющейся проявителем. После высыхания на белой поверхности мелового слоя прояв-

ляются в виде пятен места, где по заклепкам имеется течь топлива.

Наиболее распространен при ремонте *метод цветной капиллярной дефектоскопии*. При этом методе применяют проникающие жидкости, которые после нанесения проявителя образуют красный индикаторный рисунок. Красный цвет способствует хорошей видимости рисунка за счет высокого цветового контраста.

Широко применяется при ремонте *метод люминесцентной дефектоскопии*. Он основан на способности проникающей жидкости люминесцировать под воздействием ультрафиолетовых лучей. Наибольшую контрастность имеют белый, красный и оранжевые цвета люминесценции. Светящийся в темноте индикаторный рисунок дает точное представление о характере дефекта. Если при этом индикаторные рисунки будут не только люминесцировать в ультрафиолетовых лучах, но и давать контрастно-красочное изображение, дефектация станет более надежной. Обнаруженные повреждения в этом случае можно будет наблюдать не только в ультрафиолетовых, но и в видимых лучах. Такой метод носит название *люминесцентно-цветного*.

Наблюдать повреждение невооруженным глазом легко при дефектации *методом фильтрующихся частиц*. Суть его состоит в том, что в проникающей жидкости содержатся окрашенные или люминесцирующие взвешенные частицы.

Перечисленные выше методы капиллярной дефектоскопии являются основными. В каждом методе могут быть варианты в зависимости от типа применяемых материалов. Кроме того, могут быть *комбинированные методы*, например *капиллярно-магнитопорошковый*.

Индикаторные рисунки, получаемые при капиллярной дефектоскопии, регистрируют различными устройствами — оптическими, электронно-оптическими, телевизионными. На основе таких систем может быть построена автоматизация контроля.

Капиллярная дефектоскопия имеет высокую чувствительность, с ее помощью обнаруживают трещины с шириной раскрытия у поверхности более 0,001 мм, глубиной более 0,001 мм, длиной более 0,1 мм. Благодаря наглядности, методы капиллярной дефектоскопии применяют для подтверждения достоверности дефекта, обнаруженного другими методами неразрушающего контроля.

Применяемые материалы. В качестве дефектоскопических материалов применяют специальные проникающие жидкости и проявители. Широко используют проникающую жидкость «К», другие жид-

кости, состоящие из смеси различных веществ. Приведем, например, один из рецептов проникающей жидкости: керосин — 800 мл, ацетон — 100 мл, бензин — 100 мл, темно-красный краситель 50—30 г. В качестве проявителя применяют краску «М» и др. Например, для проникающей жидкости, составленной по описанному выше рецепту, применяют в качестве проявителя краску «В» следующего состава: коллодий медицинский — 700 мл, бензол — 200 мл, ацетон — 100 мл, цинковые белила — 50 г.

Все дефектоскопические материалы должны храниться определенный срок в закрытых, сухих помещениях, безопасных в пожарном отношении. Ввиду разнородности входящих в состав жидкостей и красок веществ перед употреблением их тщательно перемешивают.

Чтобы избежать ошибок при техническом диагностировании вследствие потери свойств применяемых материалов, перед началом дефектации или при поступлении новой партии материалов проводят испытания на специальных контрольных образцах. На каждом таком образце имеются заранее известные дефекты. При нанесении вновь поступивших дефектоскопических материалов на поверхность контрольного образца дефекты должны точно проявиться.

Подготовка поверхности. Эффективность капиллярной дефектоскопии во многом зависит от качества подготовки поверхности. Поскольку таким способом дефектации обнаруживают дефект, выходящий на поверхность, любые загрязнения могут явиться препятствием для проникающих жидкостей. Перекрыть дефект могут не только загрязнения, но и всевозможные покрытия, особенно лакокрасочные. Это вызывает необходимость смыть лакокрасочное покрытие, удалить и нейтрализовать действие смывок, просушить диагностируемую поверхность. При наличии загрязнений их также удаляют одним из существующих способов в зависимости от природы загрязнения. Важно иметь в виду, что маслянистые загрязнения не только являются механическим препятствием для проникающих жидкостей, но и ухудшают смачиваемость полости дефекта, снижая эффективность проникновения капиллярных жидкостей. После чистовой промывки проводится сушка для удаления летучих веществ, применявшихся при промывке (растворителей, бензина).

Нанесение проникающих жидкостей. На диагностируемую поверхность проникающие жидкости наносят одним из следующих способов: капиллярным, вакуумным, компрессионным, ультразвуковым и деформационным. При ремонте наиболее часто применяются первые два способа. При капиллярном способе проникающая жидкость наносится смазыванием кистью, погружением в ванну, струйным обливанием, распылением. При вакуумном способе (рис. 3.6) увеличивается интенсивность заполнения полости дефекта проникающей жидкостью. При этом способе детали с предварительно нанесенной пленкой проникающей жидкости (а) помещают в камеру, из которой откачивается воздух (б). Уходя из полости дефекта, воздух разрывает пленку. После этого камеру разгерметизируют и под действием атмосферного давления полость интен-

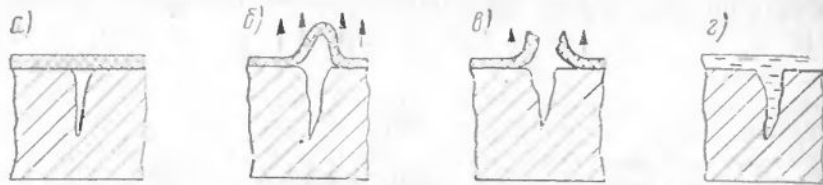


Рис. 3.6. Схема вакуумного заполнения дефекта проникающей жидкостью

сивно заполняется проникающей жидкостью, поскольку из нее был удален воздух (г).

Остальные способы также направлены на интенсификацию заполнения полости дефекта проникающей жидкостью, но при ремонте применяются редко.

Удаление проникающих жидкостей. Проникающая жидкость с поверхности может быть удалена протиркой, промывкой, обдувкой. Могут применяться комбинации этих способов. При промывке применяют очищающие жидкости, состав которых определяется эффективностью очистки для конкретной проникающей жидкости. Например, для описанной выше проникающей жидкости применяется очищающая жидкость следующего состава (в об. %): масло трансформаторное или МК-8 — 70, керосин или топливо Т-1 (ТС-1) — 30. Обдувку применяют для удаления невысыхающих или малолетучих жидкостей. При удалении проникающих жидкостей следует всегда учитывать возможность проникновения в полость дефекта промывочных средств. Например, применение легколетучих растворителей (ацетона, бензина) может вызвать удаление проникающих жидкостей, что резко снижает чувствительность контроля.

Нанесение проявителя. Нанесение проявителя при ремонте чаще всего выполняется одним из следующих способов: смазыванием кистью, распылением, погружением и обливанием. Нанесение кистью — наиболее распространенный способ, обеспечивающий минимальный расход материалов. Распыление чаще производят с помощью сжатого воздуха, однако при этом способе значительно увеличивается расход материалов. Погружение и обливание — высокопроизводительные способы, однако они обладают рядом существенных недостатков: проявитель ложится по толщине неравномерно, появляются подтеки, что снижает чувствительность. Для проявления индикаторного рисунка после нанесения проявителя диагностируемые участки выдерживают при температуре окружающей среды. Время выдержки колеблется от 1 до 30 мин.

Анализ индикаторного рисунка. По величине и форме индикаторного рисунка судят о характере обнаруженного дефекта. На рис. 3.7 схематически показаны индикаторные следы дефектов, обнаруженных при люминесцентном контроле: трещины с большой глубиной раскрытия (а); трещины с малой глубиной раскрытия (б); частичного непровара (в); пористости или раковины (г). Осмотр индикаторного рисунка производится либо невооруженным глазом, либо с помощью луп. При анализе индикаторного рисунка следует

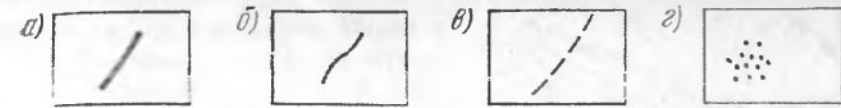


Рис. 3.7. Вид индикаторных рисунков при капиллярной дефектоскопии

учесть, что могут появиться индикаторные следы, вызванные шероховатостью поверхности, рисками, забоями, остатками проникающей жидкости.

Удаление дефектоскопических материалов производят протиркой, промывкой. При протирке применяется ветошь либо сухая, либо смоченная водой или органическими растворителями. Промывка может осуществляться водой или органическими растворителями.

Рабочее место и оборудование. Участок капиллярной дефектоскопии оснащается оборудованием для нанесения проникающих жидкостей и удаления дефектоскопических материалов (например, ваннами, распылителями), стеллажами для выдержки, устройствами для сушки, источниками ультрафиолетовых лучей и соответствующим инструментом. Участки снабжаются также транспортными средствами и грузоподъемными механизмами для облегчения труда дефектовщиков. На участке могут находиться переносные дефектоскопы для контроля методами цветной капиллярной дефектоскопии (например, У-ДМК-57), стационарные люминесцентные дефектоскопы (например, ЛДА-3) и установки (например, КД-21А).

Поскольку в состав дефектоскопических материалов входят легколетучие вещества, оказывающие вредное влияние на организм человека при их вдыхании, участки оборудуются вентиляцией, кондиционерами по санитарно-гигиеническим нормам. При этом учитывается также пожаро- и взрывоопасность многих компонентов дефектоскопических материалов. Особенно опасны в этом отношении способы распыления. Распыление должно выполняться в камерах с отсосом с тем, чтобы человек находился в струе чистого воздуха. Для предотвращения непосредственного контакта кожи рук с вредными веществами применяют специальные пасты, мази. Для защиты от ультрафиолетовых лучей дефектовщик должен пользоваться очками со специальными стеклами (например, ЖС-4).

3.6. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Сущность методов. С помощью магнитных методов контроля решают следующие диагностические задачи: проверку сплошности материала детали, проверку качества термообработки, исследование структуры материала. Магнитная дефектация используется при контроле качества деталей из сталей и других ферромагнитных материалов. Методы магнитной дефектоскопии основаны на обнаружении и регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих

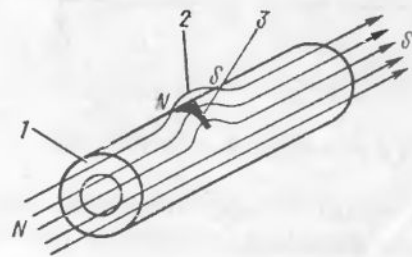


Рис. 3.8. Образование поля рассеяния при намагничивании

В намагниченном изделии над дефектами. Рассмотрим физическую карту этого явления. Известно, что если через проводник пропустить ток, то в пространстве вокруг него возникает магнитное поле, направление которого определяется по правилу буравчика. Магнитное поле возникает также между полюсами электромагнита и в пространстве, окружающем соленоид. Если испытуемую деталь из ферромагнитного сплава поместить в магнитное поле, то в ней возникают магнитные силовые линии. При отсутствии дефектов магнитные линии не искажаются. При наличии несплошности, находящейся на пути магнитного потока, часть магнитных линий выходит из детали и затем снова входит в нее. В местах выхода и входа магнитных линий возникают местные полюсы N и S , между которыми помещается магнитное поле рассеяния, расположенное над дефектом. После снятия намагничивающего поля местные полюсы и поле рассеяния остаются вследствие наличия остаточной индукции.

В намагниченной детали 1 (рис. 3.8) магнитные силовые линии направлены от полюса N к полюсу S . Вокруг трещины 3 образуется поле рассеяния 2. Это поле может быть обнаружено и зарегистрировано. После удаления детали из магнитного поля и регистрации дефекта такую деталь необходимо размагнитить. Остаточная намагниченность влияет на показания приборов, вызывает притяжение посторонних частиц, что способствует интенсификации процессов изнашивания.

Наиболее широко используются следующие методы обнаружения и регистрации полей рассеяния: магнитопорошковый, магнитографический и феррозондовый. При ремонте феррозондовый метод распространения не получил.

Магнитопорошковый контроль. С помощью этого метода в деталях обнаруживают трещины любых видов, неметаллические и шлаковые включения, непровары, пористость, расслоения и т. п. Чувствительность метода высока, позволяет обнаружить трещины с шириной раскрытия более 0,001 мм и глубиной более 0,01 мм.

При магнитопорошковом методе на диагностируемые участки детали наносят ферромагнитные частицы либо мокрым методом, либо сухим. В первом случае частицы находятся во взвешенном состоянии в воде, керосине или минеральном масле. Во втором случае частицы взвешены в воздухе. При попадании на намагниченную деталь над дефектом вследствие неоднородности магнитного поля, наличия местных магнитных полюсов намагниченные частички притягиваются к месту наибольшей концентрации магнитных линий. Ширина валика скопившихся частиц больше фактической ширины

дефекта, что позволяет рельефно выявить форму и протяженность дефекта.

Магнитопорошковый контроль осуществляется в такой последовательности: подготовка детали — намагничивание — нанесение ферромагнитного порошка — расшифровка результатов контроля — размагничивание. При подготовке деталей очищают поверхности, которые будут контактировать с намагничивающими приспособлениями, удаляют загрязнения. Лакокрасочные покрытия толщиной более 30 мкм значительно снижают чувствительность магнитопорошкового контроля, поэтому их необходимо смыть.

При контроле в процессе ремонта наиболее широко используют следующие виды намагничивания деталей: циркулярное, полюсное (продольное). *Циркулярное намагничивание* (рис. 3.9) состоит в том, что магнитные линии по концентрическим окружностям, расположенным в плоскости, перпендикулярной направлению тока, при намагничивании проводников 1, распространяются в теле контролируемой детали. На рис. 3.9 видны магнитные линии 3, проходящие по детали 4 и образующие поле рассеяния вокруг трещины 2.

При *полюсном намагничивании* детали образуются полюсы. В этом случае магнитные линии проходят частично по детали, а частично вне ее. На рис. 3.10 показано, что на концах намагничиваемой с помощью соленоида 3 детали 1 образуются полюсы N и S , а магнитные линии часть пути проходят внутри детали, а часть — по окружающему пространству. Над дефектом 2 образовалось поле рассеяния. Контролируемые детали могут намагничиваться с помощью не только индуктивного возбуждения магнитного поля, но и непосредственного контакта магнитных полюсов электромагнита или постоянного магнита с контролируемой деталью.

При том и другом способах намагничивания контроль может осуществляться в приложенном магнитном поле и по остаточной намагниченности. В первом случае намагничивание, нанесение суспензии и контроль осуществляют одновременно. Во втором случае все операции выполняются раздельно. При намагничивании необходимо учесть, что наилучшее выявление дефекта будет в том случае, когда магнитные линии располагаются перпендикулярно на-

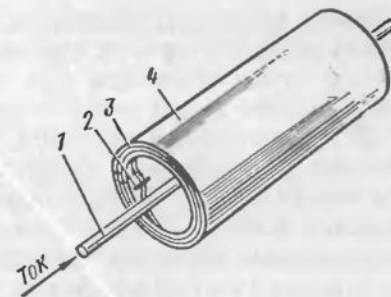


Рис. 3.9. Циркулярное намагничивание

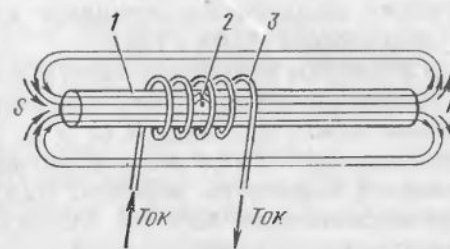


Рис. 3.10. Полюсное намагничивание

правлению предполагаемого дефекта. В сомнительных случаях проводят намагничивание в разных направлениях.

После намагничивания или одновременно с ним (при контроле в приложенном поле) наносят на поверхность контролируемой детали ферромагнитный порошок. В качестве порошков применяют различные измельченные частицы, имеющие черный, буровато-красный и белый цвета. Черные порошки изготавливают из измельченной закиси железа ($\gamma = \text{Fe}_3\text{O}_4$) с размером частиц не более 30 мкм. Буровато-красные порошки изготавливают из размельченной гамма-оксида железа ($\gamma = \text{Fe}_2\text{O}_3$). Белые порошки представляют собой смесь из алюминиевой пудры (ПАК-3) и никелевого или железного порошка (марки А). В некоторых случаях применяются магнито-люминесцентные порошки. Добавка в порошки люминофора в смеси с другими веществами позволяет наблюдать индикаторный рисунок в ультрафиолетовых лучах.

Суспензии могут составляться на основе керосина, масла МК-8, трансформаторного масла или воды. Концентрация порошка в суспензии может колебаться от 5 до 25 г/дм³. Концентрацию подбирают в зависимости от вида намагничивания, формы контролируемой детали и характера дефекта. Например, при контроле галтельного перехода головки болта к цилиндрической части достаточно обеспечить концентрацию порошка в суспензии 10—15 г/дм³. При контроле ответственных деталей двигателя концентрация порошка должна быть в пределах 20—25 г/дм³. Суспензия может быть нанесена с помощью обливания (из шланга или резиновых груш, бачков) или погружения в ванну. Сухой порошок наносят распылением его в специальных установках. При ремонте наибольшее распространение получили суспензии.

Расшифровка результатов контроля производится после отложения порошка на поверхности контролируемой детали. Например, над усталостными трещинами порошок накапливается в виде тонких четких линий, неметаллические включения выявляются в виде точечных скоплений или цепочек. При расшифровке индикаторного рисунка следует учесть, что могут появиться мнимые дефекты. Скопление ферромагнитного порошка может происходить не только над дефектом, но и над рисками, по границам резких структурных изменений. В этих случаях для проверки достоверности наличия трещины удаляют порошок, осматривают повреждение с помощью лупы и проводят повторное намагничивание. В отдельных случаях применяют другие виды неразрушающего контроля.

Задача размагничивания заключается в том, чтобы свести к нулю остаточную индукцию. Для этого используют постепенно уменьшающееся переменное поле. Такое поле создается специальным соленоидом. Размагничивание обычно проводится удалением детали из такого соленоида. В процессе удаления деталь размагничивается.

Участки для магнитопорошкового контроля оборудуют специальными магнитными дефектоскопами двух типов: универсальными стационарными и передвижными или переносными. Эти дефектоско-

пы снабжены устройствами для намагничивания (соленоидами, кабелями, стержнями) и размагничивания, ваннами или емкостями для суспензий. Переносные дефектоскопы применяются для контроля деталей, находящихся непосредственно в конструкции.

Все более широкое применение находят автоматические и полуавтоматические установки для магнитопорошкового контроля. При этом автоматизируется подача деталей на контроль, намагничивание в дефектируемом месте, подача суспензии. Наблюдает и расшифровывает индикаторный рисунок дефектовщик.

Магнитографический метод. Этот метод, как и магнитопорошковый, основан на использовании поля рассеяния. Отличие этого метода состоит в том, что индикация полей рассеяния производится с помощью магнитной ленты, которая намагничивается совместно с диагностируемой деталью. На рис. 3.11 магнитные линии, создаваемые электромагнитом 3, проходят вдоль детали 2 и создают поле рассеяния над трещиной 1. Сверху установлена магнитная лента 4. Магнитное поле рассеяния создает местное подмагничивание, которое фиксируется на магнитной ленте в виде остаточной намагниченности, соответствующей месту расположения дефекта. Воспроизведение осуществляется перемещением либо ленты относительно магнитной приемной головки, либо головки относительно ленты. В том и другом случае в головке возбуждается ЭДС от остаточной намагниченности, преобразующейся в сигнал на экране осциллографа. Промышленность выпускает магнитографические дефектоскопы, применяющиеся в основном для контроля сварных швов.

Применяемые устройства и приборы. На использовании магнитных свойств материалов работают различные устройства неразрушающего контроля:

магнитные толщинометры, основанные на измерении силы отрыва или притяжения постоянных магнитов или электромагнитов относительно диагностируемой детали (пондеромоторный метод);

устройства и приборы для контроля структуры, основанные на использовании зависимости между магнитными и физико-химическими свойствами материалов;

приборы для контроля механических свойств материалов, в которых используются те же зависимости.

Во всех этих случаях используется зависимость между пределом прочности, удлинением, твердостью и другими механическими и структурными характеристиками металлов и магнитными характеристиками (коэрцитивной силой, индукцией, магнитной проницаемостью).

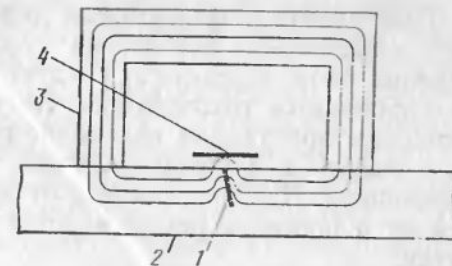


Рис. 3.11. Схема магнитографического метода

При работе с магнитными дефектоскопами необходимо учитывать возможность поражения электротоком. Поэтому все приборы должны быть заземлены, следует исключить прикосновение к неизолированным токоведущим частям. При намагничивании мелких деталей в приставном соленоиде рекомендуется вначале поместить их в соленоид, а потом включить ток, так как деталь может быть выброшена. Для защиты рук от вредного воздействия на них суспензии и порошка рекомендуется применять биологические перчатки.

3.7. КОНТРОЛЬ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

Сущность метода. Особенность метода вихревых токов состоит в том, что он позволяет контролировать слои металла небольшой толщины. Метод имеет ряд преимуществ перед другими видами неразрушающего контроля: дает возможность проверять большое число параметров (обнаружение несплошностей, контроль и измерение физико-механических свойств и марок материалов, измерение размеров деталей и покрытий), обладает незначительной трудоемкостью контроля, дает возможность осуществить дистанционное управление контролем.

Метод основан на использовании вихревых токов, возникающих в металле детали при воздействии на нее переменного магнитного поля (рис. 3.12). По обмотке катушки датчика 1 протекает переменный ток. Вокруг катушки возникает переменное магнитное поле 2. В детали 3 возбуждаются индуктированные вихревые токи 4, которые текут по кольцевым концентричным окружностям, при этом диаметр их соответствует диаметру катушки (штриховые линии). Вихревые токи текут в поверхностных слоях металла, создавая свое собственное магнитное поле. Его характеристики могут быть определены на образце без дефекта из аналогичного материала. Если теперь датчик поместить над дефектом (например, трещиной), то форма вихревых токов, протекающих в контролируемой детали, изменится. На рис. 3.13 изображено изменение движения вихревых токов при наличии трещины 3 в детали 2. Здесь магнитные линии, возникающие от прохождения переменного тока в катушке 1, условно

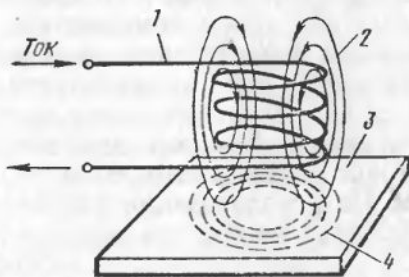


Рис. 3.12. Возникновение вихревых токов

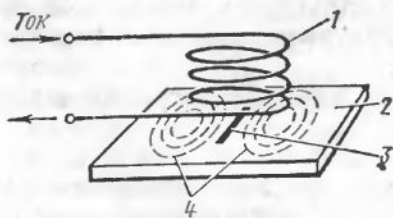


Рис. 3.13. Изменение вихревых токов у трещины

не показаны. Вместо одного вихревого поля при наличии трещины возникают два поля 4. Создаваемое разделенное вихревыми токами собственное магнитное поле будет иметь другие характеристики, чем при прохождении датчика над неповрежденным участком металлической детали. Таким образом, при прохождении датчика прибора над дефектом можно получить соответствующий сигнал.

Сигнал возникает в связи с тем, что при изменении магнитного поля, создаваемого вихревыми токами, в катушке наводится ЭДС или изменяется ее полное сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или ее сопротивление, получают информацию о состоянии контролируемой поверхности. Снятый с катушек-датчиков сигнал усиливается и в электросхемах преобразуется в сигналы, регистрируемые микроамперметрами, самописцами, звуковыми сигнализаторами или передаваемые на экран электронно-лучевой трубки. Аналогичная ситуация возникнет, если деталь будет помещена внутри катушки.

В некоторых видах катушек существует вторичная, измерительная обмотка. Конструкция катушек существенно влияет на качество контроля и зависит от формы деталей и вида измерений.

Контроль вихревыми токами определяется следующими основными факторами:

свойствами контролируемой детали (размерами, электропроводностью, магнитной проницаемостью, наличием дефектов);

характеристиками прибора (частотой переменного тока, размерами и формой преобразователя, его расстоянием от контролируемой детали).

Магнитные характеристики металла определяются его атомной структурой. Атомная структура связана с прочностью, твердостью, химическим составом и другими свойствами сплавов. Изменение этих свойств сопровождается изменением электросопротивления металла. Например, присутствие $\sim 0,01$ Si увеличивает электросопротивление на 3%, изменение твердости на несколько единиц по шкале Роквелла — на 5—10%.

Проникая в испытуемое изделие, электромагнитная энергия частично поглощается и теряется в материале, а частично отражается и возвращается в преобразователь. Глубина проникновения электромагнитных полей и вихревых токов в металле зависит от их частоты. При повышении частоты глубина проникновения понижается, что и определяет чувствительность контроля методом вихревых токов. Например, при уменьшении частоты с 1,5 до 0,0015 МГц глубина проникновения увеличивается примерно в 100 раз. Вихревые токи концентрируются в поверхностном слое контролируемого проводящего слоя (явление поверхностного эффекта).

Применяемые преобразователи и приборы. В приборах контроля методом вихревых токов, применяемых при ремонте, наибольшее распространение получили преобразователи, представляющие собой катушку индуктивности, намотанную на ферритовый сердечник. При дефектоскопии торцевая часть сердечника устанавливается на контролируемую поверхность. Максимальная чувствительность при

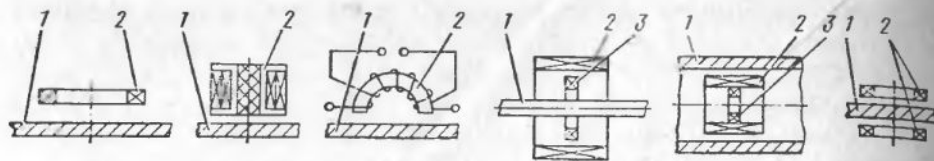


Рис. 3.14. Виды преобразователей

этом достигается, если сердечник установлен перпендикулярно контролируемой поверхности.

Средний диаметр траектории вихревых токов (пятно вихревых токов) соизмерим с диаметром преобразователя (1,0—1,6 диаметра преобразователя). Существует несколько видов катушек (преобразователей).

По расположению относительно контролируемой поверхности преобразователи делятся на накладные, проходные и комбинированные. Накладные преобразователи выполняют с ферромагнитным сердечником или без него. На рис. 3.14 схематично показано расположение катушек 2 относительно детали 1. В некоторых катушках имеется измерительная обмотка 3. Накладные преобразователи помещаются над деталью, проходные преобразователи либо охватывают деталь, либо помещаются внутри нее.

По виду преобразования выходных параметров преобразователи делят на трансформаторные и параметрические. В трансформаторных преобразователях, имеющих две обмотки (возбуждающую и измерительную), параметры контролируемого объекта преобразуются в напряжение измерительной обмотки. В параметрических преобразователях, имеющих одну обмотку, параметры контролируемого объекта преобразуются в комплексное сопротивление.

В зависимости от способов соединения обмоток преобразователи делятся на абсолютные и дифференциальные. Выходная величина абсолютного преобразователя определяется абсолютным значением параметров контролируемого объекта, а выходная величина дифференциального — приращением этих параметров.

При ремонте большое распространение получили приборы вихретокового контроля для выявления поверхностных дефектов. Вы-

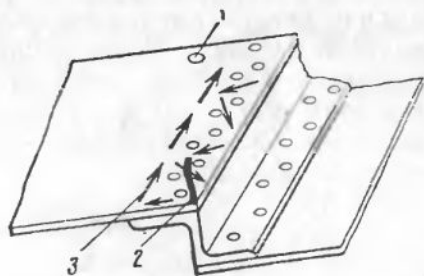


Рис. 3.15. Траектория движения датчика на участке контроля детали планера

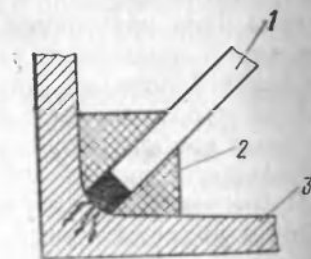


Рис. 3.16. Ориентация датчика с помощью пластмассовой насадки

являются трещины усталости, металлургические, термические, шлифовочные и другие несплошности в деталях из немагнитных и некоторых магнитных материалов и сплавов. Минимальные размеры трещин, выявляемых с помощью вихретокового контроля, следующие: длина 0,5—1 мм, глубина 0,1—0,2 мм, ширина раскрытия у выхода поверхности — 0,5 мкм. При контроле накладным датчиком необходимо выделять краевую зону шириной, равной диаметру датчика: участки вокруг заклепок, отверстий, у галтелей одинакового радиуса. Эти зоны требуют отдельной настройки датчика, отличной от настройки для других участков. В пределах каждой зоны контроля толщина детали, если она близка к глубине проникновения вихревых токов, не должна значительно изменяться.

Наличие неэлектропроводящего покрытия на контролируемой поверхности не препятствует проведению контроля, но вызывает необходимость изменения настройки прибора. Настройка дефектоскопа осуществляется с помощью контрольных образцов. Контрольные образцы позволяют определить пороговую чувствительность датчика, т. е. минимальные размеры искусственно созданных дефектов. Кроме того, создаются контрольные образцы для разработки методики контроля конкретных деталей. Промышленность выпускает датчики самой разнообразной формы, что позволяет обеспечить доступ к различным частям конструкции.

В технологической документации, предусматривающей использование вихретокового контроля, указываются зоны дефектации и описывается траектория движения датчика. Это имеет принципиальное значение, поскольку дефект может быть выявлен только, когда датчик располагается непосредственно над ним. На рис. 3.15 показана траектория движения датчика 3 и место его настройки 1, а также возможное расположение трещины 2.

При необходимости контроля участка детали на определенном месте, в котором может появиться трещина, датчик ориентируют с помощью пластмассовых насадок. Один из видов насадки 2 показан на рис. 3.16, где 3 — контролируемая деталь, 1 — сердечник преобразователя.

Методами вихревых токов обнаруживают не только несплошности, но и структурные изменения металлических изделий. Существуют также приборы для измерения толщины непроводящих покрытий, а также гальванических. Такие приборы носят название: структуроскопы и толщиномеры.

Токовихревые толщиномеры применяют для контроля: тонких лакокрасочных, оксидных покрытий и клеевых пленок на немагнитных металлах; стеклопластиковых, эмалевых и других покрытий на любых металлах; гальванических покрытий на магнитных и немагнитных металлах. Настраивают датчики в этих случаях на непокрытой стороне детали, или на детали до покрытия. Приборами на основе измерения электропроводности можно замерить толщину лакированного слоя на листах из сплавов Д16 и В95. С помощью вихретокового контроля может быть выполнено разделение метал-

лов по маркам. Такой метод сортировки является высокопроизводительным, надежным и получил широкое распространение.

Описанный неразрушающий метод контроля непрерывно развивается и совершенствуется, что приводит к созданию новых надежных высокопроизводительных приборов.

3.8. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Сущность методов. Акустические методы позволяют находить несплошности материала, определять его толщину, контролировать структуру и физико-механические свойства материалов, а также изучать кинетику разрушений.

По способу выявления дефектов акустические методы делятся на теневой, резонансный, эхо-импульсный, велосимметрический, импедансный, свободных колебаний, комбинированный. Эта классификация установлена ГОСТ 18353—79.

Акустические колебания в зависимости от частоты подразделяют на инфразвуковые частотой до 20 Гц, звуковые — от 20 до $2 \cdot 10^4$ Гц, ультразвуковые — от $2 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц и гиперзвуковые — свыше 10^9 Гц. В акустических методах контроля используют звуковой и ультразвуковой диапазоны.

Акустические методы контроля основаны на использовании свойств распространяющихся в различных упругих материалах акустических волн. Акустические волны вызывают в упругой среде колебания ее частичек относительно своих положений равновесия. Упругие колебания распространяются от частицы к частице с определенной скоростью, зависящей от свойств озвучиваемого материала и вида акустических волн.

В зависимости от направления колебаний частиц по отношению к направлению распространения волны различают продольные, поперечные (сдвиговые), поверхностные и нормальные волны. Волна называется продольной, если ее направление совпадает с направлением упругих колебаний частиц. Такие волны возбуждаются в твердых, жидких и газообразных телах. Волна называется сдвиговой, если ее направление перпендикулярно направлению колебаний частиц. Такая волна может распространяться только в твердой среде. В практике контроля часто сталкиваются с третьим типом волн — поверхностными (волнами Релея), распространяющимися в токовом поверхностном слое. При распространении ультразвуковых колебаний в тонком листе, тонкостенной оболочке (трубе, цилиндре) могут возникнуть нормальные волны (волны Лэмба).

Скорости распространения волн определяются их типом, упругими свойствами и плотностью озвучиваемой среды. Например, в стали 45 скорость распространения поперечной волны составляет $3,23 \cdot 10^3$ м/с, продольной — $5,85 \cdot 10^3$ м/с. В бронзе скорость распространения поперечной волны составляет $2,5 \cdot 10^3$ м/с, продольной — $3,5 \cdot 10^3$ м/с.

В различных средах упругие колебания возбуждаются с помощью магнитострикционных, пьезоэлектрических, электромагнитно-акустических и других преобразователей.

Магнитострикцией называют изменение формы и объема ферромагнитных материалов под действием магнитного поля. *Магнитострикционные преобразователи* изготавливают из никеля, пермендюрита и других материалов. Однако такие преобразователи не получили широкого распространения из-за сложности их изготовления и ограничений по полосе пропускаемых частот.

Наибольшее распространение получили *пьезоэлектрические преобразователи*. Их изготавливают из монокристалла кварца и пьезо-керамических материалов: титаната бария, цирконата-титаната свинца и др. Пьезоэлектрический преобразователь представляет собой пластину с нанесенными на поверхность тонкими слоями серебра, которые служат электродами. Для приобретения пластинами пьезоэлектрических свойств их электризуют в постоянном электрическом поле. При приложении к такой пластине переменного электрического напряжения, в ней возникают вынужденные механические колебания, частота которых соответствует частоте электрического напряжения. Этот пьезоэффект называется обратным. Если к пьезопластине прикладывать колебательные механические нагрузки, то в ней возникнет переменное электрическое напряжение соответствующей частоты. Этот пьезоэффект называется прямым. Наибольшая амплитуда колебаний пьезопластины возникнет при резонансе, т. е. при совпадении собственной частоты и частоты колебаний переменного напряжения.

Если пьезопластину приложить к поверхности контролируемого объекта, в его материале будут возбуждаться и распространяться упругие волны. После прекращения действия переменного напряжения пьезопластина продолжает совершать затухающие механические колебания. Ускорения затухания добиваются, используя демпфирующие материалы: асбест, резину, эпоксидную смолу с наполнителем и др. Для ввода упругих колебаний в контролируемую деталь, приема отраженных эхо-сигналов, пьезопластину помещают в специальное устройство, называемое искательной головкой.

Для лучшего акустического контакта между искательной головкой и проверяемой деталью наносят тонкий слой минерального масла, устраняя воздушный зазор. В металл при этом вводится 10—12% излучаемой искательной головкой энергии. Существует также струйный способ подачи контактной жидкости между искательной головкой и деталью. При иммерсионном способе акустическая связь между искательной головкой и поверхностью контролируемой детали осуществляется погружением в ванну с водой.

Рассмотрим некоторые методы акустического контроля.

Теневой метод. При этом методе в контролируемое изделие посылаются упругие колебания и регистрируются изменения их интенсивности после однократного прохождения через деталь. Упругие колебания (рис. 3.17) посылаются датчиком 1, регистрируются

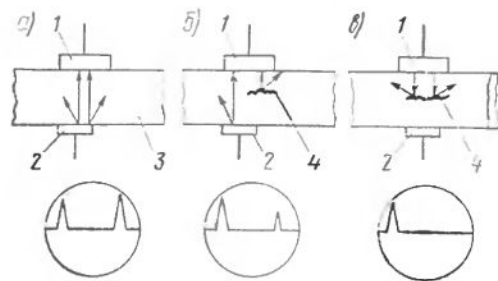


Рис. 3.17. Схема теневого метода

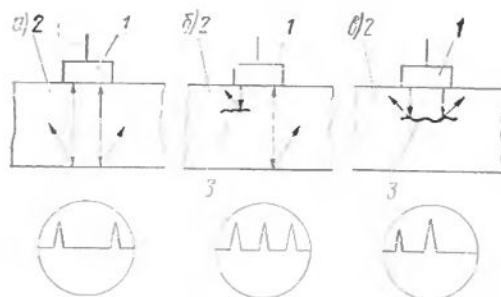


Рис. 3.18. Схема эхо-импульсного метода

датчиком 2, расположенным соосно с другой стороны детали 3, имеющей дефект 4. Сигнал передается на осциллограф. Используются в таком методе продольные и сдвиговые волны. При отсутствии дефекта волны отражаются от границ двух сред «головка — деталь», «деталь — головка», и на экране осциллографа мы увидим два импульса (рис. 3.17, а). Если на пути лучей окажется дефект, второй импульс будет ослабленным (рис. 3.17, б). В случае, если размеры дефекта перекроют доступ лучам, второй импульс исчезнет (рис. 3.17, в). Появится эффект акустической тени. Отсюда — название метода.

Зеркально-теневого метод является разновидностью описанного. В этом случае оба датчика устанавливаются с одной стороны контролируемого изделия. Интенсивность упругих колебаний регистрируется после их отражения от противоположной поверхности.

Эхо-импульсный метод. При этом методе упругие колебания вводятся с помощью совмещенной искательной головки 1, которая посылает импульс и регистрирует его после прохождения по контролируемой детали 2 (рис. 3.18). На рис. 3.18, а видно, что на экране осциллографа при прохождении лучей через деталь, не имеющую дефекта, появятся только два импульса: начальный (отражение от границы «головка — деталь») и конечный, или донный (деталь — воздушная среда). Если на пути излучения появится дефект 3, возникнет еще один импульс, свидетельствующий о наличии препятствия (рис. 3.18, б). При полном перекрытии дефектом пути излучения на экране появится начальный импульс и импульс, свидетельствующий о наличии какой-либо несплошности (рис. 3.18, в). При этом методе используются поверхностные, нормальные и сдвиговые волны, которые посылаются в озвучиваемый материал импульсами, один за другим, через определенные интервалы времени.

Импедансный метод. Метод основан на зависимости полного механического сопротивления (импеданса) упругим колебаниям изделия от качества соединения отдельных его элементов между собой. Этим методом контролируют изделия, имеющие несколько слоев. На рис. 3.19 стержень 1, совершающий продольные колебания, контактирует с участком обшивки 2, жестко склеенным с внут-

ренним листом 4 с помощью клеевого слоя 3. При этом участок склеенного материала без дефекта будет сопротивляться колебаниям, создавая реакцию F_p . Если теперь стержень 1 поместить над участком непроклея 5, реакция уменьшится до $F_{pд}$, так как жесткость обшивки на участке дефекта будет меньше, чем в предыдущем случае. Реакция фиксируется индикатором.

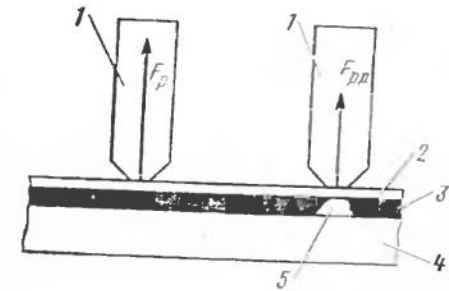


Рис. 3.19. Схема импедансного метода

Импедансный метод применяют для контроля нарушений жесткой связи слоистых конструкций: непроклеев, расслоений и т. п. Этим методом можно контролировать изделия как с плоскими, так и с криволинейными поверхностями. Импедансный метод может быть применен также для проверки качества посадки шпилек, штифтов, осей и других деталей, установленных с натягом. При ослаблении натяга изменится собственная частота колебаний системы «датчик — деталь», что и может быть зафиксировано. В авиаремонтном производстве импедансный метод применяют также для контроля клеевого соединения обшивки с сотовым заполнителем.

Метод свободных колебаний. Метод основан на использовании упругих свойств колебательных систем, совершающих свободные (собственные) колебания. Издавна осматривали вагонов, простукивая молоточком оси колес, по звону металла определяли наличие в нем трещин. Как известно, только начальная амплитуда этих колебаний определяется возмущающей силой, остальные же характеристики — период и частота колебаний, коэффициент затухания — целиком зависят от параметров самой системы: массы, гибкости, механического сопротивления. Изделие, не имеющее дефектов в виде трещин, может рассматриваться как колебательная система с определенными параметрами. Эти параметры изменяются, если в изделии имеется трещина.

Условия применения ультразвукового контроля. Применение ультразвукового контроля требует специальных навыков и может применяться только обученным персоналом. При ультразвуковом контроле важно учитывать, что упругие волны, отражаясь от элементов конструкции сложной формы (деталей с выточками, шпоночных канавок, фланцев и т. п.), создают множество импульсов. В этом случае тщательно изучают конструкцию, определяют возможность появления эхо-сигналов, проверяют их на эталонной детали. Затем выбирают рациональное направление озвучивания.

Ультразвуковой контроль желательно проводить при шероховатости поверхности 5—6-го классов. При более грубой обработке поверхности дальность распространения поверхностных и нормальных волн снижается, поскольку происходит рассеивающее отражение от выступов шероховатости.

Различные конструкции дефектоскопов допускают наличие определенных размеров мертвых зон, т. е. неконтролируемых участков. Размер мертвой зоны зависит от многих факторов, в том числе от характеристик дефектоскопа, акустических характеристик материала и др. Конкретные параметры указываются в документации на дефектоскоп.

Области применения акустических методов. С помощью акустических методов можно не только находить несплошности, но и контролировать структуру и физико-механические свойства материалов, измерять толщину деталей и защитных покрытий, а также проводить исследования усталостной повреждаемости материалов.

Перед началом акустического контроля поверхность детали очищают от грязи, отслаивающегося лакокрасочного покрытия, окалин, продуктов коррозии, чтобы улучшить условия прохождения волн и устранить возможность появления сигналов-помех. На основе регистрации импульсов могут быть построены автоматизированные системы контроля при массовом производстве.

Получили распространение ультразвуковые течеискатели. При определении причин неисправностей в жидкостных системах на собранных полностью самолетах или вертолетах важно определить, по каким трубопроводам проходит жидкость. Часто бывает, что при негерметичности крана, клапана в трубопроводе появляется жидкость, что обнаружить без разборки крайне затруднительно. Используя способность акустических волн отражаться от границы двух сред, определяют наличие или отсутствие жидкости в трубопроводе. Такие течеискатели значительно сокращают время поиска неисправностей, связанных с недопустимыми утечками в гидросистемах, водосистемах и т. п.

Промышленность выпускает большое число различного типа дефектоскопов: универсальных для определения несплошностей и их координат, толщиномеров, специализированных для контроля определенного вида изделий. Например, создан ультразвуковой дефектоскоп для контроля барабанов и реборд авиационных колес без их демонтажа. Дефектоскоп имеет малогабаритные искательные головки, с помощью которых вводятся продольные ультразвуковые колебания через узкие участки фланцев барабанов и реборд колес. С помощью фиксирующих приспособлений пучок волн направляют точно на галтельный переход, где возможно появление трещины. Сравнением с эталоном определяют наличие дефекта.

Акустические методы контроля непрерывно развиваются, появляются новые высокопроизводительные приборы. Этот вид контроля все шире применяется при ремонте.

3.9. КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ПРОСВЕЧИВАНИЕМ

Сущность метода. В природе существуют различные виды электромагнитных излучений. В целях дефектоскопии используют ионизирующие излучения — высокочастотные электромагнитные волны,

распространяющиеся в вакууме со скоростью света ($2,998 \cdot 10^8$ м/с). Эти излучения, проходя через вещество, ионизируют его атомы и молекулы, т. е. образуются положительные и отрицательные ионы и свободные электроны. Указанные излучения поэтому называют ионизирующими. Обладая высокой энергией, ионизирующие излучения проникают сквозь слои веществ различной толщины.

Неразрушающие методы контроля различных деталей и участков конструкции с помощью просвечивания основаны на способности электромагнитных излучений проникать сквозь толщу материала и терять при этом свою интенсивность в зависимости от свойств среды. Интенсивность прошедших сквозь контролируемый объект лучей замеряется или фиксируется, и по результатам расшифровки судят о состоянии объекта. На рис. 3.20 показана схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки 3. Здесь в детали 4 имеется плотное включение 2 и пустотелая раковина 5. Эюра 1 интенсивности излучения за деталью дает представление о характере изменения интенсивности. При прохождении лучей через плотное включение 2 интенсивность падает, при прохождении пустотелой раковины 5 интенсивность излучения увеличивается. Участок с большей толщиной вызывает большое падение интенсивности излучения.

Для просвечивания промышленных изделий используют следующие источники излучений: рентгеновские трубки, ускорители заряженных частиц (электронов) и радиоактивные изотопы. Излучения рентгеновских трубок используют для просвечивания изделий толщиной до 160 мм, излучения ускорителей электронов применяют для просвечивания стальных изделий толщиной более 450 мм; излучения, получаемые от радиоактивных изотопов, применяют для просвечивания стальных деталей толщиной до 200 мм.

В качестве ускорителя заряженных частиц используют бетатроны — индукционные ускорители электронов. С их помощью можно просвечивать изделия из стали толщиной 450 мм. В авиаремонтном производстве бетатроны распространения не получили. Используются в большинстве случаев для автоматизированного контроля при массовом производстве, где необходимо интенсивное излучение.

Рентгеновское и γ -излучения при прохождении через материал контролируемого изделия теряют свою энергию за счет рассеяния

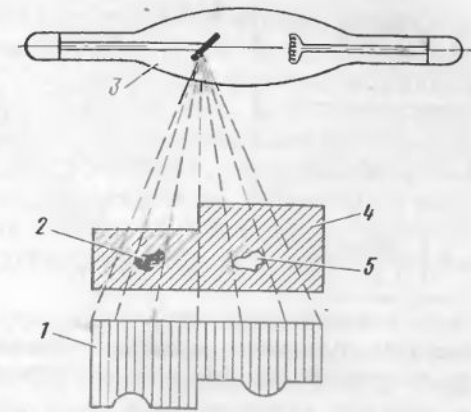


Рис. 3.20. Схема просвечивания с помощью рентгеновской трубки

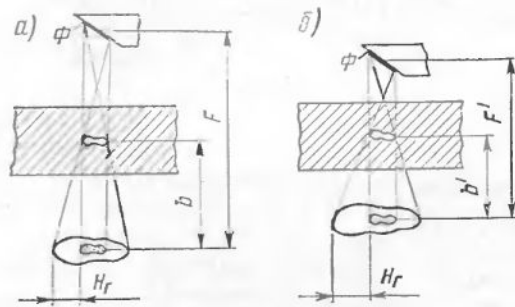


Рис. 3.21. Влияние фокусного расстояния на геометрическую резкость изображения

скопы могут быть стационарными, подвижными и переносными.

Наиболее распространенным детектором для обнаружения и регистрации рентгеновского излучения является рентгеновская пленка (фотографический детектор). Пленка представляет собой прозрачную подложку нитроцеллюлозы или ацетатцеллюлозы, на которую нанесен слой фотоэмульсии, покрытой сверху для предупреждения от повреждений слоем желатина. Для большего поглощения излучения (почернения пленки) эмульсионный слой наносят с двух сторон.

Выявляемость дефектов при контроле с использованием рентгеновской пленки зависит от качества негатива. На качество снимка (резкость и контрастность изображения) влияют различные взаимосвязанные факторы: геометрические условия просвечивания, характеристики пленок, размеры дефекта и толщина просвечиваемого материала и др. Геометрические условия зависят от линейных размеров фокусного пятна источника излучения Φ , расстояния от дефекта до пленки B и фокусного расстояния F (рис. 3.21).

Геометрическую нерезкость H_g можно определить по формуле $H_g = \frac{B\Phi}{F-B}$. Таким образом, из формулы следует, что H_g можно уменьшить применением источника с меньшими размерами фокусного пятна Φ , увеличением фокусного расстояния и уменьшением расстояния между пленкой и деталью. На рис. 3.21 показано влияние размера фокусного расстояния на нерезкость H_g . Здесь ясно видно, что уменьшение F ведет к увеличению H_g .

На качество изображения влияет рассеянное излучение, исходящее от просвечиваемой детали и окружающих предметов (стен, стола, пола) и попадающее на пленку. Для снижения отрицательного влияния рассеянного излучения пленку помещают в кассету между двумя металлическими экранами, устанавливают свинцовые листы за кассетой.

Технологическая последовательность операций при рентгеноконтроле такая: подготовка к просвечиванию, зарядка кассет, установка деталей и кассет, просвечивание и фотообработка рентгеновских пленок. При подготовке очищают детали, так как загрязнения мо-

и преобразования в кинетическую энергию электронов. Для создания рентгеновского излучения служат рентгеновские трубки. Для создания γ -излучений используют радиоактивные изотопы, помещающиеся в ампулы из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T. Ампула в дефектоскопах хранится в блоке защиты, удаленном от пульта управления. Рентгеновские и гамма-дефектоскопы

гут исказить изображение; размечают просвечиваемые участки и нумеруют их. Затем заряжают кассеты при темно-красном освещении. При зарядке в кассеты могут быть вложены флуоресцирующие экраны для усиления контрастности изображения. В качестве мягких кассет часто используют конверты светонепроницаемой бумаги. Геометрические характеристики просвечивания, экспозицию устанавливают с учетом типа рентгеновского аппарата, просвечиваемого материала и типа пленки. Все эти данные отражаются в технологической документации. Пленку устанавливают как можно ближе к объекту.

Радиографический контроль применяют для обнаружения трещин, раковин, непроваров, глубокой коррозии, неметаллических включений, непропаев и других видов несплошностей. Кроме того, просвечивание применяют для контроля расположения деталей в местах, не доступных для технического осмотра. Так, проверяют, например, состояние закрытых подшипников, заделку тросов, положение заклепок в месте крепления наконечников тяг управления в трубах и т. п.

На рис. 3.22 показаны примеры схем просвечивания сварных швов; здесь 1 — направление излучения, 2 — контролируемый сварной шов, 3 — пленка.

Стационарные рентгеновские аппараты должны размещаться в специально отведенных для этой цели помещениях, отвечающих требованиям «Основных санитарных правил» и «Нормам радиационной безопасности». В составе лаборатории или участка рентгеноконтроля должны быть помещения для просвечивания, пульта, фотокомната и помещение для расшифровки снимков. Помещения должны быть оборудованы защитными устройствами от излучений (стационарными и нестационарными) с тем, чтобы уменьшить дозу облучения обслуживающего персонала. С этой целью применяют защитные экраны, ширмы, изготовленные из свинца или из свинца и железа. Пол, потолок и стены помещения должны защищать окружающих от облучения, что достигается применением бетона, баритобетона, кирпича. При просвечивании на пульте управления и у входа в помещение устанавливается световая сигнализация. Двери блокируют с аппаратом так, что при открытой или неплотно прикрытой ее створки аппарат автоматически отключается.

На участках рентгеновской дефектоскопии проводят дозиметрический контроль с целью регулярной проверки надежности защиты

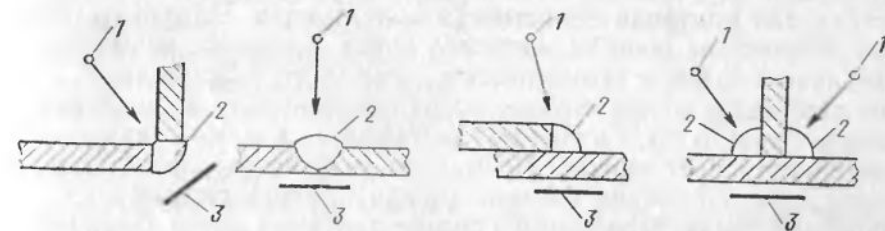


Рис. 3.22. Схемы просвечивания сварных швов

на рабочих местах и измерения индивидуальных доз облучения персонала. Просвечиванием могут заниматься лица не моложе 18 лет, знающие правила эксплуатации аппаратуры и обращения с высоковольтным оборудованием. Весь персонал, принимающий участие в радиационном контроле, проходит медицинское освидетельствование не реже одного раза в год. Радиационный контроль на съемных деталях должен проводиться в отсутствие других работников, в промежутках между сменами. Дозы облучения измеряют с помощью индивидуальных дозиметров, которые носят в нагрудных карманах.

Снижения уровня радиации добиваются направлением излучения в сторону земли, уменьшением времени облучения, увеличением расстояния от источника до исполнителя и экранированием. При проведении рентгеноконтроля переносными аппаратами устанавливаются ограждения и знаки радиационной опасности. Персонал при этом должен находиться на безопасном расстоянии.

3.10. ТЕЧЕЙСКАНИЕ

Методы контроля течейсканием направлены на поиск неисправностей, вызывающих нарушение герметичности, т. е. способности оболочки и мест ее соединения препятствовать проникновению через них жидкости или газа. Наиболее широко при ремонте самолетов и вертолетов применяются следующие способы течейскания: манометрический, пузырьковый, галоидный или химический.

Манометрический метод. При этом методе создается избыточное давление жидкости или газа в полости испытуемого узла или агрегата (трубопровода, топливного бака, фюзеляжа самолета, кессона-бака крыла) и дается выдержка в течение определенного времени. Параметры испытаний устанавливаются техническими условиями для каждого конкретного случая. Например, для бака, трубопроводов течь не допускается, падение давления не должно происходить. Для фюзеляжа добиться абсолютной герметичности невозможно, поэтому допускается некоторое падение избыточного давления в течение ограниченного времени. Для более контрастного выявления мест негерметичности в пробную жидкость, которой заполняют испытуемый объем, добавляют люминофор. По его свечению определяют точные координаты дефекта.

Давление газа используется во встроенных диагностических устройствах для контроля целостности конструкции. Например, трубчатые лонжероны лопасти несущего винта вертолета заполняются нейтральным газом и герметически после этого закрываются. Давление снижается в том случае, когда появляется несплошность: трещина, свищ, пора. Сигнализатор давления в момент нарушения герметичности даст сигнал. Поскольку разрушение происходит во времени, при индикации сигнала можно принять решение о дальнейших действиях. При таком способе контроля могут быть выявлены дефекты с диаметром 10^{-3} мм. Чувствительность контроля за-

висит от времени выдержки под давлением и повышается с его увеличением.

Пузырьковый метод. Этот метод нашел широкое применение при дефектоскопии закрытых емкостей или воздухопроводов большого диаметра. Такие испытания проводятся либо погружением их в жидкость, либо обмазкой нейтральной мыльной пеной. Применяют также специальную дисперсную массу (смесь пенообразующего вещества, глицерина, каолина, двуокиси титана, метилового красителя и ингибитора-хромпика) или контрольную массу на основе латексов. Применение таких масс повышает чувствительность метода до $7 \cdot 10^{-4}$ МПа/с.

Во всех этих случаях появление пузырьков, вздутий, кратеров в пленке свидетельствует о наличии негерметичности и дает возможность определить место расположения дефекта. При этом в испытуемую емкость подают воздух, азот или другие газы.

Галоидный метод. Этот метод основан на принципе поиска утечек индикаторного газа с помощью специальных приборов — галоидных течейскателей. Емкости заполняются смесью нейтрального и индикаторного газов, например смесью фреона и азота. Рассмотрим принцип действия прибора на основе галоидного течейскателя. На рис. 3.23 показана схема такого искателя. При наличии течи пробный газ, в котором имеется галоид 1, из испытуемого изделия попадает в течейскатель. Молекулы газа бомбардируются электронами, испускаемыми нитью 3, нагреваемой электротокком, подводимым через проводник 2. Пучок образованных в результате этой бомбардировки ионов ускоряется, проходя между полюсами магнита 4. Магнит настроен так, что отбираются только ионы галоида, образующие поток 5, который попадает в мишень 6. В результате в мишени возникает слабый ток, подающийся к усилителю через проводник 7. Усиленный сигнал передается к гальванометру и к звуковому сигнализатору. Дефектовщик может судить о наличии течи не только по отклонению стрелки прибора, но и по звуковому сигналу, для чего к течейскателю прилагаются наушники. Этот способ поиска течей весьма чувствителен. С его помощью можно обнаружить утечку гелия менее 1 см^3 пробного газа в год при нормальной температуре и давлении. Метод улавливает даже микротечи, не имеющие практического значения. Поэтому прибор загроуляют, настраивая его по эталону-образцу.

Химический метод. Он основан на индикации течей с помощью

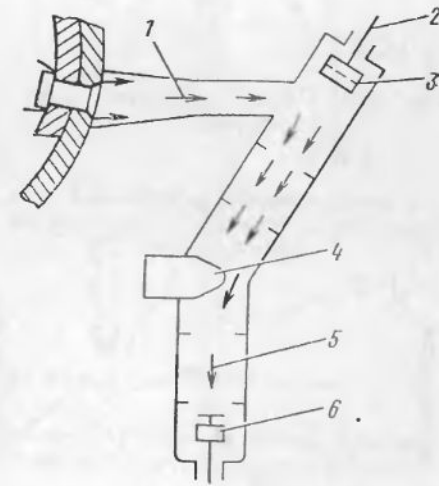


Рис. 3.23. Схема работы гелиевого течейскателя

химических реакций. В этом случае используют воздействие аммиака на индикаторное вещество, в результате чего последнее изменяет свой цвет. Объем, подлежащий проверке на герметичность, заполняют смесью воздуха и аммиака, и на контролируемую поверхность накладывают индикаторную ленту. При наличии течей на ленте появятся пятна малинового цвета.

3.11. ДРУГИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Голография. Термин «голограмма» происходит от греческого слова *holos*, что значит полный. В обычной фотографии трехмерная картина преобразуется в двумерное изображение, голография сохраняет ее трехмерность. Получение четкого изображения при голографии состоит из двух процессов: получения голограммы и восстановления. Принципиальная схема установки для получения голограммы приведена на рис. 3.24.

Световой пучок от лазера *б* попадает на светоделительную пластину *1* и расщепляется на два. Один пучок, используемый для освещения объекта, проходит через оптическую систему *3* и, отражаясь от освещенного контролируемого объекта *4*, попадает на светочувствительную пластину *5*. Этот пучок называется предметным. Второй пучок, называемый опорным, отражается от зеркала *2*, проходит через оптическую систему *3* также на светочувствительную пластину.

В результате интерференции двух световых потоков получается изображение в виде интерференционных полос, содержащее полную информацию о наружной поверхности контролируемого объекта.

Получение четкого изображения из голограммы называется процессом восстановления. Обработанную фотографическую пластину (голограмму) используют для восстановления трехмерного изображения контролируемого объекта. На рис. 3.25 показана схема процесса восстановления. На голограмму *2* падает пучок света от лазера *4*, и наблюдатель *1* видит мнимое трехмерное изображение объекта, ничем не отличающееся от действительного. Таким образом, голограмма является как бы окном, через которое можно наблюдать объект. Наличие в контролируемой детали *3* поверхностной или близкой к поверхности трещины, а также деформации вызывает искажение расположения интерференционных полос, где находился дефект. Это дает возможность следить за развитием трещины в динамике, наблюдать ход ее развития. Это свойство голографии эффективно можно использовать в условиях, когда непосредственное наблюдение затруднено из-за окружающих условий, например в авиадвигателях. Преимуществом этого метода является возможность контролировать всю область, а не только отдельные точки, получать объемное изображение исследуемого объекта.

С появлением лазеров голографические исследования интенсивно развива-

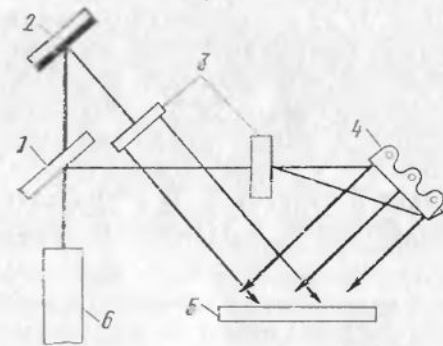


Рис. 3.24. Схема получения голограммы

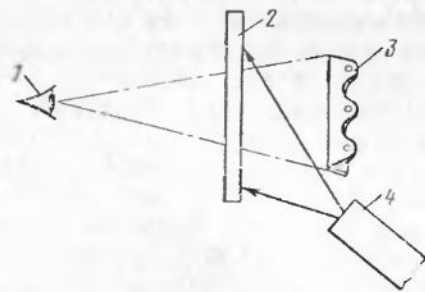


Рис. 3.25. Схема восстановления трехмерного изображения с использованием голограммы

ются и находят все большее применение. Сдерживающим фактором является то, что на четкость изображения влияют малейшие вибрации, исключить которые в производственных условиях не всегда возможно. Поиск оптимальных схем для широкого применения голографии ведется во многих областях науки и техники.

Применение лазерной техники. В авиационной промышленности, кроме голографии, лазеры широко применяются для измерений и координации. Например, точный монтаж узлов стальной оснастки и другого объемного оборудования осуществляется с помощью лазера. Его прямой, без отклонений, луч направляется в заданную точку, регистрируется, давая при этом высокую точность. С течением времени, по мере накопления знаний и опыта, области применения лазеров все более расширяются. При ремонте авиационной техники лазеры нашли применение для выполнения инструментальных измерений в лабораторных условиях.

Обычное измерение длин, радиусов, особенно на внутренних поверхностях гаек шариковинтовых подъемников, — операция весьма трудоемкая. Настройка инструментальных микроскопов, отсчеты для каждого измерения, которых на одной детали может быть несколько, занимают немало времени. Для повышения производительности труда, на базе инструментального микроскопа построена система с использованием луча лазера и электронного устройства для автоматической регистрации измерений. Принцип ее работы основан на регистрации интерференционных полос на голограмме.

На рис. 3.26 представлена принципиальная схема измерительного устройства. Пучок света от лазера *7*, проходя через светоделительную пластину *1*, разделяется на два пучка. Один, опорный, отражаясь от зеркала *2*, пройдя через оптическую систему *3*, попадает на пластину *5*, изготовленную из матового стекла. Второй пучок, предметный, пройдя через оптическую систему *3*, попадает на измеряемую поверхность *4*, отразившись от которой, попадает также на матовую пластину *5*. Здесь получается интерференционное изображение, как и на голограмме. Это изображение регистрируется через волоконные световоды *б* фотоэлементами электронного устройства. При передвижении измерительного устройства из положения *А* в положение *Б* интерференционное изображение соответственно изменится на длину перемещения *А—Б*, что и будет зафиксировано фотоэлементами. Полученный оптический сигнал преобразуется в электрический, и на табло устройства появится цифра, определяющая длину перемещения с точностью до 0,1 мкм.

Среди бесконтактных методов контроля лазерные методы являются весьма перспективными и бурно развиваются. В самолетостроении лазеры используются для сборки самолетных конструкций, монтажа технологической оснастки, стыковки и цековки самолета и т. п.

При ремонте могут быть применены лазерные центрирующие измерительные системы (ЛЦИС) — наиболее универсальное измерительное средство. При

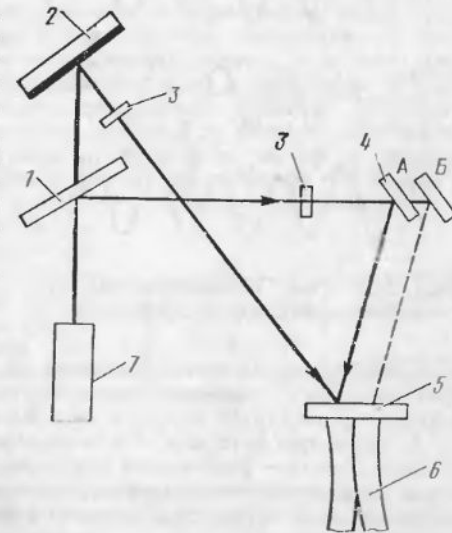


Рис. 3.26. Принципиальная схема измерительного устройства с использованием лазера

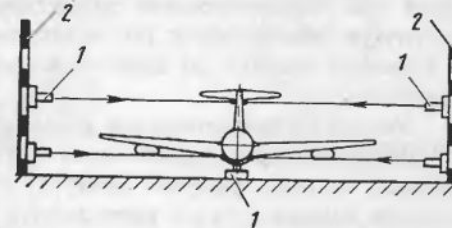


Рис. 3.27. Нивелировка с помощью ЛЦИС

3.12. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИИ

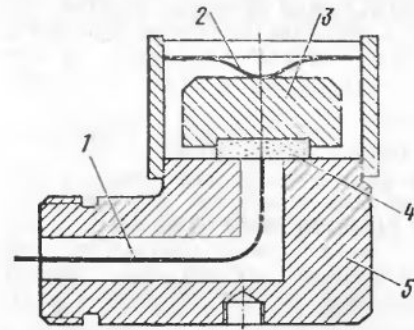


Рис. 3.28. Устройство пьезоэлектрического преобразователя, используемого при вибродиагностике

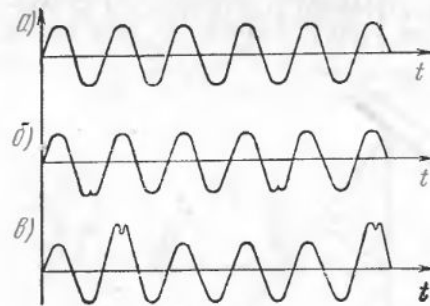


Рис. 3.29. Вид оциллограммы при вибродиагностике подшипников

пьезоэлектрические преобразователи. На рис. 3.28 показано принципиальное устройство такого преобразователя. Корпус 5 подсоединяется к диагностируемому объекту и вибрирует вместе с ним. Колебания передаются на инерционную массу 4, прижатую пружиной 2 к пьезоэлектрическому преобразователю 4. Под действием сжатия — растяжения при вибрационных перемещениях инерционной массы в преобразователе возникает электрический ток, передающийся через электроды 1. Электрические сигналы анализируются и преобразуются электронными устройствами.

После обработки сигнал передается на экран электронно-лучевой трубки в виде графика и цифр, оценивающих основные параметры вибрации.

На рис. 3.29 показан вид оциллограммы сигналов внутренних преобразователей при диагностировании подшипников. Подшипник без дефектов дает симметричную форму кривой (а), подшипник с дефектом на внутреннем кольце (б) и с износом шарика (в) дают искажение, по характеру которого можно судить о дефекте.

Методы вибродиагностики оказываются эффективными для обнаружения неуравновешенности вращающихся деталей, дефектов подшипников, зубчатых передач, насосов, форсунок камер сгорания, повреждения и обрывов рабочих лопаток, износов деталей, погрешностей сборки различных узлов, прогаров камер сгорания, повышенных пульсаций давления в газозоудном тракте, помпажа и т. д.

измерениях с помощью этой системы в качестве эталона прямолинейности используется энергетическая ось лазерного луча. На рис. 3.27 дана схема нивелировки с помощью ЛЦИС, которая производится на специально выделенной площадке. Самолет, установленный в линию полета, нивелируется по реперным точкам с помощью лучей лазера 1, передвигающегося по измерительной линейке 2. У каждого излучателя устанавливается специальная призма на крышке, имеющей три степени свободы. Призма позволяет ориентировать луч в нужном направлении. Когда на площадку устанавливается самолет, луч направляется на реперную точку и по линейкам ведется отчет.

Вибрационная диагностика. Эти методы основаны на использовании в качестве диагностических сигналов различных колебательных процессов: механических колебаний, акустических колебаний в различных средах, переменных деформаций и т. п. Все более широкое применение эти методы находят для раннего обнаружения неисправностей газотурбинных двигателей и его агрегатов, редукторов вертолетов, вызывающих определенного вида колебания. Последние могут быть вызваны даже изменениями технологии обработки вращающихся деталей, приводящей к неуравновешенности.

При измерении вибрационных параметров газотурбинных двигателей или редукторов вертолетов используются

Основные особенностью измерений при ремонте является то, что они, как правило, выполняются на деталях, имеющих определенную наработку и вероятное наличие износов. Обычно износ распределяется неравномерно по площади или по объему диагностируемой детали, что очень важно учитывать при определении его количественных характеристик.

На рис. 3.30 изображен пример износа отверстия в силовом фитинге. У торца фитинга отверстие имеет овализацию. Для определения ее размеров измерения необходимо выполнить в сечениях I—I и II—II. Если измерить диаметр отверстия только в сечении I—I, то не будет определено истинное значение износа. В поперечном сечении видно, что вдоль оси отверстия также износ неравномерный. Измерение только в сечении а—а или б—б, или в—в не дадут полного представления о характере износа. Например, если измерение произвести по сечению б—б, то окажется, что отверстие имеет номинальный размер, что может привести к ошибочному выводу об отсутствии износа. Измерение отверстий по нескольким сечениям и поясам даст возможность правильно определить метод ремонта. Например, при развертывании отверстий необходимо указывать диаметр по наибольшему размеру. Этими же соображениями необходимо руководствоваться при определении износа по наружным размерам.

Все эти измерения выполняются инструментами, диапазон и цена деления которых соответствуют классу или степени точности, указанным в чертежах для данной детали. Иногда измерения стандартным измерительным инструментом или затруднено или вовсе невозможно. В этих случаях применяют различные приспособления. На рис. 3.31 показана индикаторная головка 1, вставленная в приспособление 2 для измерения глубины механического повреждения 3 (риски, царапины, забоины, вмятины). К ножке индикаторной головки присоединен игольчатый наконечник, с помощью которого измеряется глубина повреждения.

Часто возникает необходимость измерить какой-либо размер в труднодоступном месте. В этих случаях используются различными приспособлениями для косвенных измерений или прибегают к изготовлению слепка. Для снятия слепков, например с резьбы, для измерения ее шага, для контроля радиусов применяют специальные смеси на основе эпоксидных смол. В состав смеси входят графит, дибутилфталат и другие вещества. Резьбу перед заливкой смеси очищают, смазывают раствором воска в бензине, затем производят заливку. Отверждение происходит несколько часов. После этого выполняют по слепку измерения. В некоторых случаях в труднодоступных местах для определения зазоров с небольшой точностью применяют пластилин.

При измерениях в процессе ремонта имеют место погрешности измерения. Инструментальные погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерения, учитывают при контроле измерительных инструментов и устройств метрологической службой. Для уменьшения вероятности появления погрешности отсчитывания, происходящей от недостаточно точного отсчитывания показаний средств измерения, измерения производят несколько раз и сравнивают результаты. Что касается систематических погрешностей измерения, то важно учитывать при измерениях, в первую очередь, изменение температуры.

Рассмотрим на конкретном примере систематическую ошибку, возникающую при изменении температуры относительно стандартной

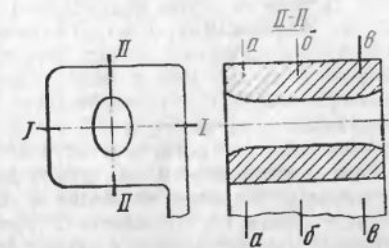


Рис. 3.30. Изменение формы отверстия фитинга вследствие износа

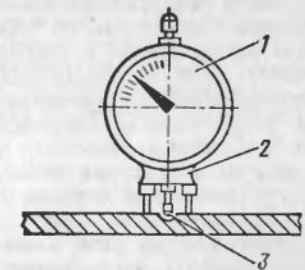


Рис. 3.31. Приспособление для измерения глубины механического повреждения

(+20°C). Допустим, нужно измерить диаметр d детали, изготовленной из латуни, стальным измерительным инструментом при температуре +30°C. Известно, что коэффициент линейного расширения латуни $\alpha_{л} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; аналогичный коэффициент для стали $\alpha_{ст} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Систематическая ошибка может быть вычислена по формуле:

$$\Delta_{\text{сист}} = d(t_{\text{ном}} - t_{\text{н}})(\alpha_{л} - \alpha_{\text{ст}}),$$

где $t_{\text{ном}}$ — температура помещения; $t_{\text{н}}$ — номинальная температура. В нашем конкретном примере $t_{\text{н}} = 20^\circ\text{C}$, $t_{\text{пом}} = 30^\circ\text{C}$. Возьмем $d = 20$ мм. Проведя вычисления, получим $\Delta_{\text{сист}} = 20(30 - 20) \cdot (18 \cdot 10^{-6} - 12 \cdot 10^{-6}) = 0,0012$ мм = 1,2 мкм. Ошибка в 1,2 мкм может оказаться весьма существенной, принципиально влияющей на работу соединения, где была установлена латунная деталь. Учет такой ошибки тем более важен, что при ремонте измерения могут производиться вне отапливаемых помещений, а ремонт — в отапливаемых.

На современных авиаремонтных предприятиях находят применение автоматизированные способы измерений, во много раз повышающие производительность труда при измерениях. Особенно ощутимо это сказывается при выполнении станочных работ по обработке большого числа однотипных изделий.

3.13. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ВНЕ АВИАРЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрим принципиальную схему подходов к определению технического состояния ремонтируемого объекта. Необходимость определения технического состояния самолета или вертолета может возникнуть не только непосредственно на ремонтном предприятии, но и в эксплуатирующих организациях: при повреждениях, отказах, нарушенных условиях эксплуатации.

Основные этапы определения технического состояния следующие:

1. Информация о повреждении может поступить в письменном виде (телеграфное сообщение, запись экипажа, запись в карте при техническом обслуживании и т. д.), или в виде устного заявления соответствующих специалистов. Любую информацию необходимо проверить. Здесь должен соблюдаться один принцип: если информация о неисправности или дефекте поступила, она должна послужить сигналом к действию. Даже если информация имеет малую вероятность достоверности, все равно должна быть полностью исключена возможность сомнений. Никакое сомнение в исправности авиационной техники недопустимо, ибо в таких обстоятельствах имеется возможность появления неисправности в полете, что поставит под угрозу безопасность его выполнения.

Информация может поступить в общем виде, или в виде конкретной характеристики. Например: «не убирается передняя опора шасси», «упало давление в гидросистеме», «большая вибрация редуктора вертолета», «пробойна размером 100×50 мм между 3—4-м стрингерами и 30—31-м шпангоутами», «на стоянке давление в гидросистеме падает на 0,5 МПа за 1 ч». Информация должна быть дополнена сведениями об объекте: наработка в часах и полетах (посадках) с начала эксплуатации и после последнего ремонта, принадлежность (место базирования). Такие сведения необходимы для определения стратегии ремонта. Если, например, место базирования расположено рядом с авиаремонтным предприятием, могут быть использованы для ремонта его мощности. Если до списания объекта осталось несколько часов, выясняется экономическая целесообразность выполнения ремонтных работ. Учитывается также остаток межремонтного ресурса: в некоторых случаях принимается решение о досрочной отправке в ремонт. Целесообразно совместить выполнение ремонтных работ с выполнением регламентов. Если неисправность возникла в период действия гарантийного ресурса, решение о ремонте принимается совместно с изготовителем.

2. На втором этапе проверяют документацию на ремонтируемый объект. Проверка формуляров, паспортов, аттестатов дает возможность определить, не было ли каких-либо записей об особенностях конструкции или ограничений по

условиям эксплуатации. Возможно, что отказавший агрегат уже отработал ресурс или его уже ранее снимали из-за такой же неисправности. Проверка альбомов силовых элементов поможет выяснить, не были ли проведены ранее в районе повреждения ремонтные работы.

На этом этапе выясняют обстоятельства возникновения или обнаружения неисправности: в горизонтальном полете, в условиях турбулентности или при посадке, при выполнении регламентных работ или при предполетном осмотре. Это очень важно для определения причины неисправности. Кроме того, это дает возможность определить уровень нагружения, приведшего к появлению неисправности. Например, пробойна, полученная при буксировке самолета с малой скоростью, не приведет к значительным повреждениям соседних конструктивных элементов. Деформация и пробойна, появившиеся в результате столкновения с препятствием при разбеге или пробеге на большой скорости, вызовут неисправности вокруг повреждения в большом районе.

3. Третий этап — непосредственная дефектация. Здесь прежде всего количественно оценивают неисправность или дефект: размер механического повреждения, трещины; характеристики расхода и давления (например, время падения давления); время уборки — выпуска; время срабатывания, характеристика течи (отпотевание, струйная течь, капельная течь и т. п.). При определении количественных характеристик могут применяться средства измерения, неразрушающие методы контроля (НМК). С помощью этих средств и методов контролируют целостность конструктивных элементов у места повреждения. При дефектации гидрогазовых систем поиск неисправности весьма облегчается применением ультразвукового теческатора (УЗТ). Зная конструкцию системы, можно определить, в каких трубопроводах при данном режиме жидкости не должно быть. С помощью УЗТ проверка выполняется быстро и надежно. Таким образом устанавливается неисправность кранов, клапанов и других агрегатов, что значительно облегчает поиск неисправности.

Во многоагрегатных системах или системах, состоящих из большого числа звеньев, бывает затруднительно сразу определить причину неисправности. В таких случаях целесообразно применить поиск по методу последовательного приближения. Рассмотрим на конкретных примерах применение такого метода.

Допустим, что в полете было обнаружено затяжеление (большое усилие на штурвальной колонке) системы управления рулем высоты. Замер динамометром подтвердил наличие неисправности. Общий внешний осмотр результатов не дал, не обнаружено внешних причин затяжеления: отсутствие посторонних предметов в движущихся узлах, проводка управления укладывается в требования технических условий. В этом случае отсекают различные участки системы и динамометром проверяют усилие на каждом участке. При этом могут обнаружиться причины затяжеления в каком-нибудь одном звене, например в гермоузле, в ограничительных роликовых опорах и т. д. Такой же принцип поиска неисправности может быть применен при дефектации гидрогазовых систем, путем отсоединения последовательно от штуцеров различных агрегатов. Наличие значительных люфтов у хвостового винта вертолета может явиться следствием изнашивания в шарнирных узлах трансмиссии. Здесь также можно применить этот метод, последовательно разъединяя шарнирные узлы и измеряя детали. Метод последовательных приближений требует больших трудовых затрат и применяется достаточно редко, когда другие методы оказываются неэффективными.

В некоторых случаях в какую-либо ветвь жидкостной системы устанавливают манометр, присоединенный через тройник к контрольному трубопроводу. По показаниям такого манометра судят о давлении жидкости в данной ветви системы.

Конкретная методика поиска дефекта устанавливается для различных систем с учетом их конструктивных особенностей, с использованием встроженных диагностических устройств (измерителей вибрации, сигнализаторов давления, сигнализаторов наличия стружки в масле и т. п.). Во многих случаях в инструкциях по эксплуатации, руководствах по ремонту, технологических указаниях по выполнению регламентных работ даются рекомендации по устранению типовых неисправностей. Эту информацию также используют при техническом диагностировании.

На этом же этапе выясняют возможные связи и взаимовлияния окружающих элементов конструкции с обнаруженной неисправностью. Рассмотрим некоторые примеры этого положения. Если была обнаружена повышенная вибрация редуктора вертолета, то необходимо проверять наличие дефектов в узлах его крепления. Длительное воздействие вибрации могло вызвать появление дефектов в деталях узлов крепления. Если такие дефекты останутся неустранимыми, крепление может потерять работоспособность. То же можно сказать о креплении двигателей. Наружная вмятина обшивки может привести к повреждению элементов конструкции под ней. Отказ в какой-либо жидкостной или гидрогазовой системе зачастую является следствием загрязнения, в результате чего произошло заклинивание золотника. Устранение такого заклинивания не ликвидирует первопричину неисправности. В этом случае система должна быть промыта и жидкость заменена. Если обнаружена течь жидкости (гидросмеси, топлива, воды), необходимо продиагностировать возможные места ее скопления, так как они могут вызвать коррозию, проникнуть в электросоединительные устройства и т. п.

На этом этапе очень важно всю работу проводить по разработанному маршруту. Для организации целенаправленного поиска неисправности полезно составить производственную программу такого поиска. В некоторых случаях она может иметь вид сетевого графика.

4. Важным этапом работы по поиску и устранению неисправностей и дефектов является выяснение причины их появления. В первую очередь стараются определить нагрузку, вызвавшую появление неисправности (дефекта), время ее действия. Здесь дело в том, что сопротивляемость материалов динамическому нагружению ниже, чем статическому. В первом случае повреждение будет более значительным. Это относится к ударам при посадке, к столкновениям с наземными препятствиями. Столкновение с препятствием, например, на скорости, близкой к нулю, или на скорости 30—40 км/ч вызывают совершенно различные повреждения.

Если самолет или вертолет испытали кратковременную перегрузку, измеряемую в секундах, то повреждение будет отличаться от случая, когда перегрузка была неоднократной и действовала длительное время. Конечно, не во всех случаях удается точно установить значения нагрузок, вызвавших повреждение. В таких случаях определяют характер нагружения по размерам дефекта. Когда точных критериев оценки нет, изучают косвенные признаки. Например, если удар пришелся на кесон крыла, проверяют наличие необычных, нехарактерных течей, проверяют усилие затяжки по стыку, проводят нивелировку. Такую же проверку по косвенным признакам проводят после грубой посадки.

На этом этапе анализируют имеющийся статистический материал по таким же или аналогичным неисправностям. Например, могут появиться трещины, ранее уже имевшие место в данной конструкции. По аналогии могут быть определены причина и методы ремонта. Однако никакая аналогия не исключает поэтапного поиска неисправностей, так как аналогия не означает полной идентичности, полного совпадения значений нагружений и размеров повреждений.

5. Методы ремонта определяются, как было описано выше: заменой, усилением, восстановлением размеров и др. В полевых условиях, при значительных повреждениях могут приниматься решения о проведении временных ремонтных работ, предназначенных только для перелета к месту базирования или на авиаремонтное предприятие.

6. Обязательным и крайне важным этапом является оформление документации: ведомостей дефектации, карт выполненных работ и т. п. Поскольку такие документы имеют юридическое значение, повышают ответственность исполнителей, ремонт не может быть проведен без их оформления.

7. На этапе ремонта выполняются работы, предусмотренные документами, оформленными на предыдущем этапе. Процессы ремонта и восстановления описаны в главах 5 и 6. При значительных, нетиповых повреждениях, решение о ремонте принимается совместно с разработчиком.

8. Этот этап является завершающим. Здесь могут проводиться как наземный контроль, так и летные испытания. Перечень неисправностей, после устранения которых должны проводиться летные испытания, имеется в руководящих документах каждого типа авиационной техники. В необходимых случаях проводится нивелировка самолета или вертолета, отработка систем от стендов или на работающем самолете.

Глава 4

ПРИЧИНЫ И ВИДЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ДЕФЕКТОВ

4.1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Нагрузки, действующие на самолет (вертолет). В идеальном случае во время установившегося горизонтального полета при условии абсолютной жесткости всей конструкции на самолет или вертолет действуют стационарные аэродинамические, инерционные силы и моменты, а также сила тяжести. В реальных условиях в каждую единицу времени нагрузки меняются непрерывно, включая и силу тяжести (например, вследствие выработки топлива, появления наростов обледенения).

Самолеты и вертолеты эксплуатируются в чрезвычайно сложных условиях. Воздействие воздушной среды непрерывно меняется по величине, направлению и во времени. Переменные порывы воздуха, турбулентность атмосферы, эволюции, изменение профиля полета, нагрузки при посадке и рулении характеризуются случайными вариациями направления, силы воздействия и перемены во времени. Приведем для примера полетную запись перегрузки по времени одного из самолетов. На рис. 4.1 по оси ординат отложено изменение перегрузки Δn , по оси абсцисс — время t . При этом необходимо учитывать, что перегрузки в центре тяжести самолета и в различных его частях не равны между собой. Достаточно рассмотреть пример записи вертикальных перегрузок n_y в зависимости от времени при посадке самолета с четырьмя двигателями на бетонную дорожку. Как видно из рис. 4.2, между значениями перегрузок в центре тяжести самолета (кривая 1) и в других его частях — хвостовой части фюзеляжа (кривая 2), носке картера 3-го двигателя (кривая 3) — имеются значительные расхождения. Эти расхождения — следствие упругости конструкции. В полете у самолетов крыло, например, упруго изгибается вверх и вниз так, что амплитуда колебаний конца консоли может достигать более 1000 мм. Это явление называется аэроупругостью. В процессе упругого перемещения сечения крыла не только поступательно смещаются вверх и вниз, но и закручиваются.

Значительные переменные нагрузки испытывают конструктивные элементы гермокабины, поскольку разница давлений внутри и снаружи меняется в зависимости от изменения внешних условий (например, при изменении высоты полета). Газотурбинные, поршневые, турбовинтовые двигатели имеют определенную динамическую уравновешенность вращающихся узлов. В допускаемых пределах

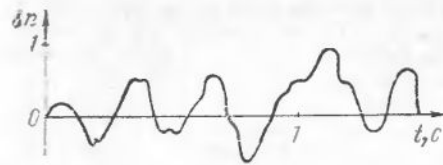


Рис. 4.1. Изменение перегрузки самолета в полете

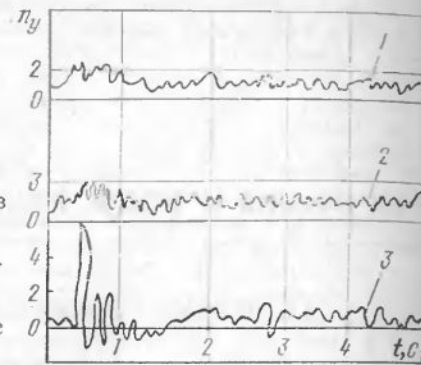


Рис. 4.2. Изменение перегрузок при посадке самолета в различных его частях

вся конструкция двигателя вибрирует. Неизбежны колебания температур и давления рабочего тела двигателей, приводящие к колебаниям лопаток компрессора и турбины. Значительное влияние авиационные конструкции испытывают от действия акустических нагрузок, источником которых является шум газотурбинных двигателей или шум, создаваемый воздушными винтами.

Самолеты, вертолеты и авиадвигатели эксплуатируются в различных климатических зонах. Нетрудно представить себе полет из Ташкента (высокая температура, ветер с песком) в Норильск (низкие температуры, сильные ветры, особые условия посадки) или из Сухуми (влажные субтропики) во Владивосток (влажный океанический воздух с высоким содержанием йода и солей). Из этих примеров совершенно очевидно, что изменения внешних климатических условий окажут влияние на работу всей конструкции.

Сложность авиационных конструкций приводит к значительному взаимовлиянию различных их частей. Например, вибрации авиадвигателя могут оказать влияние на работу узлов навески хвостового оперения. С другой стороны, колебания хвостового оперения окажут влияние на работу фюзеляжа. Элементы авиационных конструкций в процессе эксплуатации работают при непрерывном изменении напряжений во времени. При этом могут изменяться их значения и частота повторения.

Известно, что при запуске авиационных машин в серию проводятся их испытания на ресурс. Программа испытаний максимально приближается к натурным условиям. Однако сложное сочетание различного вида нагрузений, их переменность по значению и во времени затрудняют создание программы, точно соответствующей условиям эксплуатации. В связи с этим существует возможность возникновения предельного напряженного состояния в тех узлах, которые при испытаниях на ресурс не дали разрушений. Таким образом, при ремонте сосредоточивается внимание не только на узлах, в которых при испытаниях на ресурс появились разрушения, но и на возможных участках появления дефектов в результате воздействия внешних нагрузок. Диагностическая информация, поступающая из ремонтных и эксплуатирующих предприятий, всегда

учитывается, а часто является определяющей при создании перечня зон, подлежащих дефектации. Причем, эти перечни могут уточняться с течением времени.

Потеря работоспособности конструкции. Главная задача ремонта состоит в том, чтобы предотвратить потерю работоспособности конструкции. Можно указать два следующих типа потерь: пластическое деформирование и распространение трещин. Каждый из этих типов имеет свою количественную характеристику предельного состояния. В реальной конструкции пластическое деформирование может сопровождаться появлением трещин. Распространение трещин имеет место как на макроуровне, так и на микроуровне. В последнем случае в сочетании с пластическим деформированием получаем разрушение при изнашивании. Как пластическое деформирование, так и распространение трещин могут привести к самому опасному виду потери работоспособности — *разрушению*.

Здесь следует учитывать, что процесс разрушения протекает во времени. Представление о том, что разрушение наступает при достижении критических напряжений материала (например, сопротивления разрыву) принципиально неверно. Современные исследования показали, что разрушение развивается постепенно и представляет собой некоторый, иногда длительный процесс. Считается, что в процессе разрушения наблюдаются три стадии: накопление повреждений около ослабленной точки, возникновение трещины, ее распространение.

Накопление повреждений около ослабленной точки представляет собой микроскопический процесс, связанный с атомной, кристаллической решеткой, со свойствами границ зерен материала и зависит от всей предшествующей картины нагружения (как говорят, истории нагружения). Когда превышаете некоторое критическое локальное значение прочности или пластичности (способности молекул к сцеплению), образуется поверхность трещины. При постоянном или переменном нагружении поверхность трещины распространяется вплоть до полного разрушения.

Известно, что реальные материалы имеют неоднородную структуру по всему объему (дефекты кристаллической структуры, неравномерное распределение примесей), приводящее к анизотропии свойств, т. е. к неодинаковым свойствам в разных направлениях. Следовательно, в любом материале имеются более слабые точки, вокруг которых произойдет накопление повреждений. Совпадение расположения относительно слабой точки материала с местом предельно напряженного состояния конструкции ускоряет процесс накопления повреждений во времени, т. е. сокращается время перехода ко второй стадии разрушения.

Разрушение может быть хрупким или пластичным. В первом случае разрушение распространяется очень быстро с весьма малыми деформациями. Во втором случае имеет место значительная пластическая деформация. Существуют материалы, которые при изменении условий нагружения могут вести себя либо как хрупкие, либо как пластичные. Степень хрупкости материала оценивается

по деформации при испытании образцов до полного разрушения. Считается, что деформация менее 2% характеризует хрупкие материалы, например, стали ШХ-15, 30ХГСА.

Свойства материала, таким образом, играют решающую роль наравне с нагрузками во всем процессе разрушения. Отсюда знание свойств материалов при определении технического состояния элементов конструкции — неперемное условие получения достоверной диагностической информации. Наличие в авиационных конструкциях дефектов (неисправностей) способствует усугублению условий потери работоспособности конструктивных элементов, появлению ослабленных точек и развитию вокруг них процессов разрушения.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ

По причинам возникновения. По этому признаку дефекты можно разделить на следующие группы: конструктивные, технологические, эксплуатационные и дефекты старения.

Приведенное разделение дефектов на группы является условным, так как в некоторых случаях отнесение конкретного дефекта к той или иной группе может быть затруднено вследствие взаимовлияния различных факторов. Например, иногда невозможно добиться нормированного зазора между элементами конструкции вследствие ограниченного пространства. Возникает вынужденное нарушение технологии монтажа, вызванное конструктивным несовершенством. Плохая подготовка поверхности под покрытие вызывает преждевременное его старение. Точная классификация дефектов может быть осуществлена на основании специальных исследований.

Однако разделение дефектов на описанные группы является необходимым, ибо без этого невозможно правильно разработать мероприятия по их устранению и предотвращению. Зная, к какой группе относится дефект, всегда можно потребовать изменения конструкции от разработчика, улучшения технологии изготовления от завода-изготовителя, совершенствования методов обслуживания или технологии ремонта авиатехники, поставить вопрос о предотвращении преждевременного старения материалов перед научно-техническими организациями. Такое разделение является действенным источником информации для совершенствования системы управления качеством, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации авиатехники.

Конструктивные дефекты возникают из-за недостаточного опыта проектирования, недостаточно точного анализа сложного напряженного состояния конструкции, недостаточных сведений о прочности и пластичности материала в условиях сложного напряженного состояния. Примерами могут служить концентраторы напряжений, разкие перепады жесткости, применение материалов с низкой коррозионной стойкостью в местах воздействия агрессивных сред и т. п.

Технологические дефекты возникают вследствие нарушения принятой технологии изготовления. Часто эту группу дефектов называют производственными. Сюда относят неточности монтажа (несоблюдение зазоров, несоосности, перекосы), несоблюдение требований к качеству покрытий, дефекты материалов (волосовины, закаты, шлаковые включения), нарушение условий взаимозаменяемости, неточности в образовании внешних геометрических форм (западания или выступания выше установленных норм) и другие дефекты, связанные с нарушением технических условий на изготовление.

Эксплуатационные дефекты связаны с нарушением правил эксплуатации и ремонта авиационной техники. Например, нарушение сроков смазки приводит к преждевременному изнашиванию в подвижных соединениях; несвоевременная мойка наружного покрытия приводит также к его преждевременному изнашиванию; попадание загрязняющих примесей (например, пыли, воды) в топливо или смазывающие вещества ухудшает условия работы систем и двигателей; грубая посадка может вызвать недопустимую деформацию элементов каркаса, разрушение деталей шасси и мест его крепления; нарушение требований технологии ремонта может привести к появлению трещин.

Группа **дефектов старения** возникает в любой машине, и их появление связано с процессами изнашивания. Например, в узлах трения всегда, в большей или меньшей степени, изнашиваются контактирующие поверхности. В пластмассах, резиновых материалах с течением времени накапливаются необратимые изменения, нарушающие их прочность. К этой же группе дефектов относят коррозию.

По внешним признакам. При оценке технического состояния конкретной конструкции исполнитель (дефектовщик, мастер, контролер, инспектор) видит внешние признаки дефектов, по которым их можно разделить на следующие группы: механические повреждения, остаточные деформации, трещины, нарушение заданных геометрических размеров, признаки старения неметаллических материалов и покрытий, коррозия, эрозия, кавитация. Кратко рассмотрим внешние признаки дефектов.

Механические повреждения в виде рисок, царапин, забоин, вмятин, потертостей могут возникнуть как в процессе эксплуатации, так и от конструктивных несовершенств или нарушений технологии изготовления. Например, на обшивке могут возникнуть повреждения от заправочного шланга, от обуви обслуживающего персонала, касания лестниц и стремянок, повреждения от небрежной загрузки. При малых зазорах могут образоваться потертости трубопроводов, потертости других элементов конструкции. Механические повреждения определяются с помощью обычного и специального измерительного инструмента.

Остаточные деформации образуются в том случае, когда действующие напряжения превысили значение предела текучести. На обшивке это могут быть утяжки, вспучивания, гофры вследствие потери устойчивости. На трубопроводе — оваллизация или гофр.

На силовых крепежных деталях — вытяжка резьбы или смятие цилиндрической поверхности. Остаточная деформация всегда искажает первоначальную форму конструктивного элемента и ее легко обнаружить с помощью измерений, сравнивая их с данными чертежа. Для оценки прогиба снятых деталей используются инструментальные плиты, штативы с индикаторной головкой и т. п.

Трещины могут появиться вследствие статической перегрузки или усталости. Крайне редко обнаруживаются трещины в результате грубых нарушений технологии сборки или изготовления. Мелкие трещины у поверхности могут привести к сколам материала. В большинстве случаев трещины в элементах авиационных конструкций возникают от усталости. Обнаруживаются трещины визуально или с помощью неразрушающих методов контроля.

Нарушение заданных геометрических размеров является следствием процессов изнашивания. Так, увеличение или уменьшение размеров деталей соединений (заклепочных, болтовых, подвижных) происходит вследствие микропластического деформирования и процессов изнашивания при трении. Появление недопустимых люфтов связано с изменением геометрической формы контактирующих деталей. Количественная оценка производства стандартным или специальным измерительным инструментом.

Старение неметаллических материалов и покрытий проявляется в виде поверхностной сетки мелких трещин, иногда — выкрашивания, отслоения покрытий, охрупчивания прокладочных материалов, потери цвета и формы отделочных материалов интерьера пассажирских кабин. Обнаруживается визуально-оптическим методом и сравнением с эталонами.

Коррозия может обнаруживаться по скоплению продуктов окисления или по образовавшимся раковинам, точечным углублениям. Глубину повреждений от коррозии оценивают с помощью измерительного инструмента или с использованием неразрушающих методов контроля.

Эрозия — динамическое воздействие скоростного потока жидкости или газа на обтекаемую поверхность. В результате механического воздействия (особенно при наличии абразивных частиц), физико-химических процессов поверхностные слои подвергаются изнашиванию.

Кавитация — разрушение материала каналов, по которым протекает с определенной скоростью жидкость в гидрогазовых системах.

По браковочным признакам. Задача дефектации — не только обнаружить дефект, но и оценить его количественно: определить глубину расположения, площадь, линейные размеры. На каждый дефект технологией ремонта, чертежами или техническими условиями устанавливается *браковочный признак*, т. е. недопустимые размеры повреждения.

Браковочный признак устанавливается для каждого узла, детали или всей конструкции в целом. Перечисленные по внешним

признакам дефекты имеют свои браковочные признаки: допустимую глубину и площадь механических, коррозионных, эрозионных и кавитационных повреждений, допустимые износы отверстий и валов, допустимые размеры трещины. В отдельных случаях, когда невозможно описать браковочный признак, изготавливают эталоны. Например, эталоны на качество и вид отделки интерьеров пассажирских салонов, на состояние покрытий. Один или совокупность дефектов могут привести к полной неисправности детали или узла.

Дефекты по своей значимости разделяются браковочными признаками на три группы: не требующие ремонта, устранимые при ремонте, неустраиваемые. К первой группе относят дефекты, не влияющие на надежность и долговечность конструкции, устранение которых в связи с этим нецелесообразно, например поверхностные потертости, неглубокие риски, незначительные прогибы. Ко второй группе относят дефекты, которые при ремонте можно устранить, например зачисткой, заваркой, правкой, возобновлением гальванического покрытия, подкраской. К третьей группе относят дефекты, которые при ремонте не могут быть устранены. В этом случае ремонт осуществляется частичной или полной заменой.

Описанные внешние причины появления дефектов дают возможность, как указывалось выше, наметить ход мероприятий по их устранению и предотвращению. Однако для правильного определения метода ремонта необходимо понимание физической картины разрушения. Это даст возможность не только оценить значимость дефекта, но и представить характер его развития или влияния на возможное в последующем разрушение.

4.3. УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Физическая картина разрушения. Разрушение металлов при действии переменных или повторных нагрузок называется усталостью металлов. Для таких разрушений требуется значительно меньшая нагрузка, чем для статических. В авиационных конструкциях, когда конструктивные элементы работают в условиях непрерывного воздействия переменных напряжений, усталостные разрушения — весьма распространенное явление. Разрушения от статических нагрузок встречаются крайне редко.

Усталостное разрушение характеризуется тем, что в его зоне практически отсутствуют видимые деформации, предшествующие разрушению. Это — наиболее опасная особенность усталостных разрушений, поскольку отсутствуют явные признаки предстоящей потери работоспособности какого-либо элемента конструкции из-за усталости. Процесс разрушения в этом случае начинается с появления микроскопических трещин, которые, быстро развиваясь, приводят к полному разрушению детали. Усталостные трещины зарождаются в зоне концентрации напряжений или резких структурных изменений материала. Исследованиями установлено, что

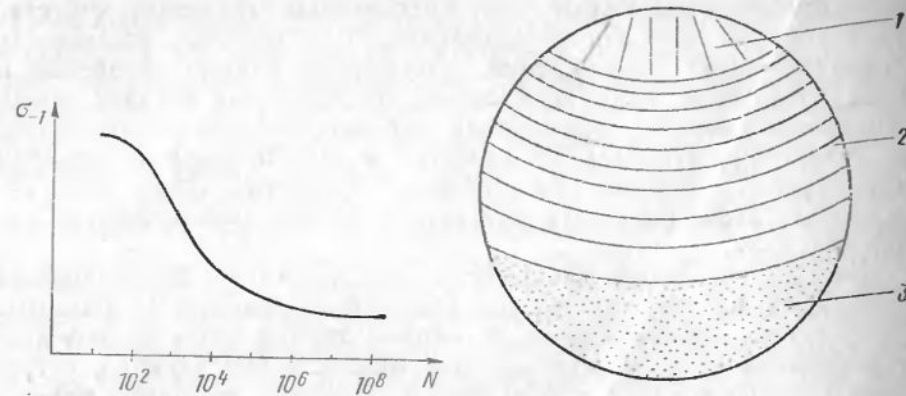


Рис. 4.3. Зависимость предела выносливости от числа циклов нагружения

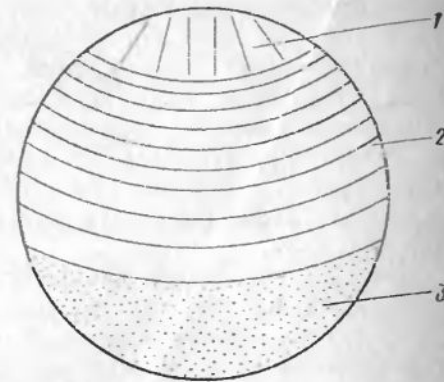


Рис. 4.4. Схема строения усталостного излома

при отсутствии указанных факторов усталостных разрушений не происходит.

Ранее отмечалось, что все основные авиационные конструкции подвергаются усталостным испытаниям, испытаниям на ресурс. Эта работа продолжается в течение всего периода эксплуатации. Несмотря на это, в процессе эксплуатации появляются полные или частичные разрушения деталей вследствие возникновения трещин, предвидеть которые заранее невозможно. Выявление таких разрушений — задача технического диагностирования. Здесь важно подчеркнуть, что появление усталостных разрушений не означает потери работоспособности конструкции, поскольку она обладает свойством живучести, т. е. способностью выполнять рабочие функции при наличии частичных разрушений. Это свойство закладывается конструкторами на стадии проектирования. Поэтому и говорят о безопасном разрушении. Темп развития трещины можно прогнозировать статистическими методами, уменьшив таким образом его влияние на ограничение ресурса. В то же время, если трещина не будет выявлена в начале ее возникновения, развитие усталостного разрушения может привести к перераспределению напряжений, перегрузке соседних конструктивных элементов и к общему снижению несущей способности.

Способность металлов сопротивляться усталостному разрушению оценивается *пределом выносливости* (пределом усталости), который обозначается символом σ_{-1} . Величина σ_{-1} зависит от числа циклов нагружений N , при которых происходит разрушение. На рис. 4.3 приведена типовая кривая усталости. Из этой характеристики очевидно, что с ростом числа циклов нагружений предел усталости падает. Отсюда вытекает прямая зависимость усталостной долговечности от времени эксплуатации, ибо с его ростом растет число циклов нагружений.

Физический смысл механизма разрушения при усталости состоит в том, что в микрообъемах локальные напряжения при цик-

лических нагрузках достигают значений, при которых нарушаются устойчивые межкристаллические и внутрикристаллические связи, образуются полосы скольжения, у различного рода неоднородностей концентрируются микродеформации, которые при достижении критических значений приводят к появлению микротрещин. С течением времени при продолжающемся циклическом нагружении микротрещины перерастают в видимые. Скорость развития трещины у разных металлов с разной кристаллической структурой может быть различной. Однако всегда после накопления поврежденный развитие трещины происходит за достаточно короткий промежуток времени. Изломы деталей после усталостного разрушения имеют характерную структуру (рис. 4.4). Здесь ясно видна зона 1 зарождения трещины. Она может быть покрыта коррозией, если после образования некоторое время находилась в условиях, благоприятных для образования коррозии. Зона 2 — распространение трещины. При полной потере несущей способности она разрушается сразу или после достижения определенных размеров трещины. В этом случае образуется зона 3 — мгновенного разрушения (зона долома).

Факторы, влияющие на предел выносливости. На сопротивление усталости влияют много факторов, среди которых наиболее важными являются: концентрация напряжений, шероховатость поверхности, общее состояние материала поверхности, высокие температуры. Рассмотрим эти факторы.

Концентрацией напряжений и деформаций называют резкое местное изменение поля напряжений и деформаций. Такая концентрация вызывается изменением размеров сечений и форм деталей, резкими перепадами жесткости, условиями внешних воздействий, технологическими факторами. Количественно концентрацию оценивают как отношение напряжений при наличии концентратора и при его отсутствии. Представим себе, что испытываются на разрыв при переменных напряжениях два образца: гладкий и с надрезом (рис. 4.5). В сечении $a-a$ гладкого образца напряжения будут равномерными ($\pm\sigma$) под нагрузкой $\pm P$. В этом же

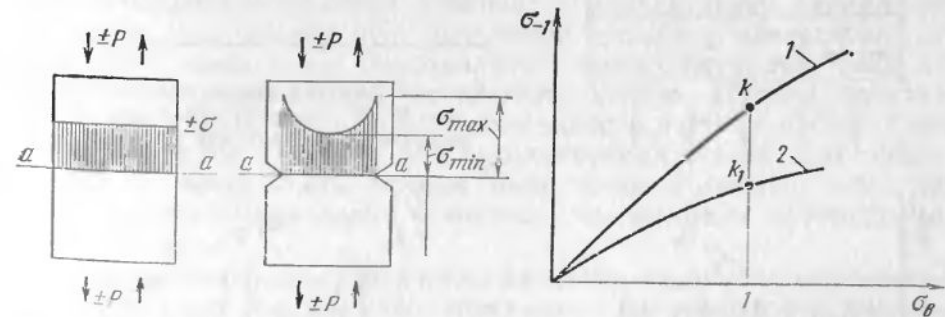


Рис. 4.5. Рост концентрации напряжений у вырезов при циклическом нагружении пластины на растяжение — сжатие

Рис. 4.6. Влияние надреза на изменение предела выносливости

сечении образца с надрезом напряжения будут изменяться от σ_{\max} у надреза до σ_{\min} в середине сечения $a-a$.

Возникновение увеличенных напряжений вызывает снижение сопротивления усталости. На рис. 4.6 представлен обобщенный характер зависимости предела выносливости σ_{-1} от временного сопротивления разрыву σ_b при испытании кованых стальных образцов: гладкого — кривая 1 и с надрезом — кривая 2. Здесь видно, что предел выносливости значительно снижается для образца с надрезом. Если, например, образец изготовлен из материала, имеющего значение σ_b в точке 1, то значение σ_{-1} в точке k (для гладкого образца) будет значительно большим, чем в точке k_1 (для образца с надрезом). Таким образом, поиск усталостной трещины необходимо проводить в местах концентрации напряжений или деформаций.

Рассмотрим на конкретных примерах влияние концентраторов напряжений на возникновение усталостных разрушений. На рис. 4.7 показано распределение напряжений σ у отверстий 1—5 под заклепки однорядного шва при растяжении — сжатии. Здесь видно, что наибольшие напряжения σ_k концентрируются у края отверстий (рис. 4.7, а). Естественно, что в этих местах следует ожидать появления трещины. При ослаблении заклепочных соединений у отверстий 1, 3, 5 (рис. 4.7, б) концентрация напряжений возрастет до значения σ'_k .

Концентрация напряжений зависит от шага отверстий и их размеров. С ростом отношения d/a , т. е. диаметра к шагу, концентрация напряжений падает. Наблюдающееся иногда стремление при ремонте установить заклепки с наименьшим шагом приводит к падению предела выносливости. Поэтому всегда целесообразно выбирать оптимальное соотношение d/a , равное примерно 2,5—3,0. Мы рассмотрели концентрацию напряжений у отверстий под заклепки. Такое же явление будет иметь место у любо-

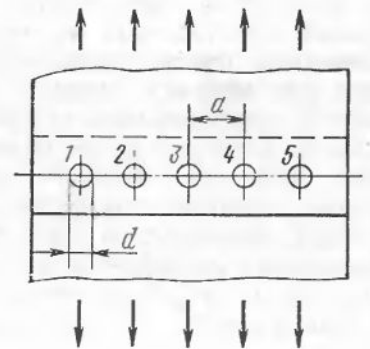
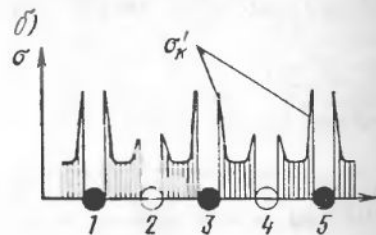
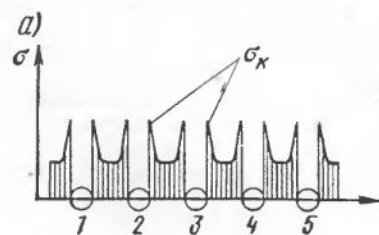


Рис. 4.7. Концентрация напряжений у отверстий под заклепки и его изменение при ослаблении заклепок



го отверстия. В качестве примера можно привести весьма распространенный дефект — трещины у отверстий под масленки, заправочные штуцера и т. п.

Рассмотрим распределение напряжений вдоль зуба шестерни под действием переменной нагрузки P . Из рис. 4.8 видно, что максимальные напряжения σ при нагрузке зуба возникают у его основания. При длительном воздействии циклической нагрузки в этом месте возможно появление трещины. Концентрация напряжений возникает и в других местах, где наблюдается изменение геометрической формы детали. На рис. 4.9 показана концентрация напряжений у галтельного перехода головки в тело болта при ее опоре на поверхность соединяемой детали. При этом концентрация напряжений зависит от размера радиуса галтели r . Чем меньше радиус, тем выше концентрация напряжений, тем ниже предел выносливости. Одновременно следует учитывать, что при наличии в этом месте механических повреждений, технологических дефектов (прижоги, закалочные трещины, риски, забоины и т. п.) предел выносливости резко снижается. Вот почему в таких местах добиваются максимально возможного качества обработки поверхности.

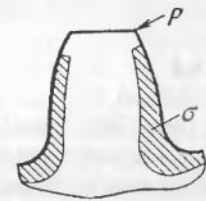


Рис. 4.8. Концентрация напряжений у основания зуба шестерни

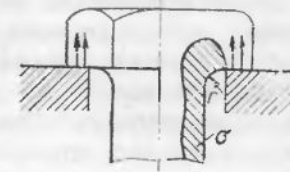


Рис. 4.9. Концентрация напряжений у галтели болта

Шероховатость поверхности детали — один из решающих факторов, определяющих предел выносливости. Шероховатостью называется совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине (ГОСТ 2789—73). Она оказывает значительное влияние не только на сопротивление усталости, но и на различные виды процессов изнашивания.

Суть влияния шероховатости поверхности состоит в том, что резкие изменения рельефа приводят к концентрации напряжений у впадин, что способствует появлению трещин у поверхности детали. Чем ниже класс шероховатости поверхности, тем выше вероятность возникновения усталостных трещин. Причем, чувствительность к качеству обработки поверхности растет с ростом прочности металлов. Поэтому для высокопрочных сталей класс шероховатости поверхности должен быть более высоким, чем для обычных сталей, особенно в местах, где возможна концентрация напряжений.

На сопротивление усталости оказывает влияние *общее состояние материала поверхности*: структурные неоднородности; наличие растягивающих поверхностных напряжений, образовавшихся при обработке (например, после грубого шлифования); обезуглероживание поверхности, коррозионные повреждения и т. п.

Высокие температуры оказывают значительное влияние на сопротивление усталости, особенно для деталей авиационных двигателей и сверхзвуковых самолетов. При воздействии высоких температур важно учитывать свойство металлов, называемое ползучестью. Это свойство состоит в том, что напряжения и деформации, возникающие при нагружении деталей, изменяются во времени, даже если нагрузки остаются постоянными. Например, если стержень нагрузить постоянной нагрузкой, то он будет деформирован на определенную величину. Если эта нагрузка останется постоянной, деформация все равно увеличится, хотя внешние условия нагружения не изменились. Для сталей при незначительном повышении температуры изменения деформаций и напряжений незначительны, и ими обычно пренебрегают. Однако с ростом температуры ($T=300^{\circ}\text{C}$) ползучесть достигает таких размеров, что имеет уже практическое значение и оказывает влияние на долговечность. Причем при длительном воздействии температуры свойства материалов изменяются в сторону охрупчивания (материал становится более хрупким), что делает его более чувствительным к концентраторам напряжений.

Влияние высоких температур сказывается и на работе самолетных конструкций. Это относится прежде всего к конструкциям, которые нагреваются неравномерно. Носовая часть фюзеляжа, передняя кромка крыла нагреваются со значительно большими скоростями, чем другие участки самолета. При неравномерном распределении температур в конструкции возникают термические напряжения, которые могут привести к выпучиванию. Здесь также возможно проявление свойства ползучести. Деформации, возникающие при этом, могут вызвать изменение аэродинамической формы.

Следует учитывать, что основные прочностные характеристики металлов весьма заметно реагируют на изменение температуры. С ее ростом снижаются предел текучести и предел выносливости. Титановые сплавы по сравнению с другими материалами обладают наиболее высокими характеристиками при изменении температуры. Это их свойство используется при конструировании самолетных агрегатов, подвергающихся нагреванию в процессе эксплуатации.

Пути увеличения предела выносливости. Различные мероприятия, направленные на улучшение условий смазки, понижение коэффициента трения, повышение износостойкости контактирующих поверхностей, дают возможность повысить предел выносливости. Наиболее эффективны для повышения предела выносливости мероприятия, связанные с уменьшением концентрации напряжений, повышением прочности поверхности деталей, работающих при знакопеременных нагрузках. Увеличение радиусов галтелей, обеспечение постепенного перепада жесткостей, уменьшение местных удельных давлений и другие мероприятия конструктивного характера могут быть успешно применены при ремонте авиационной техники.

Среди технологических мероприятий наиболее эффективно упрочнение поверхности с помощью пластического деформирования, при котором в поверхностных слоях создаются сжимающие напряжения. Выше отмечалось, что разрушение происходит вследствие разрыва межмолекулярных и других связей. Этому разрыву препятствуют сжимающие напряжения. Кроме того, при пластическом деформировании происходит уплотнение материала, что снижает влияние на усталостную прочность мелких неплотностей, микротрещин и других дефектов.

4.4. ИЗНАШИВАНИЕ КОНТАКТИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Физическая картина процесса изнашивания. Ресурс ответственных узлов авиационных конструкций зачастую ограничивается вследствие преждевременного изнашивания контактирующих деталей. Повышенный износ изменяет режим работы соединений, приводит к перераспределению нагрузок. При достижении критических значений износы могут привести к разрушению деталей, задиранию, заклиниванию в соединениях. На преодоление сил трения расходуются значительные мощности.

Износы возникают в процессе контактирования поверхностей различного рода конструктивных элементов в неподвижных болтовых, винтовых, шпоночных, шлицевых соединениях, в подвижных узлах с подшипниками скольжения и качения. Происходящие при этом процессы связаны с изменениями в поверхностных слоях контактирующих друг с другом деталей. Рассмотрим физическую картину этих явлений.

Известно, что абсолютно гладких тел в природе не существует. Как бы хорошо ни обрабатывалась поверхность детали, она имеет отклонения от заданной геометрической формы и определенную шероховатость. Значения шероховатости и отклонения формы в соответствии с требованиями чертежей и технических условий устанавливаются для каждой детали. Поэтому при контакте двух твердых тел поверхности соприкасаются не по номинальной площади, а по фактической. Это утверждение проиллюстрировано на рис. 4.10. Выделим из двух контактирующих поверхностей твердых тел прямоугольные площадки 2 и 3. Следствие волнистости кон-

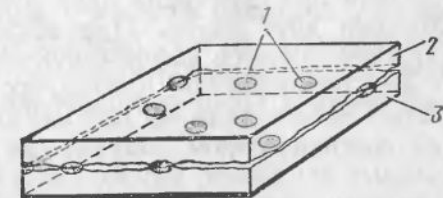


Рис. 4.10. Площадки фактического контакта

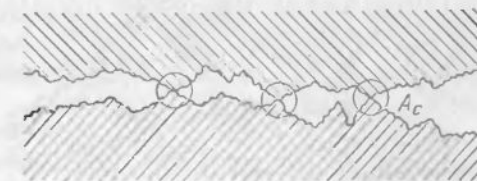


Рис. 4.11. Пятна фактического контакта по вершинам волн

такт будет происходить у вершин волн по определенному размеру пятнам I . Примерная картина такого контакта изображена на рис. 4.11, где обведены кругами пятна A_c , по которым происходит контактирование. Однако пятна характеризуют лишь частично явления, происходящие при контактировании твердых тел. Здесь показана волнистость и контакт у вершин волн. Заметим, что значительная часть поверхностей не соприкасается друг с другом.

Поверхности пятен контакта не являются абсолютно гладкими. На поверхностях деталей образуются микронеровности при обработке абразивным или металлическим инструментом. На величину и форму микронеровностей влияет много различных факторов: профиль и траектория движения режущего лезвия (стального или абразивного) инструмента, микронеровности на поверхности самого инструмента, трение по задней грани инструмента, его вибрация и др. Таким образом, в каждом пятне контактируют характерные для данной поверхности выступы и впадины, образуя фактическую площадь контакта. На рис. 4.12 видно, что фактическая площадь контакта по всей поверхности составит сумму площадок A_r . Сумма же площадок A_c составит контурную площадь контакта. Номинальная площадь контакта обозначается A_n и определяется общими размерами контактирующих площадок I и 2 (см. рис. 4.10).

При действии нагрузок на площади пятен контактов отдельные микровыступы деформируются, образуется площадь пятен фактических контактов, которые имеют диаметр от 3 до 50 мкм. Общая площадь фактического контакта составляет не более 0,01—0,1% номинальной площади.

Рассмотрение картины контактирования поверхностей двух твердых тел дает возможность представить себе явления, происходящие при смещении двух контактирующих поверхностей относительно друг друга. При взаимном перемещении тел выступы микронеровностей деформируются (упруго или пластически), часть из них разрушается, пленки, их покрывающие, также могут разрушаться, обнажая чистый металл (ювенильный). Таким образом, при одновременном разрушении пленок образуется контакт ювенильных металлов, приводящий к поверхностному молекулярному атомному взаимодействию. Разрушенные окисные пленки часто имеют твердость выше основного металла, и происходит микро-

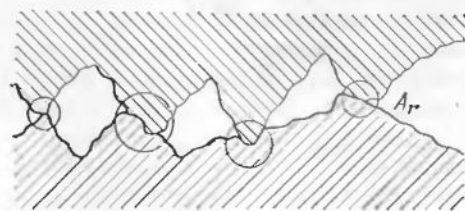


Рис. 4.12. Площадки фактического контакта по микронеровностям

резание. Это же явление имеет место, когда между поверхностями проникают абразивные частицы. В процессе контактирования принимают участие разрушившиеся частицы поверхностных слоев. При многократном действии нагрузок на отдельных микроучастках могут иметь место усталостные

микровыкрашивания. Естественно, что при взаимодействии могут изменяться температурные режимы, что также скажется на процессе взаимодействия контактирующих поверхностей. Здесь описана часть явлений, происходящих при относительном перемещении двух поверхностей. Очевидно, что при этом происходит разрушение поверхностных слоев. Сопротивление этому разрушению порождает возникновение в зонах контакта сил трения.

Разрушение поверхностных слоев трущихся тел приводит к уменьшению их размеров в направлении, перпендикулярном к поверхности трения. Процессы разрушения поверхностных слоев при трении называются изнашиванием, изменения размеров при этом — износами. Свойство материалов сопротивляться изнашиванию называется *износостойкостью*. Общими факторами, определяющими интенсивность процессов изнашивания, являются действующие внешние силы (их характер и значение), свойства контактирующих поверхностей, внешние условия эксплуатации и режим работы детали (например, температура, скорость, смазка, окружающая среда).

При постоянных условиях трения имеют место три стадии процесса изнашивания (рис. 4.13): *I* — приработка, *II* — период установившегося режима, *III* — катастрофический износ. Обычно ресурс дается до наступления *III* периода. В процессе приработки интенсивно разрушаются наиболее слабые неровности, образуется шероховатость, характерная для данных условий трения. При этом площадь фактического контакта увеличивается, удельное давление на микроучастках уменьшается и наступает период установившегося процесса изнашивания. Далее происходит процесс накопления повреждений, с последующим отделением частиц. Катастрофический износ наступает при таком изменении размеров, когда резко меняется режим работы в области контакта и приводит к потере работоспособности соединения. Износы определяются с помощью визуально-оптических, ультразвуковых и других методов неразрушающего контроля и непосредственными измерениями.

Виды изнашивания. ГОСТ 23.002—78 определяет следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое, абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, усталостное, эрозионное, кавитационное, изнашивание при заедании, окислительное, фреттинг-коррозия.

При механическом изнашивании происходит механическое воздействие на отдельных участках контактирующих поверхностей: пластическое деформиро-

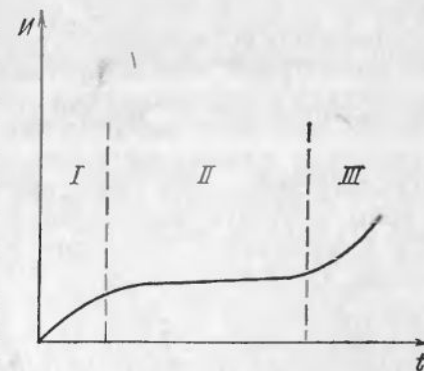


Рис. 4.13. Характер изменения износа $И$ от времени t

ние, царапание и т. п. При *молекулярно-механическом изнашивании* происходит одновременное воздействие механических, а также молекулярных или атомарных сил. *Коррозионно-механическое изнашивание* вызывается одновременным действием механических сил и химическим взаимодействием с окружающей средой. *Абразивное изнашивание* вызывается механическим (царапание, резание) воздействием абразивных частиц. То же происходит при *гидроабразивном* и *газоабразивном изнашивании*, если абразивные частицы увлекаются потоком жидкости или газа. *Усталостное изнашивание* поверхности трения происходит при многократном деформировании микрообъемов в зоне контакта, что приводит к появлению усталостных трещин и выкрашиванию частиц.

Коррозионное, эрозийное и кавитационное изнашивание описано ниже. *Изнашивание при заедании* происходит вследствие *схватывания*, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность. Схватывание происходит в том случае, когда усилия на микроплощадках фактического контакта вызывают напряжения, превышающие предел текучести металла. При этом разрушаются поверхностные пленки, обнажаются микроучастки ювенильных металлов и при их тесном сближении возникает междуатомное притяжение, появляются металлические связи, аналогичные междуатомным связям в сплошном металле,— происходит схватывание металлов. При дальнейшем взаимном перемещении контактирующих поверхностей образовавшиеся металлические связи разрушаются. При этом на одной поверхности частицы вырываются и часть из них налипает на другую поверхность, а часть является продуктами изнашивания.

Окислительное изнашивание связано с образованием на поверхностях трения окислительных пленок, появляющихся в результате взаимодействия контактирующих металлов с кислородом и их последующим разрушением.

Фреттинг-коррозия — процесс коррозионно-механического изнашивания сопряженных деталей при колебательном относительном движении контактирующих поверхностей. Такое движение может быть вызвано возвратно-поступательным перемещением с небольшой амплитудой контактирующих поверхностей, вибрациями, периодическими деформациями деталей соединений. Процесс изнашивания при фреттинг-коррозии отличается от изнашивания при движении в одном направлении каждой трущейся поверхности. Поскольку амплитуды смещений малы, удаление продуктов износа из зоны контакта затруднено и они принимают участие в процессе изнашивания. Особенно это важно учитывать при наличии твердых окисных продуктов. Например, окись алюминия Al_2O_3 тверже основного металла в 4,5 раза и при ее наличии происходит абразивное изнашивание, что усугубляет повреждение. Скорость относительного перемещения трущихся поверхностей сравнительно мала. Например, при частоте колебаний 30 Гц и амплитуде 0,025 мм средняя скорость относительного перемещения состав-

ляет 3 мм/с. Такая малая скорость в сочетании с малой амплитудой перемещений вызывает глубокие повреждения на микроучастках, что резко ухудшает состояние поверхности, приводит к появлению каверн, микротрещин. Усталостная прочность деталей, подверженных фреттинг-коррозии, существенно снижается. Фреттинг-коррозия может развиваться в болтовых, заклепочных, шпачных, шлицевых соединениях, при различных прессовых посадках на вращающихся валах, в местах посадки лопаток турбин и компрессоров.

Во всех случаях описанные виды процессов изнашивания в реальных конструкциях действуют не изолированно, а в различных сочетаниях. Поэтому описать причину износа с помощью одного вида часто бывает невозможно. Всегда действует главный, преобладающий или, как говорят, — *ведущий процесс изнашивания*. Например, в стыковых, беззазорных соединениях каркаса самолетов и вертолетов износы появляются вследствие механических процессов изнашивания. Сопутствующие процессы изнашивания: схватывание, окислительный процесс. В агрессивных средах ведущим может быть окислительное изнашивание. Это положение имеет принципиальное значение для разработки мероприятий по борьбе с изнашиванием.

Пути снижения темпа изнашивания. Для снижения скорости изнашивания применяются различные методы. Прежде всего подбирают пару трения так, чтобы усилия трения были минимальными. Обычно подбирают материалы с достаточно высокими *антифрикционными свойствами*, т. е. способностью сопротивляться изнашиванию при трении. К антифрикционным относятся:

металлические и неметаллические материалы, мягкие сплавы на оловянной и свинцовой основе (баббиты), бронзы, алюминиевые сплавы (например, алюминий-никелевые), графитизированные сплавы на железной основе, сплавы, изготавливаемые методом порошковой металлургии;

материалы на основе полимеров (полиамиды, фторопласты, пентапласты и др.);

ленточные (слоистые) материалы, например металлофторопласты (на стальной основе спекается бронзовый порошок и пропитывается составом, содержащим фторопласт и дисульфид молибдена);

углеграфитные материалы (например, графитофторопласты);

металлокерамические материалы (например, железографит).

В нашей стране и за рубежом ведутся интенсивные поиски новых антифрикционных материалов, способных выдержать большие нагрузки и при этом обеспечить минимальные затраты энергии на преодоление сил трения и незначительные износы.

Для снижения темпа процесса изнашивания применяют смазки, которые принимают участие в процессах, происходящих при трении. Смазки могут быть жидкими или твердыми. *Жидкие смазки* предотвращают непосредственный контакт сопряженных

поверхностей. Даже тонкий слой смазывающего вещества препятствует молекулярному взаимодействию металлов. При наличии слоя смазки нагрузки передаются через него, что обеспечивает равномерность распределения напряжений в поверхностном слое. Смазки участвуют в пластификации поверхностного слоя. Это явление открыто советским ученым П. А. Ребиндером и носит название «эффект Ребиндера». При этом за счет взаимодействия смазки с поверхностными слоями трущейся пары они становятся более пластичными, что понижает усилия трения. Смазка значительно уменьшает износ, а иногда может и совсем их предотвратить. Смазки подбирают для каждой пары трения с учетом условий нагружения, режимов работы и свойств пар трения. В качестве жидких смазок применяют моторные масла (маркировка предусмотрена ГОСТ 17479—72*), пластичные смазки и др. Моторные масла подразделяют на семь классов сезонных и четыре класса внесезонных масел. Отнесение к какому-либо классу зависит от вязкости и ее изменения от температуры. Известно, например, что ряд смазок загустевает при низких температурах, что ухудшает их смазывающую способность. Пластичные (консистентные) смазки состоят из двух компонентов: жидкой основы и загустителя. В такие смазки часто добавляют различные присадки: графит, дисульфид молибдена и др. (например, ЦИАТИМ-201, ЦИАТИМ-203, смазки типа ВНИИ НП).

Твердые смазки либо участвуют в поверхностных химических процессах, благотворно влияющих на уменьшение износов, либо создают прослойку и, обладая слоистой структурой, обеспечивают легкое скольжение одного слоя относительно другого. Твердые смазки обеспечивают стойкость против заедания и схватывания. Хорошими антифрикционными свойствами обладают графит, дисульфид молибдена, нитрид бора. Твердые смазки часто служат добавками в консистентные смазки, чем улучшают их смазочные качества.

Все более широкое применение находят антифрикционные *самосмазывающиеся материалы*. Принцип их структуры состоит в том, что на поверхности таких материалов всегда существует пленка из материала, обладающего антифрикционными свойствами. Например, в металлокерамические порошковые материалы добавляют графит или дисульфид молибдена. При трении эти материалы всегда находятся на поверхности.

Советскими учеными было открыто новое явление — *избирательный перенос*. Суть его заключается в том, что на поверхность трения наносят тонкий слой пленки, микрочастицы которой в процессе работы переходят с одной поверхности трения на другую, что практически обеспечивает неизнашиваемость узла трения. Пленкообразующие материалы (например, бронза, медь) вызывают избирательный перенос только в узлах трения. С этой целью применяется фрикционное латунирование, бронзирование или меднение и другие покрытия.

Для повышения износостойкости пар трения применяют ряд технологических методов обработки поверхности. Поскольку износостойкость в значительной степени зависит от шероховатости поверхности, волнистости, от микротвердости поверхностного слоя, применяют различные способы повышения класса шероховатости поверхности и ее упрочнения. Класс шероховатости поверхности можно повысить подбором режима резания и соответствующего инструмента. Замер шероховатости производится с помощью профилографов, профилометров и других приборов, а также сравнением с эталонами.

Для увеличения микротвердости поверхности ее обрабатывают способами пластического деформирования: алмазным выглаживанием, обкатыванием, дорнированием, вибронакатыванием. Применяют также поверхностную закалку, нанесение различных покрытий.

Из описания процессов изнашивания контактирующих поверхностей очевидно, что при ремонте должно уделяться самое пристальное внимание качеству поверхностей пар трения, правильному выбору материалов пары трения (например, при выборе вида покрытия для восстановления размеров, при замене материалов контактирующих деталей), удалению посторонних частиц в узлах трения, применению установленных чертежом видов смазки и сроков ее замены, соблюдению заданных геометрических размеров сочленений, чистоте и соблюдению формы каналов подачи смазки. В процессе технического диагностирования определение ведущего вида процесса изнашивания позволит применить эффективный метод защиты. Например, во многих соединениях применение фрикционного латунирования полностью устраняет схватывание.

4.5. КОРРОЗИЯ

Условия возникновения коррозии. Коррозия — это процесс разрушения металлов вследствие химического, электрохимического или биохимического взаимодействия их с окружающей средой.

В самолетных конструкциях применяются стали, сплавы алюминия, магния, титана, меди, а также пластмассы, резина, герметики, древесина, ткани, теплозвукоизоляционные и некоторые другие материалы, контактирующие друг с другом и разнородными жидкостями и газообразными средами в различных узлах и агрегатах самолетов, вертолетов и авиадвигателей. Такое сложное сочетание применяемых материалов требует большого числа мероприятий по их защите от коррозии.

Быстрому развитию коррозии способствуют сложные условия эксплуатации авиационной техники: резкая смена температур в течение короткого периода времени, пребывание в различных климатических зонах.

Во время стоянки самолета или вертолета на земле на конструкцию воздействуют солнечная радиация, температура, влаж-

ность. В отдельных случаях обшивка может нагреваться до температуры $+70^{\circ}\text{C}$. После возвращения из высотного полета в теплое время года на всей поверхности обшивки и внутри конструкции (особенно в негерметичных отсеках) конденсируется влага, обильно осаждающаяся на нижних панелях топливных кессонов-баков и в других отсеках. На нижних поверхностях обшивки и в закрытых объемах (например, под зализами) влага задерживается значительно дольше, чем на верхних поверхностях, где она сравнительно быстро испаряется под воздействием солнечной радиации и ветра.

В условиях высокой влажности (чему может способствовать наличие в конструкции гигроскопических материалов) вследствие загрязнения воздуха дымовыми газами, солями, различными химикатами в пленках влаги растворяются перечисленные вещества. В результате повышается электропроводность электролитов, образующихся на поверхности, а также в микро- и макрополостях, что способствует развитию коррозионных процессов. В связи с этим в приморских районах и загрязненных промышленных районах коррозия возникает и развивается наиболее интенсивно.

Влажные тропические климатические зоны, кроме того, отличаются наличием различных микроорганизмов. Некоторые материалы служат питательной средой для них (древесина, казеиновые клеи, хлопчатобумажные ткани и др.). Выделяющиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов спирты, кислоты и другие вещества способны вызывать коррозию металлов и повреждать лакокрасочные материалы. Отдельные виды грибков живут и размножаются в топливе, что вызывает его загрязнение и коррозию кессонов-баков.

Вибрации, знакопеременные нагрузки, резкие перегрузки при посадке существенно влияют на физико-механические свойства любого вида покрытий.

Значительное влияние на коррозию авиационных конструкций оказывают агрессивные среды: ядохимикаты (жидкие и сыпучие), различные моющие составы. Агрессивные жидкости могут проникать в конструкцию в районе туалетных помещений, багажных отделений и грузовых отсеков (при перевозке коррозионно-агрессивных веществ).

Перечисленные особенности эксплуатации авиационных конструкций могут вызывать коррозионные повреждения, снижающие надежность и долговечность.

Атмосферная коррозия. В авиационных конструкциях чаще встречается *электрохимическая коррозия*. *Атмосферная коррозия* металлов — наиболее распространенный вид электрохимической коррозии, протекающей во влажном воздухе при обычной температуре. Коррозионная среда во многих случаях представляет собой слой влаги, в которой растворены кислород и двуокись углерода, а в промышленной атмосфере еще и двуокись серы, окислы азота, сероводород и др. Толщина этого слоя колеблется от нескольких десятков ангстрем до нескольких микрометров в зави-

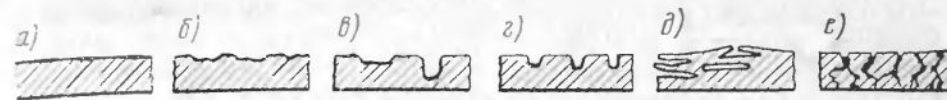


Рис. 4.14. Виды коррозионных повреждений

симости от условий образования. При толщине слоя более 1 мм условия коррозии идентичны условиям при полном погружении металла в электролит. Скорость коррозии возрастает при наличии в атмосфере частичек пыли, способствующих конденсации влаги.

Электрохимическая коррозия металлов возникает на границе раздела фаз металл — электролит. Этот вид коррозии не зависит от типа электролита, будь то сверхчистая вода или раствор соли. Коррозию может вызвать даже слой влаги толщиной в десятые доли микрометра. Здесь важно только возникновение разности потенциалов. Непосредственный контакт влаги с металлом образуется при растрескивании защитной пленки, наличии микропор в ней, при механических повреждениях покрытий, при наличии трещин в основном металле. В большинстве случаев алюминиевые сплавы для защиты от коррозии анодируют. При этом защитная пленка оказывается пористой, что требует ее дополнительной защиты.

Типы коррозионных повреждений. Рассмотрим основные типы коррозионных повреждений по характеру разрушения металла. На рис. 4.14 представлены схемы коррозионных повреждений: а) — поверхностное равномерное, б) — поверхностное неравномерное, в) — пятна и язвы, г) — точечное, д) — расслаивающая коррозия, е) — межкристаллитная (интеркристаллитная) и транскристаллитная коррозия.

Наиболее опасными видами коррозии являются межкристаллитная (развивающаяся по границам зерен) и расслаивающая, так как при дефектации не выходящие на поверхность повреждения могут быть не замечены. Кроме того, поверхностная коррозия может сочетаться с подповерхностной или расслаивающей. При всех видах коррозия должна быть полностью удалена, причем глубина удаленного слоя металла должна перекрыть повреждения. Предпочтительнее детали с межкристаллитной и расслаивающей коррозией заменять полностью или участками. Допуски на глубину повреждений и зачистки устанавливаются для каждой конкретной детали с учетом изменения прочностных характеристик. Толщина оставшегося после зачистки слоя металла может быть определена непосредственным измерением с помощью мерительного инструмента или одним из видов неразрушающего контроля (например, ультразвуковым методом).

Важно учитывать, что контакт двух разнородных металлов, способных создать разность электрических потенциалов, при недостаточной защите образует интенсивную гальваническую пару. На рис. 4.15 показано разрушение детали из магниевых сплавов при контакте со стальным болтом. Здесь видно, как в детали 3, изго-

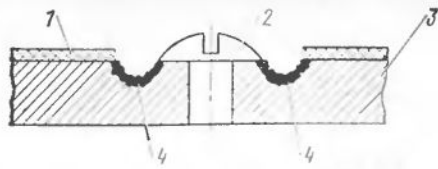


Рис. 4.15. Коррозия детали из магниевого сплава в месте контакта со стальным болтом

ре металлы с более электроотрицательным потенциалом разрушаются от коррозии. Например, недопустимы контакты хромоникелевых, титановых сплавов с алюминиевыми и магниевыми. Для предотвращения непосредственного контакта детали защищают соответствующими покрытиями.

Для элементов авиационных конструкций характерны случаи одновременного воздействия коррозионной среды и высоких знакопеременных напряжений. В этом случае может развиваться коррозия под напряжением, следствием которой является возникновение межкристаллитной коррозии.

Защита от коррозии. Применяют различные способы защиты металлов от коррозии: покрытия металлические, неметаллические неорганические, лакокрасочные. Описание этих процессов дано в гл. 6.

При дефектации следует обращать внимание на участки с поврежденным покрытием, где коррозия может возникнуть в первую очередь. В этом отношении наиболее опасны щели, зазоры, где скапливается влага и при повреждении покрытия чаще всего возникают очаги коррозии. На рис. 4.16 показано возникновение коррозии 4 на участке, где имело место микроперемещение обшивки 1 и стрингера 3, приведшее к разрушению лакокрасочного покрытия 2.

Как правило, различные металлы и сплавы корродируют на воздухе за довольно короткий промежуток времени. Например, на поверхности алюминия и его сплавов образуется окисная пленка в течение 10^{-4} с. В связи с этим сразу же после обработки, связанной с повреждением покрытия (зачистки, сверления и т. п.), необходимо оголенный участок покрыть соответствующим грунтом, эмалью. При ремонте для предотвращения проникновения влаги в щели, зазоры в конструкциях каркаса применяют чаще всего герметики.

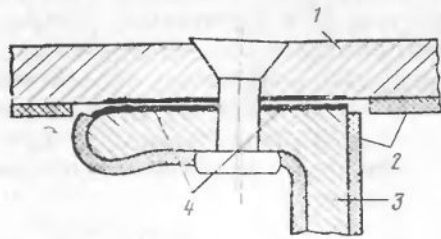


Рис. 4.16. Развитие коррозии при контакте двух конструктивных элементов планера

товленной из магниевого сплава, при контакте со стальным винтом 2 образовалось коррозионное повреждение 4 при нарушении целостности покрытия 1.

Из приведенного примера следует, что необходимо подбирать контактирующие металлы так, чтобы не создавалась гальваническая пара. В гальванической паре

металлы с более электроотрицательным потенциалом разрушаются от коррозии. Например, недопустимы контакты хромоникелевых, титановых сплавов с алюминиевыми и магниевыми. Для предотвращения непосредственного контакта детали защищают соответствующими покрытиями.

Для элементов авиационных конструкций характерны случаи одновременного воздействия коррозионной среды и высоких знакопеременных напряжений. В этом случае может развиваться коррозия под напряжением, следствием которой является возникновение межкристаллитной коррозии.

Защита от коррозии. Применяют различные способы защиты металлов от коррозии: покрытия металлические, неметаллические неорганические, лакокрасочные. Описание этих процессов дано в гл. 6.

При дефектации следует обращать внимание на участки с поврежденным покрытием, где коррозия может возникнуть в первую очередь. В этом отношении наиболее опасны щели, зазоры, где скапливается влага и при повреждении покрытия чаще всего возникают очаги коррозии. На рис. 4.16 показано возникновение коррозии 4 на участке, где имело место микроперемещение обшивки 1 и стрингера 3, приведшее к разрушению лакокрасочного покрытия 2.

Как правило, различные металлы и сплавы корродируют на воздухе за довольно короткий промежуток времени. Например, на поверхности алюминия и его сплавов образуется окисная пленка в течение 10^{-4} с. В связи с этим сразу же после обработки, связанной с повреждением покрытия (зачистки, сверления и т. п.), необходимо оголенный участок покрыть соответствующим грунтом, эмалью. При ремонте для предотвращения проникновения влаги в щели, зазоры в конструкциях каркаса применяют чаще всего герметики.

Обычно покрытия при ремонте наносят в соответствии с указаниями чертежа на конкретную деталь. Однако могут встретиться случаи, когда в процессе ремонта

появляются новые детали, в конструкции не предусмотренные. В этом случае покрытие выбирают из условия работы деталей. Установлены соответствующие группы по условиям эксплуатации металлических и неметаллических неорганических покрытий.

При ремонте и техническом диагностировании самолетных конструкций следует иметь в виду, что продукты коррозии в виде окислов могут скапливаться под слоем лакокрасочных покрытий или между контактирующими деталями. Рост объема окислов может быть таким, что нарушается соединение. Скопление продуктов коррозии может привести к вспучиванию пленки лакокрасочного покрытия. При обнаружении вспучивания пленка удаляется и определяется наличие под ней коррозионных повреждений.

4.6. ЭРОЗИЯ И КАВИТАЦИОННЫЕ РАЗРУШЕНИЯ

Эрозия — это унос массы того или иного вещества в виде отдельных частиц или целых слоев вследствие ударного воздействия потоков жидкости и газа, содержащих инородные включения.

Поведение материала под действием удара твердых частиц зависит от физических свойств поверхности обтекаемого объекта (преграды) и частиц. В месте соударения возникает локальное повреждение, приводящее при многократном воздействии к микро-, а затем и макроразрушению.

Исследования показали, что эрозия происходит не с постоянной скоростью. В первый период (рис. 4.17, участок I), называемый инкубационным, заметных потерь массы нет. Наиболее интенсивно эрозия развивается во второй период (участок II). С течением времени t скорость эрозии убывает, стремится к некоторому постоянному значению и унос массы ΔM происходит менее интенсивно (участок III). Эрозия возрастает, если обтекаемая поверхность имеет значительную шероховатость. Гладкие, полированные поверхности имеют более высокую степень сопротивляемости эрозионному разрушению.

Конструкционные неметаллические материалы значительно менее устойчивы к воздействию эрозии, чем конструкционные металлы. Поэтому избегают прямых ударов струй воды о поверхность остекления кабин, располагая перед ними рассекатели. Кромки лопастей воздушных винтов из неметаллических материалов за-

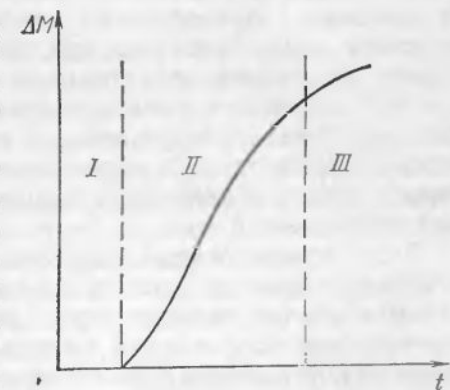


Рис. 4.17. Скорость эрозии (унос массы) в зависимости от времени

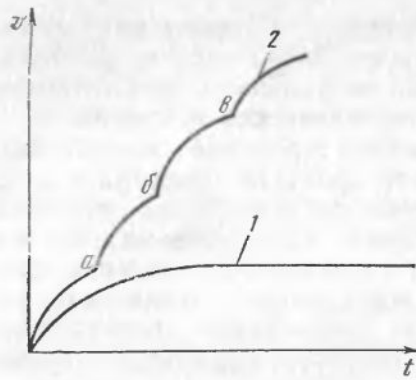


Рис. 4.18. Изменение скорости окисления в зависимости от времени

ковый удар. В результате такого удара в окружающей жидкости распространяется ударная волна, импульс давления, достигающий 10^3 МПа. Если это явление происходит вблизи обтекаемой поверхности, материал подвергается местному выкрашиванию, внешне похожему на осповидный износ. Кавитация может возникнуть не только в потоке быстротекущей жидкости, но и при наличии сильной завихренности во внутренних объемах жидкости. При определенных условиях интенсивные звуковые колебания также могут вызвать кавитацию.

При определенных амплитудах и частотах образуются кавитационные пузырьки.

Поскольку при кавитации уносится часть массы обтекаемой поверхности, часто говорят о *кавитационной эрозии*. Эрозионные и кавитационные повреждения способствуют развитию процессов коррозии, разрушая ранее имевшиеся и вновь образующиеся пленки окислов. Чтобы представить характер влияния эрозии и кавитации на развитие коррозионных процессов, рассмотрим рис. 4.18. Кривая 1 показывает скорость окисления v в зависимости от времени t при обычных условиях. Кривая 2 показывает рост скорости окисления при неоднократных разрушениях окисной пленки вследствие кавитации в точках *a*, *б*, *в*. Таким образом, при эрозионных и кавитационных повреждениях образующаяся окисная пленка разрушается и процесс окисления снова продолжается. Предупредить кавитационные разрушения можно, изменив режим потока жидкости, что достигается с помощью конструктивных мероприятий.

Если поверхностные повреждения при эрозии приводят к развитию процессов коррозии, то кавитационные повреждения могут снизить предел выносливости сразу же после возникновения. Задача дефектации в этом случае — представить достоверный статистический материал для разработки конструктивных мероприятий по уменьшению опасности возникновения кавитации.

щищают металлическими накладками. Для защиты от эрозии применяют металлические или пластмассовые покрытия, амортизирующие динамические удары твердых частиц в потоке жидкости.

Кавитация — процесс образования и исчезновения пузырьков в жидкости вследствие местного изменения давления. Если давление жидкости в потоке падает ниже давления насыщенных паров, в ней образуются пузырьки. При достижении области с более высоким давлением пузырьки захлопываются, вызывая местный пиковый удар.

Факторы, влияющие на разрушение. На долговечность лакокрасочных покрытий оказывают влияние технологические факторы (подготовка поверхности, условия сушки и т. п.), качество материала покрытий, условия эксплуатации.

Особенностью авиационных конструкций является довольно длительное их пребывание на значительном удалении от земли, что приводит к более сильному воздействию солнечной радиации, способствующей процессу светового старения лакокрасочного покрытия.

При подъеме на высоту возрастает перепад температур. До высоты 11 000 м понижение температуры на каждые 1000 м достигает $6,5^\circ\text{C}$. При этом на высоте 6000—7000 м температура окружающего воздуха понижается чаще всего ниже -40°C . Перепад температур способствует разрушению покрытий. Значительное влияние на защитные свойства покрытий оказывают отрицательные температуры. При длительном воздействии холода (-50°C) пленки теряют эластичность, делаются хрупкими.

Обшивкa сверхзвуковых самолетов на скоростях полета около 2000 км/ч нагревается до 130°C . Некоторые детали реактивного двигателя нагреваются до 400°C . При таких температурах пленка теряет массу и снижает свои защитные свойства.

На поверхности летящего аппарата образуется электрический потенциал, который может изменяться в зависимости от электрических процессов, протекающих в нижних слоях атмосферы. Выпадение осадков способствует возникновению разности потенциалов на отдельных участках конструкции, что ускоряет разрушение покрытий.

В воздухе во взвешенном состоянии могут находиться абразивные частицы (пыль, песок), град, способствующие изнашиванию покрытий (эрозии), особенно на лобовых кромках крыла, стабилизатора, лопастей воздушных винтов, лопастей вертолетов, обтекателей антенн, лопаток воздушного компрессора реактивного двигателя и других поверхностях. Концентрация влаги на окрашенной поверхности, особенно задержка ее на длительное время, приводят к понижению защитных свойств покрытий.

Виды дефектов. Под влиянием перечисленных факторов происходят изнашивание, разрушение, изменение цвета, потеря защитных свойств лакокрасочных покрытий. Характер их разрушения классифицируется по видам дефектов: меление, выветривание, растрескивание, отслаивание, пузыри, сыпь, коррозия.

Меление — разрушение поверхностного и пигментированного слоя. Под действием солнечной радиации, кислорода, озона постепенно изменяется структура полимера, происходит фотоокислительная деструкция. В результате этого пленка теряет прочность и под действием потока воздуха изнашивается поверхностный слой. Затем незащищенные пленкой частицы пигмента вымы-

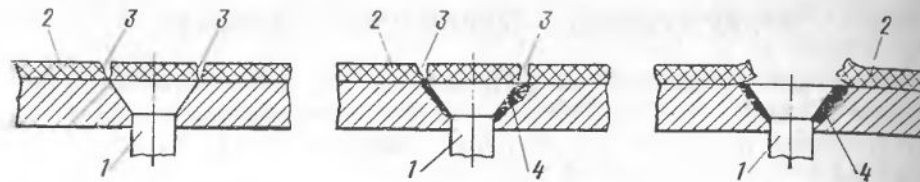


Рис. 4.19. Растрескивание покрытия у головок заклепок

ваются дождем, уносятся потоком воздуха, происходит уменьшение толщины и разрушение покрытия.

Выветривание — это процесс эрозионного разрушения покрытия, при котором набегающим потоком воздуха уносятся частицы лакокрасочного покрытия. При интенсивном выветривании защищаемая поверхность может быть полностью оголена.

Растрескивание лакокрасочного покрытия происходит вследствие старения (изменения свойств покрытия под действием окружающей среды), под действием температурных факторов, при неоднократных деформациях окрашенной поверхности. При этом пленка теряет механическую прочность и эластичность. Под действием сил внутренних напряжений в пленке возникают трещины или шелушение. Под влиянием деформаций окрашенного элемента конструкции также может происходить растрескивание покрытия. На рис. 4.19 изображен ход разрушения защитной пленки 2 вокруг головки заклепки 1. Разрушение начинается с образования трещин 3, сквозь которые проникает влага и образуется коррозия 4, после чего происходит шелушение.

Отслаивание происходит вследствие нарушения адгезии (сцепления) между слоями покрытия или между покрытием и окрашенной поверхностью. Отслаивание является следствием технологического брака: плохой подготовки поверхности, нарушения режима сушки, применения некачественных материалов и т. п.

Сыпь и пузыри образуются главным образом под воздействием влаги, которая проникает в тело пленки через капилляры (образовавшиеся при испарении растворителя), поры, микрозазоры. Вследствие поглощения молекул воды пленка набухает, происходит в отдельных местах деформация покрытия с образованием пузырей, сыпи. Потеря прочности пленки из-за деформации ведет к нарушению адгезии и дальнейшему разрушению покрытия.

Коррозия — это появление продуктов коррозии на поверхности покрытия в виде бурых или темно-коричневых точек, пятен, а также вспучивание покрытия в результате скопления продуктов коррозии под защитной пленкой. Образование коррозии под лакокрасочной пленкой может быть вызвано неудовлетворительной подготовкой поверхности или недостаточными защитными свойствами покрытия.

Покрытия могут разрушаться вследствие растворения или размягчения под воздействием агрессивных жидкостей — бензина, минеральных и синтетических масел, ядохимикатов. Стойкость

покрытия к действию агрессивных веществ зависит от вида лакокрасочных материалов, которые входят в систему покрытия.

Лакокрасочные пленки могут повреждаться в процессе эксплуатации вследствие небрежного обращения (риски, царапины, забоины) или контактирования в конструкции (потертости).

Разрушение лакокрасочных покрытий лишает металл защиты от коррозии, ухудшает внешний вид деталей, поэтому их восстановление при ремонте имеет весьма важное значение.

4.8. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЕФЕКТОВ

Жесткостью называется способность тела или конструкции сопротивляться образованию деформаций. Жесткость характеризует геометрические и физические качества поперечного сечения элемента конструкции. Величина деформации (удлинение, прогиб, угол закручивания) обратно пропорциональна жесткости. В том месте конструкции, где жесткость резко изменяет свое значение, образуется перепад жесткости. Чем больше жесткость, тем меньше деформация. Отсюда перепад жесткости приводит к скачкообразному изменению деформаций. Рассмотрим это положение на конкретном примере.

Пусть мы имеем тонкостенную деталь 1, соединенную с пресованным уголком 2 (рис. 4.20). При действии изгибающего момента $M_{изг}$ соединяемые детали прогнутся. Причем, справа от сечения $a-a$ деформации будут меньше, так как здесь жесткость больше. Таким образом, деталь 1 деформируется неравномерно и в сечении $a-a$ получается резкий перегиб, который может привести к появлению остаточной деформации или даже трещины. Для уменьшения вероятности появления дефекта в первую очередь уменьшают перепад жесткости, делая переход более плавным. В конкретном примере на рис. 4.20 можно удалить заштрихованную часть уголка 2.

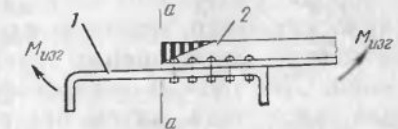


Рис. 4.20. Место соединения двух конструктивных элементов планера, вызывающее перепад жесткости

В приведенном примере перепад жесткости образовался вследствие скачкообразного изменения площади поперечного сечения и момента инерции. Перепад жесткости возникает также в тех случаях, когда соединяются детали из разнородных материалов, с большой разницей в значениях модуля упругости. Например, соединение стальной накладки с деталью из алюминиевого сплава

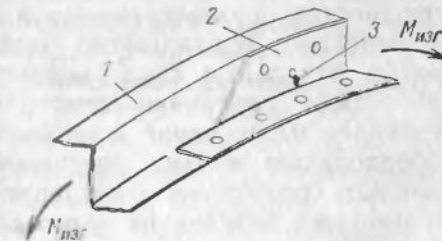


Рис. 4.21. Стальная накладка, вызывающая перепад жесткости

вызовет перепад жесткости даже при геометрическом сглаживании поперечных сечений. На рис. 4.21 приведен пример такого соединения. Гнутая деталь 1 в связи с появлением трещины 3 усилена стальной накладкой 2. Можно заметить, что по площадям поперечного сечения переход выполнен постепенно, резкого перепада нет. Однако поскольку накладка 2 изготовлена из стали и имеет большую жесткость под действием изгибающего момента $M_{изг}$, деформация участка детали 1 без усиления будет значительно больше, чем у участка с усилением. Таким образом, появляется вероятность возникновения трещины на границе усиления, вероятность перегрузки первой заклепки. В связи с этим при ремонте избегают применять усиления деталей из алюминиевых и магниевых сплавов с помощью стальных накладок. Важно учитывать, что перепад жесткости может сочетаться с концентрацией напряжений. При дефектации следует обращать внимание на места, где образовался перепад жесткости.

4.9. СТАРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В конструкциях самолетов и вертолетов применяется большое число неметаллических материалов: резины, органическое стекло, пластмассы, фрикционные материалы, ткани, лакокрасочные материалы, декоративные материалы, древесина. Основой многих неметаллических материалов являются естественные и искусственные полимерные вещества (каучуки, смолы и др.).

Старение полимеров. Оно представляет собой такое необратимое изменение свойств, которое происходит под действием тепла, кислорода, солнечного света, ионизирующих излучений, озона, механических напряжений и др. В процессе старения происходят химические превращения макромолекул, приводящие к их деструкции. *Деструкция* — разрушение макромолекул под действием тепла, кислорода, влаги, света, радиации, механических напряжений. Вследствие старения ухудшаются механические характеристики полимеров, появляются трещины на поверхности, разрастающиеся с течением времени.

Рассмотрим старение полимеров на некоторых примерах. Органическое стекло (полиметилметакрилат) обладает малой теплопроводностью и одновременно с этим значительным коэффициентом линейного термического расширения. При резкой смене температур отдельные слои вследствие малой теплопроводности приобретают различную температуру. Это вызывает появление внутренних напряжений в органическом стекле и может привести к образованию мелких поверхностных трещин, которые обычно называют «серебром». Внутренние напряжения могут возникнуть при монтаже деталей из оргстекла вследствие неравномерной затяжки. Под действием этих напряжений может произойти деструкция, которая с течением времени приведет к появлению трещин.

Деструкция макромолекул некоторых каучуков в среде воздуха происходит вследствие окисления, что также с течением времени приводит к появлению поверхностных трещин. Во многих гидрогазовых системах воздух заменяют азотом, поскольку основные уплотнения изготавливаются из резин. Старение резин может происходить от действия солнечного света, вызывающего ухудшение ее физико-механических свойств. Вследствие этого хранение изделий из резины на открытом воздухе, с доступом солнечного света приводит к преждевременному их выходу из строя.

Старение полимеров, входящих в лакокрасочные покрытия, имеет такую же природу.

Изнашивание резин и неметаллических материалов. Резина широко применяется в подвижных и неподвижных соединениях различных систем в качестве уплотнителей (манжеты, кольца, прокладки) и мембран. В подвижных соединениях резиновые детали изнашиваются вследствие контактирования с металлическими поверхностями. Из-за значительного различия механических свойств трущихся материалов решающее влияние на трение и изнашивание резин оказывает шероховатость металлической поверхности. Здесь следует учесть, что очень гладкие металлические поверхности ($R_a=0,04\div 0,16$ мкм) не способны удерживать смазку в зоне контакта с уплотняющим элементом, а это увеличивает износ. Грубо обработанные поверхности ($R_a=2,50\div 1,25$) удерживают смазку, но большие микронеровности деформируют поверхностный слой резины, что также увеличивает износ. Максимальная долговечность манжетных уплотнений достигается при параметре шероховатости поверхности металла $R_a=0,16\div 0,63$.

При трении резин по твердым поверхностям наибольшее значение имеет усталостный износ, так как в процессе внешнего трения происходит многократное деформирование резины в отдельных пятнах фактического контакта, которое приводит к разрушению и последующему отделению материала.

Значительное влияние на изнашивание резин оказывает температура. Температурный режим работы уплотнений определяется температурой уплотняемой среды и количеством тепла, выделяющегося при трении. Температура трения может при определенных режимах работы уплотнений превышать температуру уплотняемой среды на $80\text{—}100^\circ\text{C}$. При значительном износе и повышенной температуре наблюдаются термоокислительные процессы, приводящие к деструкции полимера. Износы резин увеличиваются при их деформации. Рассмотрим это положение на примере работы уплотнительных резиновых колец. На рис. 4.22, а видно, что кольцо установлено с обжатием, ибо в противном случае не произошло уплотнения. Диаметр резинового кольца 2, установленного для уплотнения зазора между поршнем 3 и цилиндром 1, больше, чем размер с. В процессе работы (рис. 4.22, б) давлением P кольцо может быть вытеснено в зазор, при этом резина дополнительно деформируется. Эти деформации увеличивают скорость изнашивания. Очень важно в связи с этим правильно подбирать

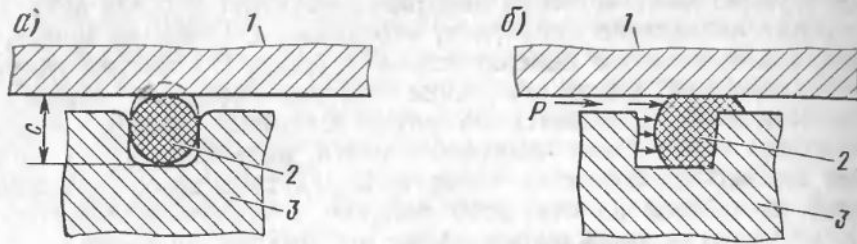


Рис. 4.22. Деформация резинового кольца в процессе работы

размеры колец в соответствии с размерами установочных мест, избегая излишней деформации.

Резиновые протекторы шин шасси интенсивно изнашиваются в период эксплуатации и хранения. Вся шина подвергается деформации при рулении. Поверхностный слой протектора шины испытывает влияние температуры при трении о поверхность взлетно-посадочной и рулежной полос. В результате происходит окисление поверхностного слоя, что приводит к росту интенсивности изнашивания. Износ протекторов имеет преимущественно усталостный характер вследствие многократного деформирования при контактировании с поверхностью покрытия полос. Однако здесь имеет место также абразивный износ, поскольку на поверхности всегда имеются твердые частицы.

Износы неметаллических фрикционных материалов, например в тормозных устройствах, связаны с их функционированием в рабочем состоянии. Фрикционно-износные их характеристики рассчитываются при проектировании, что дает возможность установить их ресурс на стадии проектирования.

Остальные неметаллические материалы в большинстве случаев изнашиваются вследствие механических напряжений, воздействия внешней среды, особенно температуры. Декоративные материалы загрязняются, вытягиваются, теряют форму и их заменяют.

4.10. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ

Дефекты заклепочных соединений. Заклепочные соединения — весьма распространенный вид неподвижного соединения в самолетных конструкциях, и их надежность играет существенную роль в обеспечении безотказности всей конструкции. Техническое диагностирование заклепочных соединений осуществляется в большинстве случаев с помощью опико-визуальных, радиографических, вихрековых методов и течисканием. С помощью опико-визуальных методов определяется наличие механических повреждений, значительных ослаблений соединений. Первый признак начинающегося ослабления заклепочного соединения — появление следов вытекания продуктов изнашивания из-под головок заклепок. Эти признаки изнашивания появляются обычно на тонких обшивках в результате многократного взаимного перемещения соединяемого листа относительно головки заклепки. Однако не всегда этот признак является браковочным. Степень ослабления соединения каждой заклепки может быть оценена прибором, построенным на принципе измерения расхода воздуха.

В герметичных отсеках плотность заклепочных соединений проверяется при общих испытаниях герметичности гермокабин и кессонов-баков крыла. Однако не всегда целесообразно делать такую проверку при определении качества выполнения клепажных работ на небольшом участке. В этих случаях делают местный контроль плотности соединения с применением способов течискания, например с помощью вакуума и пенообразующих пленок. Пенообразующие пленки создаются только на основе нейтрального мыла, поскольку остальные сорта могут вызвать коррозионные повреждения. На рис. 4.23 дана принципиальная схема устройства для местной проверки герметичности заклепочного шва. Прозрачный колпак 2, изготовленный из оргстекла, накладывается на контролируемый участок шва, через штуцер 4 выкачивается воздух и колпак прижимается наружным давлением воздуха. Герметичность по контуру колпака создается резиновыми уплотнителями 1. Через прозрачный колпак ведется наблюдение за поведением пенообразующей пленки 5. Ее вздутие и пузырение свидетельствуют о наличии негерметичности. Утечка воздуха может сразу не проявиться. В этих случаях уровень вакуума отмечают по прибору (вакуумметру) 3 и дают выдержку. Время выдержки устанавливается для каждого типа шва технологией ремонта.

В отдельных случаях, когда износ в заклепочном соединении значителен, обнаруживается от нажатия рукой перемещение обшивки или другого конструктивного элемента относительно головки заклепки. В сомнительных случаях, когда дефектовщик не может объективно оценить плотность посадки заклепки, применяется рентгенография. На пленке отчетливо будет виден стержень заклепки, можно определить его форму и полноту заполнения отверстия.

Многократные нагружения элементов, входящих в пакет, соединяемый заклепками, могут вызвать появление трещин у отверстий. В местах, оговоренных технологией ремонта или бюллетенями промышленности, наличие трещин проверяют приборами вихрекового контроля с применением накладных датчиков. Для точного определения длины трещины, даже если она визуально хорошо просматривается, область у ее окончания проверяется прибором, так как невидимая глазом микротрещина может привести к ее дальнейшему распространению.

Дефекты элементов конструкции планера. Конструктивные элементы планера самолетов и вертолетов воспринимают различные нагрузки, которые могут вызывать деформацию изгиба, кручения, растяжения — сжатия, среза. Кроме того, что нагрузки знакопеременные, их действие может сопровождаться вибрацией, акустическими колебаниями. Конкретные условия работы диагностируемого элемента зависят от его назначения и места расположения в конструкции. При дефектации состояние каждого элемента определяется из условий его нагружения. Эти условия становятся известными при изучении конструкции по описаниям, чертежам и расчетным документам (например, сборнику укрупненных расчетов на прочность). Отсюда получают информацию об усилиях и деформациях, на которые рассчитана данная деталь. Расчеты эти в течение периода эксплуатации уточняются, дополняются по результатам испытаний, анализа статистических данных эксплуатации и ремонта. Знания условий эксплуатации конструкции позволяют целенаправленно вести поиск дефекта. Например, если известно, что деталь работает на изгиб, поиск дефекта целесообразно сосредоточить в растянутой зоне и особенно в местах концентрации напряжений этой зоны. Если известно, что деталь работает на срез, целесообразно сосредоточить поиск дефекта в районе плоскости среза.

При выполнении маршрута дефектации сосредотачивают внимание на силовых элементах каркаса, передающих значительные нагрузки: несущей обшивке, силовых шпангоутах, стыковых гребенках и фитингах, силовых нервюрах, лонжеронах, силовых балках, узлах навески. Термин «силовые» принят для элемен-

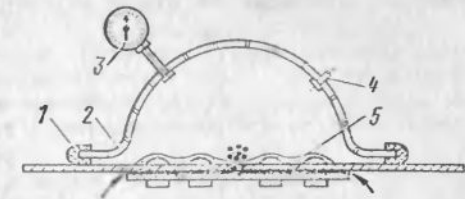


Рис. 4.23. Приспособление для местной проверки герметичности в заклепочном соединении

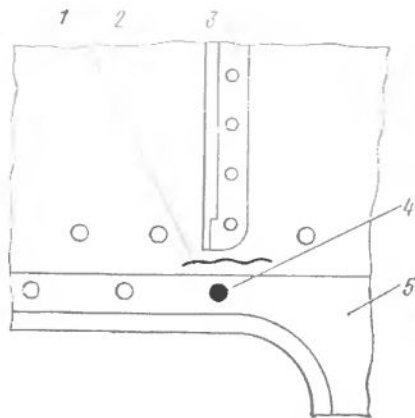


Рис. 4.24. Расположение трещины в области перепада жесткости

пада жесткости, что и явилось причиной появления трещины и обрыва головки заклепки.

Трещины могут образоваться также в местах недопустимых механических повреждений — глубоких рисков, забойн, пробойн, резких вмятин. Эти зоны также тщательно диагностируют. Во всех случаях для предупреждения возможного пропуска трещин применяют чаще всего вихретоковый контроль. При этом датчик перемещают так, чтобы траектория его движения пересекла линию возможного развития трещины.

Остаточные деформации чаще всего обнаруживают на тонких листовых элементах (обшивке, стенках нервюр и лонжеронов), реже — на жестких элементах (стрингерах, шпангоутах, полках лонжеронов и бадок, фитингах). Причиной появления остаточных деформаций могут явиться нарушения условий эксплуатации: грубая посадка, выходящие из допустимых перегрузки в полете (полет в турбулентной атмосфере, резкий набор высоты после снижения и др.). При объемной дефектации в этих случаях проводятся наружный осмотр и инвентаризация. Однако даже если реперные точки не отклонились от заданного положения, деформации могут иметь место. Для каждого типа самолета и вертолета характерны определенного вида деформации в этих случаях. Например, для самолетов с задним расположением двигателей и верхним расположением стабилизатора — это деформации обшивки фюзеляжа перед передним силовым шпангоутом навески двигателей. В некоторых случаях могут деформироваться конструктивные элементы в районе узлов навески шасси.

Остаточные деформации могут возникнуть и по другим причинам: из-за местной потери устойчивости, нарушения условий монтажа, перегрева и т. п. Пластические деформации такого типа видны невооруженным глазом. Это — вспучивания, гофры, «хлопуны». Вспучивания, гофры — устойчивая остаточная деформация, которую легко определить с помощью линейки или контурного шаблона. Браковочные признаки для таких дефектов либо оговаривают в технологии ремонта, либо в каждом конкретном случае определяют исходя из условий, размера и места расположения. Для определения таких браковочных признаков чаще всего привлекают разработчиков конструкции.

«Хлопун» — наименование такого вспучивания обшивки, стенки, диафрагмы, т. е. тонколистовой детали, которое при нажатии рукой «хлопает», прогибается. После такого прогиба лист может упруго возвратиться в первоначальное положение, а может и зафиксироваться в прогнутом состоянии. Первый случай однозначно свидетельствует о потере устойчивости и требует ремонта. Во втором случае замеряют глубину прогиба, оценивают значимость детали и принимают решение о необходимости ремонта. Например, если такая деформация возникла на разделяющей перегородке или диафрагме этажерки оборудования, ее ремонт

тов, образующих технологические разъемы каркаса, воспринимающих сосредоточенные нагрузки от силовых установок, шасси, хвостового оперения, рулей и элеронов, закрылков. Сюда относятся также герметичные шпангоуты и нервюры.

Наиболее распространенными дефектами элементов каркаса являются трещины, остаточная деформация, коррозия, механические повреждения. Трещины возникают в местах с наибольшей концентрацией напряжений, с резкими перепадами жесткости. На рис. 4.24 показана трещина 1, возникшая в стенке 2, и обрыв головки заклепки 4. Заметим, что трещина образовалась между уголком 3 и жесткой окантовкой 5. Уголок 3 прикреплен к стенке 2, работающей на изгиб. Участок стенки между уголком и окантовкой находится в области перепада жесткости, что и явилось причиной появления трещины и обрыва головки заклепки.

может оказаться нецелесообразным. «Хлопун» такого же характера на стенке нервюры требует обязательного ремонта.

Остаточные деформации при перегреве конструкции (при полете со сверхзвуковой скоростью, при загорании, обдуве горячими газами) требуют изучения причин их образования и определения возможной потери прочности из-за значительного повышения температуры. Потеря прочности может быть оценена неразрушающими методами контроля.

Коррозия возникает чаще всего в местах скопления влаги, в закрытых объемах (под затянками, в кессоне, под полом пассажирской кабины и т. п.), на деталях с разрушенным лакокрасочным покрытием, особенно на обдуваемых наружных поверхностях, вследствие эрозии покрытий. Коррозию обнаруживают визуально, размеры повреждений определяют с помощью толщиномеров и других измерительных инструментов, а также с применением неразрушающих методов контроля (например, ультразвуковых толщиномеров). Коррозия может развиваться под слоем лакокрасочного покрытия, что приводит к его вздутию без разрушения защитной пленки. При обнаружении таких участков покрытие удаляют и определяют характер и размеры коррозионного повреждения.

Механические повреждения любого вида обнаруживают оптиковизуальными методами и количественно оценивают с помощью измерений. Здесь важно иметь в виду, что механические повреждения в зонах концентрации напряжений, резких перепадов жесткости, особенно в узлах, подвергающихся знакопеременным нагрузкам, могут резко снизить надежность и долговечность поврежденной детали.

Дефекты резьбовых соединений. Резьбовые соединения, широко применяющиеся в конструкциях самолетов, вертолетов и авиадвигателей, можно диагностировать в собранном виде или по деталям, если технология ремонта предусматривалась соответствующая разборка. В собранном резьбовом соединении проверяют наличие трещин, механических повреждений (смятие граней под ключ, забойны и пр.), целостность контровки (контровочной проволоки или шплинтов), усилие затяжки, плотность посадки в пакете, правильность установки, наличие повреждений соединяемых элементов.

Трещины в резьбовых соединениях не допускаются. Любая трещина с течением времени может привести к разрушению конструктивного элемента. Что касается соединяемых деталей, например элементов каркаса, то здесь может быть применено усиление.

Крепежные изделия с трещинами подлежат замене во всех случаях. Трещины болта при усталостных разрушениях располагаются, как правило, в местах, указанных стрелками на рис. 4.25. В переходе от тела к головке болта образуется концентрация напряжений. То же происходит у перехода цилиндрической части болта к резьбе и у первого рабочего витка. На рис. 4.26 показан характер возникающих напряжений по впадинам резьбы. В резьбовом соединении нагрузка на витки резьбы, увеличивается от верхних витков к нижним. При этом наибольшие напряжения σ_{max} действуют во впадине под первым рабочим витком, где и обнаруживаются чаще всего трещины.

Размеры механических повреждений оговариваются нормативно-технической документацией, смятие граней под ключ или шлицев под отвертку должно быть таким, чтобы сохранилась возможность применения стандартного инструмента. Нарушение стопорения (изломы, провисание проволоки и т. п.) не допускается, и контровка восстанавливается полностью.

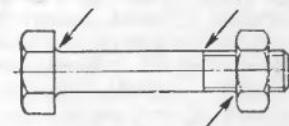


Рис. 4.25. Возможные места возникновения усталостных трещин в теле болта

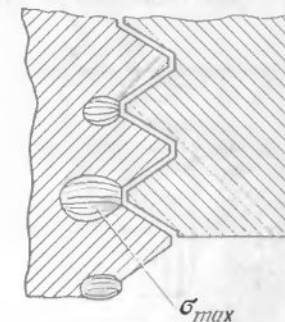


Рис. 4.26. Концентрация напряжений во впадине резьбы болта под первым витком гайки

Плотность посадки в пакете проверяется тарированными ключами. При ослаблении резьбового соединения, когда уменьшилась затяжка или в соединении появились недопустимые зазоры, темп процесса изнашивания увеличивается. Для проверки усилия затяжки применяют тарированные ключи, если затяжка серого нормирована, или нормализованные ключи, если чертежами не предусмотрено тарировка. При ослаблении соединения гайка или болт провернутся. Если это обнаружится в соединении, где применена неподвижная посадка, его разбирают, выясняют причину ослабления. Нередки случаи, когда при такой проверке обнаруживается разрушение болта или шпильки. Внешне такой дефект незаметен, если они плотно установлены в пакете, и только приложение крутящего момента к головке болта или гайке может выявить разрушение.

Правильность установки крепежных изделий проверяется по двум параметрам: плотности стяжки пакета и перекосу относительно прилегающей поверхности. В том и другом случаях применяются наборы щупов. Зазоры между головкой болта (гайкой) и соединяемой поверхностью для различных соединений оговариваются технологией ремонта. В ответственных соединениях силовых элементов (стыки крыла, навески двигателя и т. п.) зазоры не допускаются, соединение разбирается и устраняется дефект. В некоторых резьбовых соединениях допускаются перекосы в установке отдельных элементов, что оговаривается техническими условиями.

Детали резьбовых соединений, которые разбираются, диагностируют. При этом контролируют резьбу, размеры, оценивают механические повреждения, методами неразрушающего контроля проверяют отсутствие трещин (чаще магнитно-порошковым методом), контролируют плотность посадки шпилек (например, ультразвуковым импедансным методом), оценивают повреждения антикоррозионного покрытия.

Резьбу проверяют резьбомерами, калибрами (проходным и непроходным), осматривают с использованием оптических устройств (микроскопов, луп), может быть применен также теневой способ. Наиболее распространены дефекты резьбы: механические повреждения для ответственных соединений чаще всего допускают в начале резьбы (1—2 витки). Для остальных крепежных деталей браковочный признак может быть более широким, его оговаривают в технологии ремонта. Потянута резьба (увеличение шага витков) свидетельствует о наличии остаточной деформации. Остаточные деформации болтов, винтов, шпилек (например, изгиб) не допускаются. При этом важно подчеркнуть, что правка силовых болтов, изготовленных из высокопрочных сталей, очень чувствительных к ударным нагрузкам, может привести к появлению трещин. Наиболее опасными могут оказаться мелкие трещины, иногда внутренние, обнаружить которые бывает трудно. В этих случаях деталь бракуют. Обнаруживается потянута тенью способом, при проверке калибрами, реже — резьбомерами (недостаточно объективный способ).

При дефектации корончатых гаек контролируют стопорящий момент. Такие проверки оговаривают специальной инструкцией, описывающей браковочные признаки для гаек в определенном конструктивном исполнении.

Перечень деталей резьбовых соединений, подлежащих дефектации методами неразрушающего контроля, оговаривают в технологии ремонта, имеющей соответствующую технологическую карту, в которой описываются режим и зона контроля.

Дефектацию соединяемых деталей осуществляют с применением визуально-оптических методов, с помощью измерений и методов неразрушающего контроля. При этом оценивают износы, наличие трещин. Может возникнуть необходимость проверить наличие трещин в пакете. На рис. 4.27 показано размещение датчика 2 и траектория его движения 1 (по винтовой линии) при контроле внутренних поверхностей отверстия под болт.

Для деталей резьбовых соединений, работающих в особо тяжелых условиях (высокие температуры,

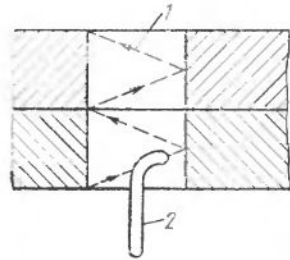


Рис. 4.27. Траектория движения вихретокового датчика при контроле внутренней поверхности отверстия

значительный уровень вибрации, большие знакопеременные нагрузки), специально составляются карты дефектации, куда могут вноситься проверки качества структуры материала неразрушающими методами контроля.

Нарушенные антикоррозионные покрытия съемных деталей должны полностью восстанавливаться. Несъемные детали при нарушении защитных покрытий дополнительно окрашивают.

Дефекты трубопроводов и арматуры. Трубопроводы и арматуру самолетных конструкций диагностируют после промывки с применением визуально-оптических, рентгеновских, капиллярных методов неразрушающего контроля, а также с помощью течеисследования. Основные виды дефектов трубопроводов и арматуры: трещины (поперечные и продольные); нарушения геометрии размеров (остаточная деформация); коррозия труб и деталей арматуры; механические повреждения, включая повреждения резьбы; повреждения деталей уплотнений; повреждения гибких рукавов; повреждения сварных и паяных соединений; нарушения технических условий на изготовление соединительных элементов труб; нарушение целостности покрытий.

Трещины на трубопроводах и арматуре обнаруживаются методами визуально-оптическим или капиллярной дефектоскопии. С помощью рентгенографии обнаруживают нарушения сплошности (трещины, несплошности, несплошности) в неразъемных соединениях (паяных или сварных). При этом ведется целенаправленный поиск дефектов в местах резких перепадов жесткости, резких перегибов и у концентраторов напряжений.

Визуально-оптическим методом с помощью измерений оценивают механические коррозионные повреждения, остаточные деформации (гофры, овализацию). На рис. 4.28 дана схема измерения толщины развальцованной части трубы 3 с помощью индикаторной головки 1, закрепленной в скобе 2. По шаблону проверяют угол развальцовки под ниппельное соединение (74 или 66°). На присоединительных поверхностях ниппельных соединений никаких повреждений не допускается, так как любое из них является концентратором напряжений и снизит предел выносливости или нарушит герметичность. Для осмотра внутренней полости трубопроводов диаметром выше 4 мм используют гибкие эндоскопы. Применяют также жесткие эндоскопы (цитоскопы, бронхоскопы). Размеры механических, коррозионных повреждений оговариваются технологией ремонта. Чем большую нагрузку испытывает трубопровод, тем жестче браковочный признак. Резьбу деталей арматуры (накидных гаек, штуцеров, переходников) проверяют резьбовыми калибрами. В некоторых случаях для повышения качества дефектации трубопроводов их проверяют на герметичность и прочность методами течеисследования. Порядок испытаний тот же, что и после ремонта.

При дефектации неразъемных соединений (сварных или паяных), особенно напорных трубопроводов, проверка герметичности и прочности выполняется обязательно, так как любая несплошность с течением времени может привести к разрушению трубопровода. Применение рентгенографии не всегда дает надежный результат для трубопроводов сложной формы.

Гибкие рукава из неметаллических материалов чаще всего изготавливают из армированных многослойных материалов на каучуковой основе. В процессе эксплуатации они расслаиваются, покрываются сеткой мелких трещин. Назначенный ресурс их устанавливается в календарном сроке или по налету часов. По маркировке на рукаве определяют необходимость их замены.

Браковочным признаком для покрытий является растрескивание, отслоение, потертости. В этих случаях покрытие полностью или частично возобновляется.

Выше описаны особенности дефектации съемных трубопроводов. Те же подходы верны и для дефектации несъемных трубопроводов. При этом наличие остаточных деформаций и других значительных по-

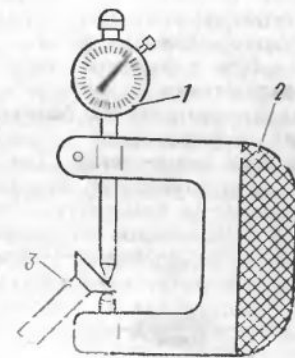


Рис. 4.28. Контроль толщины стенки развальцованной части трубопровода

вреждений является достаточным условием для демонтажа трубопроводов и контроля с применением объективных методов оценки их технического состояния. При дефектации несъемных трубопроводов следует иметь в виду, что участки, не доступные для прямого осмотра, особенно в местах возможного соприкосновения с рядом расположенными элементами конструкции, могут иметь недопустимые повреждения. Осмотр таких участков производят с помощью зеркал и гибких эндоскопов.

Важное значение имеет качество отбортовки трубопроводов. Даже незначительное ослабление отбортовочного хомута, перемещение трубопровода в зажимной колодке могут привести к появлению потертостей, недопустимой вибрации, что снижает надежность и долговечность системы, в которой трубопровод установлен.

Перечень снимаемых трубопроводов систематически уточняется по результатам обработки диагностической информации. Для определения технического состояния неснимаемых трубопроводов при достижении определенной наработки часть из них на определенном числе самолетов или вертолетов снимают и исследуют состояние их внутренней поверхности. При обнаружении в трубопроводах какой-либо системы коррозии, значительных загрязнений, перечень снимаемых трубопроводов уточняется.

Дефекты подшипников. Подшипники — весьма распространенный узел в авиационных конструкциях. От их надежности и долговечности зависит безотказная работа многих подвижных сочленений. Дефектация подшипников разделяется на две части: входной контроль вновь устанавливаемых подшипников (1-й категории) и дефектация работавших (2-й категории).

Входной контроль на авиаремонтном производстве является обязательным, так как при хранении и транспортировке могут возникнуть коррозионные и механические повреждения (риски, забоины). Подшипники могут оказаться загрязненными, что недопустимо, поскольку наличие посторонних частиц приводит к преждевременному изнашиванию деталей подшипника. На каждую партию поставляемых подшипников имеется сопроводительная документация, в которой указывается марка и срок изготовления. Проверка документации обязательна при входном контроле. Условия упаковки, хранения и поставки подшипников оговариваются в единых технических условиях ЕТУ-100.

Дефектацию работавших подшипников осуществляют только после промывки от смазки и загрязнений. Стальные детали контролируют методами магнитной дефектоскопии, детали из цветных сплавов — методами капиллярной дефектоскопии, закрытые подшипники контролируют с помощью рентгенографии для проверки целостности шариков, сепараторов. После окончания магнитной дефектоскопии подшипники должны быть полностью размагничены, ибо в противном случае они притянут к себе посторонние частицы, что ухудшит условия их работы и приведет к преждевременному изнашиванию. Кроме того, остаточное магнитное поле окажет вредное влияние на работу приборов и радиоаппаратуры самолета или вертолета.

При дефектации могут быть обнаружены трещины, коррозия, механические повреждения, недопустимые износы. Трещины не допускаются, и при их обнаружении подшипники бракуют. Размеры коррозионных и механических повреждений оговариваются в технологии ремонта и зависят от назначения и условий работы подшипника. Для подшипников, подвергающихся большим нагрузкам, эксплуатирующихся при высоких частотах вращения, при воздействии больших температур браковочные признаки устанавливают минимальными. Износы деталей подшипников возникают в результате контактирования работающих поверхностей, их оценивают с помощью непосредственных измерений. На поверхностях деталей могут обнаруживаться задиры, усталостные выкрашивания. Сепараторы и скрепляющие их заклепки могут разрушаться и деформироваться. Подшипники по конструктивному выполнению бывают разборными и неразборными. Их диагностируют либо по деталям, либо в собранном виде. Однако как в том, так и в другом случаях проверяются радиальные и осевые биения и зазоры подшипников всех типов.

В ГОСТ 520—71 и в ГОСТ 3635—78 предусматриваются схемы проверки биений подшипников. Рассмотрим для примера схемы проверки осевых и радиальных биений — основных параметров для оценки качества собранных под-

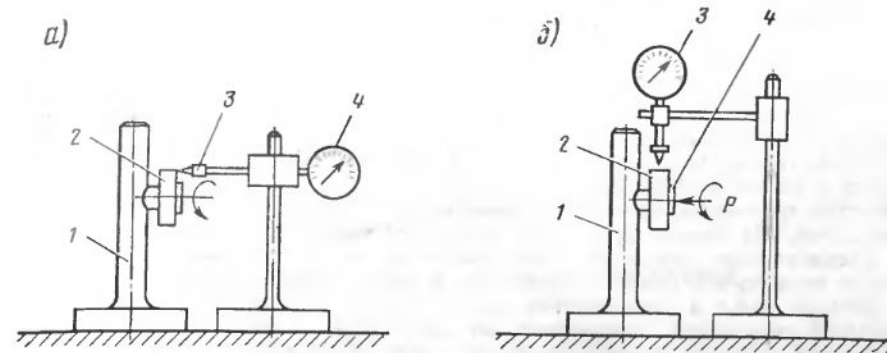


Рис. 4.29. Схемы проверки биения подшипников качения

шипников качения. На рис. 4.29, а показана схема проверки осевого биения подшипников качения. Здесь на оси стойки 1 стрижбиной 4 приводится во вращение внутренняя обойма подшипника 2 и с помощью индикатора 3 измеряется осевое биение. Измерение радиального биения (рис. 4.29, б) производится под нагрузкой P в двух положениях: при закреплении внутренней обоймы и внешней обоймы. Биение измеряется с помощью индикаторной головки. Усилие P по ГОСТ 520—71 регламентируется в зависимости от внутреннего диаметра и типа подшипника качения. Конкретная конструкция устройства для измерения биений может отличаться по исполнению, но схема измерения должна соответствовать требованиям ГОСТ 520—71. Все измерения биений выполняются при вращении обойм не менее чем на 3 оборота. Промышленно выпускаются приборы для вибродиагностирования подшипников, широко применяющиеся в массовом производстве.

Схемы измерений для шарнирных подшипников отличаются от схем для подшипников качения. Здесь измеряется также легкость вращения наружного кольца относительно внутреннего.

Усилия и моменты в конкретных конструкциях приспособлений создаются с помощью тарированных пружин или динамометров. Нормы биений устанавливаются технологией ремонта и техническими условиями на подшипники.

Дефекты тросовой проводки. Тросовая проводка широко применяется в системах управления самолетом, вертолетом и авиадвигателями. Дефектация тросовой проводки осуществляется визуально-оптическими методами и с применением рентгенографии.

Основные дефекты тросов: обрывы нитей или прядей, коррозия, потертости, остаточные деформации в виде резких перегибов. Обрывы нитей легко обнаруживаются при протирании салфеткой, оборванные нити будут цепляться за нее. Коррозия обнаруживается визуально, и при ее наличии трос протирают салфеткой, смоченной маслом МВП (масло вазелиновое приборное). Если коррозия не удалена, трос заменяют. Такой браковочный признак устанавливается в связи с тем, что коррозия резко снижает прочностные характеристики тросов.

Потертости образуются на тросах в результате соприкосновения с элементами конструкции. Браковочным признаком является уменьшение диаметра проволоки. На рис. 4.30 представлены схемы потертостей проволоки по сечениям: а-а (потертость < 50% диаметра проволоки), б-б (потертость равна 50% диаметра проволоки), в-в (потертость > 50% диаметра проволоки). Заменяют тросы при потертостях, по размерам соответствующих изображенным в сечениях б-б и в-в.

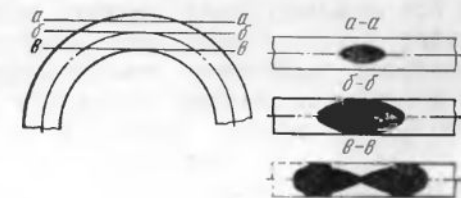


Рис. 4.30. Конфигурация потертостей троса

Остаточные деформации в виде резких прогибов служат браковочным признаком, который не устраняют, так как деформированная часть нитей или прядей не может передавать заданные нагрузки.

В конструкцию тросовой проводки входят наконечники, соединительные муфты, ограничители. Чаще всего в современных конструкциях трос и наконечник соединяются обжатием. При дефектации через контрольное отверстие проверяют, не вышел ли трос из наконечника. Если через отверстие трос не прощупывается, произошло смещение троса и проводка подлежит замене. Если по следам у конца наконечника возникает подозрение на вытяжку троса, а через отверстие трос прощупывается, делают контрольную проверку с помощью рентгенографии. На пленке будет ясно видно положение троса в наконечнике.

Механические повреждения на наконечниках и муфтах строго регламентируются технологией ремонта. Трещины на этих деталях не допускаются. Резьбу на деталях муфт и наконечников контролируют с помощью калибров. Износы отверстий определяют измерением, их допустимые значения оговариваются в технологии ремонта. Значительное увеличение размера отверстий может ослабить прочность наконечника.

Глава 5

РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

5.1. РЕМОНТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Заклепочные соединения — один из основных видов неразъемных соединений планера, их работа играет значительную роль в обеспечении надежности и долговечности всего самолета или вертолета. Поэтому очень важно обеспечить полное соблюдение как общих требований к образованию заклепочных соединений, так и специфических условий, продиктованных особенностями конкретной конструкции.

При ремонте, по результатам технического диагностирования или при выполнении доработок конструкции возникает необходимость подтянуть или заменить заклепки, частично или полностью заменить склепываемые элементы, вновь установить усиливающие детали.

Таким образом, при ремонте заклепочных соединений могут встретиться следующие виды работ: подтяжка заклепок, замена заклепок, образование новых заклепочных швов.

Подтяжка заклепок. При нарушении плотности посадки предпочтительнее заклепку подтянуть, так как в этом случае не увеличивается диаметр и не срезается упрочненный слой у отверстия, образовавшийся при расклепке стержня. Как показали исследования, наличие упрочненного слоя металла у отверстия соединения в 1,5—2,0 раза повышает его выносливость. На рис. 5.1 показана зависимость от числа нагружений N коэффициента K , характеризующего отношение фактической нагрузки к расчетной разрушающей. График составлен по результатам испытаний двух длительно работавших односрезовых швов, из которых один затем был подтянут. Очевидно, что уровень выдерживаемой нагрузки подтянутого шва (1) значительно выше, чем неподтянутого (2).

Замена заклепок. Во всех случаях удаление старой заклепки при ее замене необходимо выполнить так, чтобы не повредить отверстие. Повреждение отверстия вызовет необходимость его рассверлить, что приведет к удалению упрочненного слоя, увеличению диаметра заклепки. Следовательно, произойдет перераспределение усилий в соединении, что может вызвать понижение предела выносливости. Увеличение диаметра отверстия приведет, кроме того, к уменьшению силовых перемычек.

Чтобы не повредить отверстие, старую заклепку удаляют следующим образом: центр закладной головки кернят, засверливают

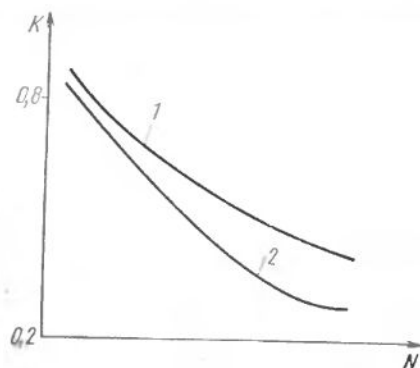


Рис. 5.1. Влияние подтяжки на долговечность заклепочных соединений



Рис. 5.2. Типы заклепок

Для заклепки с двусторонним подходом					Для заклепки с односторонним подходом									
с плоской головкой	потайная $\alpha = 90^\circ$	потайная $\alpha = 120^\circ$	полукруглая	трубчатая	болт-заклепка	с высоким сопротивлением срезу		с сердечником		гайка-пистон		ворыбная		
					полу-круглая $\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 120^\circ$	шестигранная	плоско-выпуклая $\alpha = 120^\circ$		с плоской головкой $\alpha = 90^\circ$		плоско-выпуклая $\alpha = 120^\circ$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

на всю высоту головки, применяя ограничитель, и затем бородком выбивают стержень, после чего головка заклепки свободно удаляется. Отверстие контролируют по размеру и состоянию, т. е. не должна быть искажена геометрическая форма, не должно быть заусенцев и задиров.

При установке новой заклепки необходимо под нее просверлить отверстие. Как указывалось выше, качество и размер отверстия имеют принципиально важное значение для полноценной работы

Таблица 5.1

Диаметр заклепки, мм		2,0	2,6	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0
Диаметр отверстия, мм	номинальный	2,1	2,7	3,1	3,6	4,1	5,1	6,1	7,1
	допустимые отклонения	+0,12		+0,16		+0,20			

заклепочного соединения. Если отверстие будет большего диаметра, заклепка изогнется и не заполнит его.

Диаметры отверстий должны соответствовать типу заклепок (рис. 5.2). В табл. 5.1 даны размеры отверстий для заклепок обычного типа (см. рис. 5.2, поз. 1—4, 10, 11, 14, 15).

Диаметр отверстий под универсальную заклепку (см. рис. 5.5) должен быть на 0,05 мм больше диаметра стержня. Как видим, в этом случае сверление выполняется с более высокой точностью. Диаметр отверстия под стержень заклепки с высоким сопротивлением срезу (рис. 5.3, поз. 8, 9) должен быть равен номинальному диаметру заклепки.

При установке заклепок с потайной головкой после сверления отверстий производится зенкование гнезда под головку с углом 90 или 120°. От формы и глубины зенкования зависит правильность установки и последующей расклепки потайных заклепок. Гнезда под потайные головки в склепываемых деталях толщиной более 1 мм выполняют зенкерами, встроенными в зенковальную насадку (рис. 5.3), оснащенными неподвижными или регулируемыми упорами 2, позволяющими получить заданную глубину гнезда. Направляющий штифт 3 служит для предотвращения смещения зенкера 1 относительно отверстия. При этом диаметр штифта должен быть равен диаметру просверленного отверстия. Гнезда под потайные головки заклепок в склепываемых деталях толщиной менее 1 мм образуются подштамповкой.

От формы зенкованного гнезда зависит правильная установка закладной головки. Особенно опасно перезенкование, так как это приводит к утопанию потайной головки, вызывающему быстрое ослабление заклепочных соединений. При утопленной головке снижается усилие стягивания пакета и соединения теряют жесткость. Следствием этого является снижение выносливости. Исследования показали, что утопание потайной головки на 0,1—0,2 мм снижает выносливость до 65% от номинальной. Нормы выступания потайной головки регламентируются в зависимости от диаметра заклепки и конструктивных особенностей соединения. В большинстве случаев выступание должно быть в пределах 0,1—0,15 мм.

После окончания сверлильных работ удаляются заусенцы, которые могут нарушить плотность прилегания заклепок и склепываемых элементов конструкций.

Сверление отверстий в пакетах производится по разметке или по шаблонам. Нанесение разметочных точек или линий выполняется мягким графитовым карандашом (острый твердый карандаш может повредить чувствительную лакирующую или анодную пленку, химический карандаш оставляет следы, являющиеся источником коррозии).

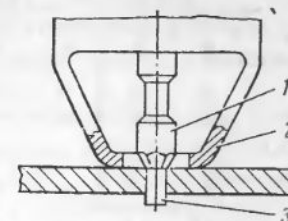


Рис. 5.3. Зенкование под потайную головку заклепки

Шаблоны применяются для копирования отверстий и служат для последующей разметки. Материалом для шаблона может служить винипроз (или другой аналогичный прозрачный материал) или лист металла с идентичным коэффициентом линейного расширения, чтобы при изменении температуры окружающей среды не исказились координаты разметки. На лист шаблона с помощью карандаша или керна (в случае металлического шаблона) переносится расположение ранее просверленных отверстий.

Вновь приклепываемый элемент конструкции (накладку, замененный участок обшивки и т. п.) скрепляют в пакете, чтобы обеспечить хорошее прилегание и жесткость предварительно собранного узла. Средствами временного крепления служат пружинные фиксаторы, технологические болты или заклепки, удаляемые по мере выполнения клепальных работ.

Сверление отверстий и установка временного крепления должны производиться во многорядных швах в последовательности, исключающей появление местных зазоров между собираемыми элементами. На рис. 5.4 показан пример многорядного шва. Стрелками дано направление движения инструмента, а номера отверстий обозначают последовательность их сверления.

При образовании заклепочных швов важное значение имеет подгонка склепываемых деталей. Зазоры, вспучивание листов, деформации элементов жесткости приводят к неравномерному нагружению заклепок, появлению дополнительных напряжений, ухудшающих выносливость соединений.

Выше были описаны операции, предшествующие установке заклепки. Рассмотрим теперь подбор заклепок, заключающийся в выборе материала, типа и размеров. При ремонте все эти характеристики определяются условиями, заложенными конструктором самолета или вертолета. Из этого следует, что материал заклепок должен обеспечить прочность существующей конструкции (принципы расчета из условий равнопрочности изложены в подразделе 5.3). Материалы заклепок различают по маркировке на головке.

Наиболее широко для изготовления заклепок применяются материалы: из алюминиевых сплавов АМг5П, Д18, АМц, В65, Д19П, В94; из алюминия АД1; из сталей 10, 15, 20ГА, 12Х18Н9Т, 30ХГСА; из титанового сплава ВТ16; из меди М2; из латуни Л63.

Наиболее употребительные типы заклепок показаны на рис. 5.2. Заклепки с полукруглой и плоской головкой обеспечивают

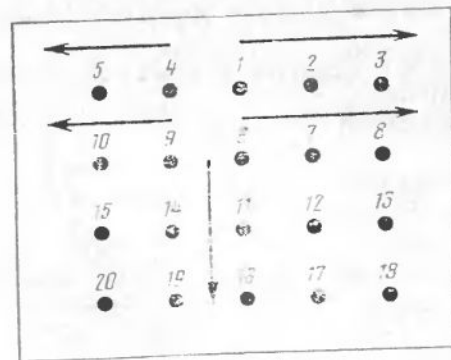


Рис. 5.4. Направления клепки во многорядном заклепочном соединении

хорошую работу на срез и отрыв. Заклепки с потайной головкой устанавливаются в зонах, где необходимо соблюдать заданную аэродинамическую форму и где выступающие головки могут нарушить спектр обтекания. Заклепки взрывные, с сердечником, гайки-пистоны применяются при одностороннем подходе. Их применение ограничивается недостаточной прочностью при работе на отрыв. Заклепки с высоким сопротивлением срезу, и болты-заклепки употребляются для образования соединений, воспринимающих большие усилия среза.

В последние годы широкое распространение получили универсальные заклепки (рис. 5.5). При их расклепке происходит деформация одновременно закладной и замыкающей головок. Эта схема осадки обеспечивает заполнение отверстий по всей высоте пакета за счет дополнительного материала головки. Тем самым достигается полная герметичность и повышается предел выносливости соединения, что является основным преимуществом универсальных заклепок. Трудоемкость такого соединения выше обычного, поскольку сверление отверстий должно быть произведено более точно и вводится дополнительная операция по фрезерованию излишне выступающего материала головки.

Размеры заклепок при их подборе характеризуются двумя параметрами: диаметром и длиной стержня. Диаметр стержня определяется расчетом на прочность. Длина стержня назначается в зависимости от толщины склепываемого пакета. В ОСТАх на заклепки имеются соответствующие таблицы. Ориентировочно можно считать, что длина заклепки

$$L = S + (1,1 \div 1,3d),$$

где S — толщина склепываемого пакета; d — диаметр стержня заклепки.

Длины заклепки должно хватить на заполнение отверстия пакета, создание натяга в соединении и образование нужной формы замыкающей головки. На рис. 5.6 показано, что произойдет при увеличенной длине стержня (а) и (б) при коротком стержне (в), когда замыкающая головка имеет малую высоту. Во всех этих случаях не обеспечивается нормальная работа заклепочного соединения, ибо искаженная форма заклепки не позволяет воспринимать заданную нагрузку и перегружаются рядом расположенные заклепки.

При ремонте заклепочных соединений встречаются случаи усиления мест, где ранее стояли потайные заклепки. Для заполнения гнезда устанавливаются вкладыши 1 (рис. 5.7). Незаполненное гнездо под потайную головку приведет к неравномерному нагружению стержня с одной стороны и ухудшению условий смятия листа, в котором было гнездо.

Клепка. Для обеспечения хорошей работы заклепочного соединения необходимо обеспечить образование требуемых размеров



Рис. 5.5. Виды универсальных заклепок

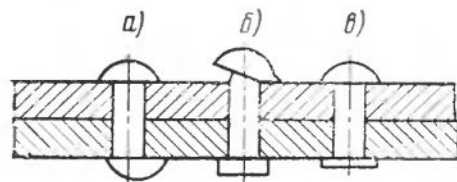


Рис. 5.6. Виды дефектов, образовавшихся при расклепке с нарушениями требований к геометрическим размерам заклепочных соединений

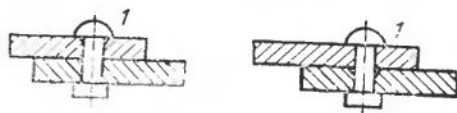


Рис. 5.7. Установка вкладыша для заполнения цинкованного гнезда

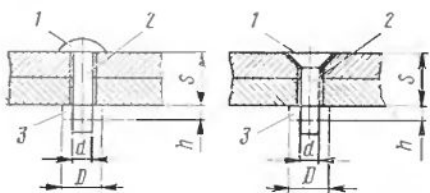


Рис. 5.8. Геометрические размеры заклепочного соединения

В самолетостроении соединение осуществляется холодной клепкой ударным способом или прессованием. При ударной клепке инструментами служат пневматический молоток, обжимка и поддержка. Пневмомолоток может быть установлен как со стороны закладной головки, так и со стороны замыкающей. В первом случае (обратный метод клепки) удары через обжимку наносят по закладной головке, а образование замыкающей головки происходит с помощью поддержки. При прямом методе клепки удары наносят по стержню заклепки, а поддержки устанавливают со стороны закладной головки.

Для предотвращения повреждения обшивки (особенно при потайной клепке) применяют прозрачные листы целлофана, через которые наносятся удары инструмента.

Мощность молотка и вес поддержки подбирают в зависимости от материала и размеров заклепки по справочным таблицам, приведенным в соответствующих ОСТах. Правильный подбор мощности молотка и веса поддержки является залогом получения необходимого качества заклепочного соединения. Завышение мощности молотка, например, приведет к уменьшению высоты замыкающей головки и увеличению ее диаметра. То же может произойти при завышении веса поддержки.

замыкающей головки 3 (рис. 5.8) после расклепки стержня 2 с закладной головкой 1.

При этом важно соблюдать следующие соотношения:

$$D = (1,5 \pm 0,1) d$$

при $d \leq 5$ мм;

$$D = (1,45 \pm 0,1) d$$

при $d > 5$ мм,

где D — диаметр замыкающей головки; d — диаметр стержня заклепки.

Высота замыкающей головки должна соответствовать соотношению:

$$h \approx 0,4d,$$

где h — высота замыкающей головки, т. е. головки, образовавшейся после расклепки стержня.

При ремонте гидравлические пресс-скобы применяют для клепки деталей, чувствительных к ударным нагрузкам и расположенных в местах, где может быть обеспечен доступ для подвода скобы. Например, для клепки обшивки или стального каркаса пилотского фонаря при снятом остеклении может быть применена гидравлическая пресс-скоба. На рис. 5.9 показано применение пресс-скобы 3 для соединения листа 1 с профилем 2. Прессование осуществляется матрицей и пуансоном 4.

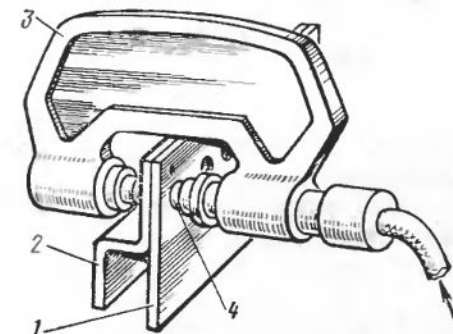


Рис. 5.9. Клепка прессованием с помощью переносной скобы

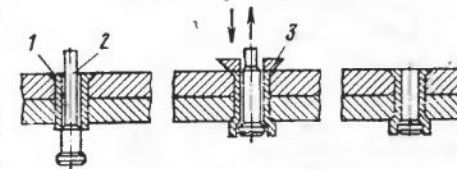


Рис. 5.10. Установка заклепки с сердечником

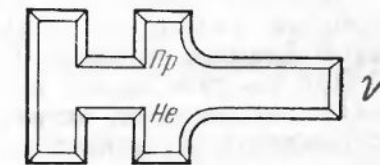


Рис. 5.11. Калибр для контроля геометрических размеров замыкающей головки заклепки

Соединение с помощью заклепки с сердечником образуется, как показано на рис. 5.10. Здесь стержень 2 втягивается в отверстие корпуса заклепки 1 с помощью прижима 3. Утолщенным концом стержень распирает корпус, образуя соединение. Выступающую часть стержня срезают.

Качество клепки контролируется после ее окончания визуальным осмотром с применением некоторых видов измерительных инструментов. Геометрические размеры швов (шаг заклепок, расстояние между рядами) контролируют с помощью металлической линейки. Глубину повреждений (рисок, забоин, подсеков) замеряют индикаторным приспособлением. Размеры замыкающих головок проверяют шаблоном, имеющим по типу калибров размеры «Пр» (проходной) и «Не» (непроходной) (рис. 5.11). Герметичность заклепочных соединений определяется совместно с клепанием агрегатом. Отраслевые нормы и производственные инструкции авиационной промышленности могут предусматривать допуски на отдельные повреждения заклепочных соединений, связанные с особенностями технологического процесса производства или конструкции самолета (вертолета).

5.2. РЕМОНТ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Резьбовые соединения в авиационных конструкциях применяют для создания разъемных соединений довольно широко. Технологические разъемы, крепление кронштейнов, рам, фитингов, уста-

новка агрегатов систем осуществляются с помощью болтовых, винтовых или шпилечных соединений.

Основные требования к ремонту. Соединяемые конструктивные элементы изготавливают из различных алюминиевых, магниевых сплавов и сталей. Болты, гайки, шайбы и стопорящие детали (шайбы, шплинты, проволока) в подавляющем большинстве случаев изготавливают из сталей.

Нагрузки, действующие в резьбовых соединениях, могут вызывать деформации растяжения, сжатия, среза, кручения. При этом во многих соединениях нагрузки знакопеременны и сопровождаются вибрациями. Это вызывает износ, трещины, остаточные деформации в виде изгиба, срыва или потянутости резьбы. В таких соединениях может возникать также коррозия. В процессе эксплуатации появляются механические повреждения: риски, забоины, вмятины.

Необходимость проведения ремонтных работ в резьбовых соединениях может быть вызвана износами или дефектами, не только появившимися в процессе эксплуатации, но и возникшими при разборке соединений, когда разбирают неразгруженное соединение, применяют нестандартный инструмент, нарушают технологическую последовательность разборки или разбирают соединение с натягом. В последнем случае нарушаются размеры соединяемых деталей и посадку приходится восстанавливать.

Дефекты в резьбовых соединениях обнаруживают с помощью промеров, неразрушающими методами контроля: магнитными, вихретоковыми, визуально-оптическими и др.

При ремонте детали резьбовых соединений заменяют, восстанавливают размеры, устраняют механические и коррозионные повреждения, восстанавливают или заменяют покрытия.

При ремонте резьбовых соединений соблюдают следующие основные требования: предусмотренные чертежами посадки должны в соединениях сохраняться без изменений; шероховатость контактирующих поверхностей должна соответствовать требованиям чертежей; износостойкость поверхностей соединяемых деталей не может быть ниже предусмотренной чертежами; прочностные характеристики не могут быть ниже, чем это было до ремонта.

Детали резьбовых соединений заменяют, когда они забракованы по результатам технического диагностирования. Размеры восстанавливают при износах, в результате которых размеры охватываемой и охватывающей поверхностей изменились сверх установленных чертежами допусков, но не превысили предельных значений браковочных признаков.

В отверстиях при отсутствии признаков изнашивания базовых поверхностей зачищают механические повреждения до плавных переходов, удаляют коррозию и возобновляют или восстанавливают антикоррозионные покрытия. При изнашивании отверстий (овализации, конусности, выкрашивании и др.), требующем устранения, отверстие развертывают. При всех условиях увеличение

диаметра отверстия должно быть минимальным. С одной стороны, рост диаметра отверстия вызовет уменьшение силовых перемычек, с другой стороны, может привести к увеличению концентрации напряжений. Известно, что в процессе работы усилия между крепежными изделиями в соединениях распределяются неравномерно. Значительные изменения диаметров крепежных изделий увеличат эту неравномерность и концентрация напряжений, следовательно, возрастет. Поэтому развертывание должно обеспечить минимально возможное увеличение диаметра, что обычно осуществляется с помощью набора разверток, шлифованных до ремонтных размеров через 0,2 мм.

Обеспечение соосности. Важнейшим условием надежной работы резьбового соединения является его соосность. При ремонте съемных деталей соосность обеспечивают с помощью машинного развертывания. Для высокоточных сопряжений применяют расточку или сверление на координатно-расточных станках или в специальных приспособлениях. В несъемных узлах соосности добиваются при ручном развертывании с применением базирования на других элементах конструкции или с помощью направляющих втулок. Несоосность может вызвать появление нерасчетных нагрузок и деформаций элементов соединений. Рассмотрим на конкретном примере влияние несоосности на появление дополнительных нагрузок в соединении.

На рис. 5.12 показана схема установки болта 1 в соединении вилки 2 с проушиной 3. Предположим, что правое отверстие в вилке оказалось несоосным, ось его направлена под углом α к оси всего соединения. При установке болта участок *a* будет сре-

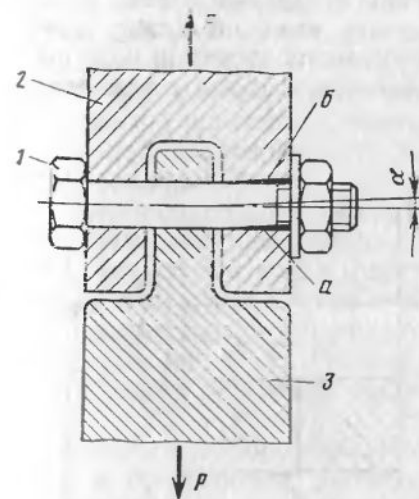


Рис. 5.12. Болтовое соединение с перекосом одного отверстия

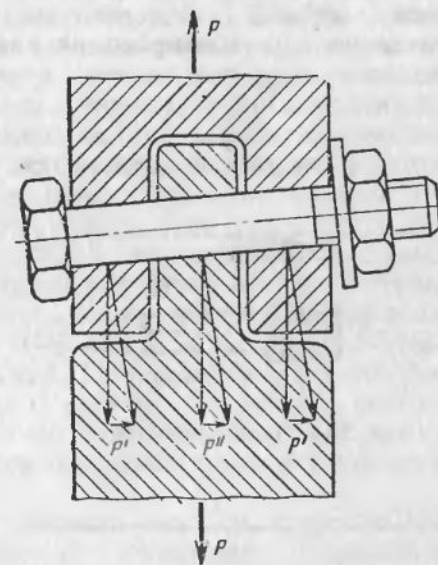


Рис. 5.13. Перекос оси в болтовом соединении

зан, при этом резьба болта может быть не поврежденной, если материал вилки мягче стального болта. В процессе работы под нагрузкой P на участке b тело болта не будет иметь опоры, и он начнет изгибаться. При соосности болт работал бы только на срез. В этом же случае болт будет дополнительно работать на изгиб. Кроме того, перераспределение усилий приведет к перегрузке левой проушины вилки, увеличатся деформации растяжения и смятия. Таким образом, несоосность становится причиной перегрузки отдельных элементов соединения. Темп процесса изнашивания увеличится и срок службы соединения снизится.

Кроме соосности должно быть соблюдено заданное расположение оси соединения. На рис. 5.13 изображена схема установки болта в соединении проушина — вилка с перекосом. В этом случае усилие P будет распределяться по трем участкам. Если рассмотреть действие результирующей силы на каждом участке, можно заметить, что в связи с перекосом появились дополнительные составляющие P' и P'' , которые вызовут нерасчетные изгибные деформации проушины и вилки. И в этом случае ресурс соединения снизится.

Для обеспечения соосности и исключения перекоса при развертывании прежде всего следует выбрать базу, по которой будет ориентирован инструмент. В приведенных примерах базой может быть одно из отверстий, не имеющих износа или отверстие рядом расположенного конструктивного элемента, в котором имеется соосное отверстие. На рис. 5.14 показано два вида разверток с гладкой цилиндрической частью 3, которая служит направляющей базой для режущей части 2. Вращение развертки осуществляется через хвостовик 1. В некоторых случаях применяются направляющие втулки для базирования разверток. Развертывание в ответственных узлах выполняется в несколько переходов с тем, чтобы получить заданную точность и обеспечить высокий класс шероховатости поверхности. При многократном использовании режущая кромка развертки повреждается, затупляется, в связи с чем перед

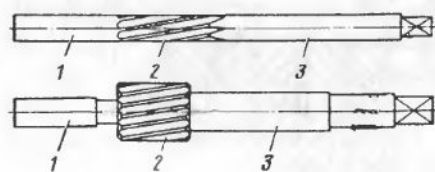


Рис. 5.14. Виды разверток

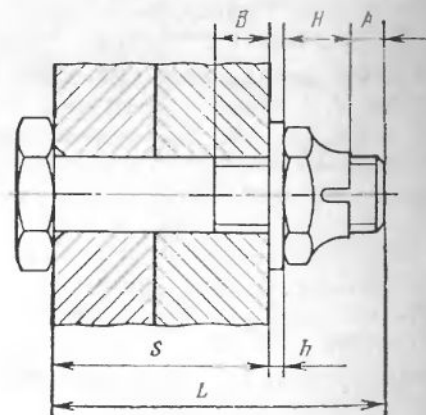


Рис. 5.15. Геометрические размеры болтового соединения

применением проверяют шероховатость и угол заточки режущих частей.

Выбор размеров крепежных изделий. Важной особенностью ремонта резьбовых соединений является необходимость правильного выбора длины болта, винта, шпильки. Здесь необходимо учитывать ряд факторов. Длина болта при ремонте изменяется в том случае, когда значительно изменяется толщина стягиваемого пакета: при установке усиливающего элемента, вкладышей, дополнительных прокладок, замене скрепляемых элементов другими, с измененными геометрическими размерами. На рис. 5.15 даны обозначения размеров, которые необходимо учитывать при подборе длины болта. Из приведенного рисунка очевидно, что длина болта

$$L = S + h + H + A,$$

где S — толщина стягиваемого пакета; h — толщина шайбы; H — высота гайки; A — длина выступающей части болта, принимаемая обычно равной 1,5—2,0 виткам резьбы.

На рисунке обозначен размер захода резьбы в пакет B . Для болтов, работающих на растяжение — сжатие, размер B не регламентируется. Для болтов, работающих на срез, должно соблюдаться условие: $B=0$. В противном случае резьба будет сминаться.

При изготовлении ремонтных болтов их тип, материал и технология изготовления не должны изменяться по сравнению с требованиями чертежа.

Кроме длины может изменяться и диаметр болта. В этом случае подбирают соответствующие шайбы и гайки. Шайбы применяют для увеличения площади смятия под гайкой, для предохранения от изнашивания поверхности детали при заворачивании гайки, для стопорения, для выравнивания поверхности (например, конусные шайбы). В некоторых случаях применяют сферические шайбы для распределения усилий по большим площадям, т. е. для снижения удельного давления. Размеры шайб увеличивают пропорционально увеличению диаметра болта. При увеличении диаметра гладкой части болта на 0,1—0,2 мм резьбовую ее часть не изменяют по сравнению с чертежной и гайка остается старой. При большем изменении резьбовую часть целесообразно изменять, так как в месте перехода тела болта в резьбовую часть образуется концентратор напряжений. При ремонте размеры болтов определяются индивидуально с учетом нагрузок, которые воспринимает болт. Например, если болт работает на чистый срез, размер резьбовой части болта при увеличении его диаметра меняют крайне редко.

Затяжка соединения. Момент затяжки играет существенную роль в обеспечении работоспособности резьбового соединения. В руководствах по ремонту указывают момент затяжки для каждого конкретного соединения. Его значение зависит от нагрузок, воспринимаемых соединением, от размеров и материала болта и

гайки. Однако при ремонте возникает необходимость создания новых соединений, например при повреждениях элементов каркаса. В этих случаях конструируют новые соединения и очень важно правильно подобрать момент затяжки. Если он будет малым, соединение может ослабиться, если большим, возникнут перерасчетные деформации. При отсутствии нормированного момента затяжки его можно вычислить по формуле

$$M = (0,04 \div 0,07) \sigma_t d^3,$$

где σ_t — предел текучести материала болта (берется из справочников); d — наружный диаметр резьбы болта.

Если момент затяжки оговаривается в чертежах, применяют тарированные или динамометрические ключи. Для затяжки остальных соединений применяют нормализованный инструмент, обеспечивая среднее усилие нажатия от руки.

Основным критерием оценки качества соединения является плотность стыка. Если на ключе усилие достаточно велико, а соединяемые детали не стянуты, между ними имеются зазоры, необходимо выяснить причину. Возможны деформации, попадание посторонних предметов. В резьбовых соединениях принципиальное значение имеет порядок затяжки. Нарушение определенного порядка затяжки вызывает перекосы и деформации соединяемых деталей, что приводит к снижению надежности и долговечности соединения. На рис. 5.16 изображен порядок затяжки в прямоугольном и круглом (фланцевом) соединениях. Соблюдение такой последовательности обеспечит равномерное распределение усилий при затяжке, не вызовет перекосов и деформаций.

При ремонте резьбовых соединений должна быть сохранена заданная чертежом посадка, поскольку изменение ее вызовет изменение условий работы соединения, перераспределение нагрузки и труднопрогнозируемые непредвиденные износы. В связи с этим при ремонте соединений необходимо рассчитывать допуски на зазоры и натяги (отрицательные зазоры).

Обеспечение силовых перемычек соединений. Окончательные размеры сопрягаемых деталей не должны ухудшать прочностных

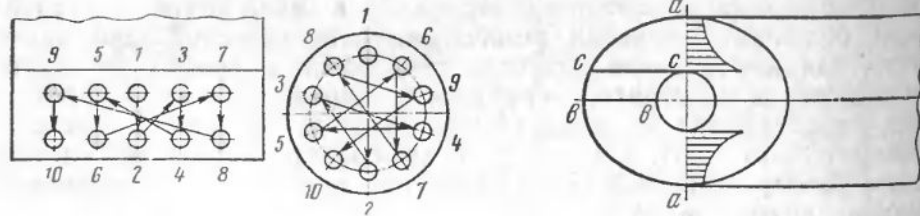
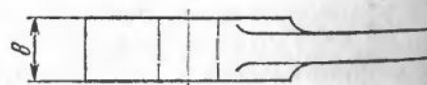


Рис. 5.16. Схемы затяжки болтовых соединений

Рис. 5.17. Распределение напряжений и плоскостей среза в проушине



характеристик. Уточнение силовых перемычек производится по «Альбому основных сочленений и ремонтных допусков». Может оказаться, что после разворачивания силовая перемычка недопустимо уменьшилась и тогда необходимо заменять соединяемые детали.

Рассмотрим на примере влияние перемычек на прочностные характеристики соединения. На рис. 5.17 дан эскиз типовой проушины. При их ремонте учитывают следующие факторы:

от действия растягивающих усилий, направленных по оси вдоль детали, при статических испытаниях разрушение обычно происходит по сечению $a-a$;

многочисленные опыты при изменении направления действия силы нагружения показали, что разрушение может произойти по сечениям $e-e$ (разрыв) и $c-c$ (сдвиг);

по внутренней поверхности отверстия проушины усилия от болта (вала) распределяются неравномерно, что может быть усугублено повреждениями или неравномерными износами;

концентрация напряжений σ при наличии повреждений возрастает.

Учитывая эти факторы, при техническом диагностировании определяют размеры перемычек в разных сечениях. Например, при определении ремонтного размера после разворачивания может оказаться перемычка в сечении $a-a$ допустимой, а в сечении $c-c$ (на сдвиг) или в сечении $b-b$ (на разрыв) ниже допустимой. В этом случае деталь окажется неремонтопригодной, ее придется заменить.

5.3. РЕМОНТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНЕРА

Основные требования к ремонту. Планер самолета и вертолета представляет собой пространственную конструкцию сложной формы, наружные обводы которой образованы обшивкой. Обшивка подкреплена набором силовых элементов: лонжеронов, стрингеров, нервюр, шпангоутов, балок. Сосредоточенные нагрузки передаются через фитинги, кронштейны, силовые узлы и другие конструктивные элементы. Для обеспечения наименьшего аэродинамического сопротивления в конструкции планера применяют зализы и различные обтекатели. Для изготовления деталей планера применяют высокопрочные алюминиевые, магниевые, титановые сплавы, а также стали. Все большее применение находят сотовые конструкции, композиционные материалы. Соединения конструктивных элементов осуществляют болтами, заклепками, склейкой, сваркой.

Планер самолета и вертолета подвергается воздействию механических нагрузок, вибрации, нагрева и охлаждения, акустических нагрузок, климатических условий. Под воздействием этих нагрузок в полете и при рулении на земле в элементах конструкции планера самолета и вертолета могут возникнуть повреждения в

виде трещин, остаточных деформаций, износа болтовых и заклепочных соединений, коррозии, нарушений антикоррозийных покрытий. В процессе эксплуатации на элементах каркаса могут появиться механические повреждения в виде вмятин, забоин, рисок, пробоин.

Для каждого типа самолета или вертолета технологией ремонта предусматривается выполнение определенного объема демонтажных работ с целью обеспечения доступа для технического диагностирования, планируемой доработки конструкции или замены при отработке назначенного ресурса деталей или агрегатов. По результатам диагностирования определяют объем ремонтных работ.

Обнаруженные при дефектации повреждения устраняют заменой конструктивного элемента (стрингера, обшивки, шпангоута и т. п.), его усилением или ремонтом. Замену конструктивного элемента выполняют, когда усиление нецелесообразно, например в случаях повреждения коррозией по всей длине стрингера, деформации шпангоута по периметру в результате удара о препятствие и т. п. При этом усиление означало бы фактическое дублирование, что вызвало бы значительное увеличение массы конструкции и нежелательное перераспределение нагрузок. При необходимости замену конструктивного элемента выполняют по чертежам завода-изготовителя. Клепка или установка болтов осуществляется по старым отверстиям с учетом износов. Ремонт конструктивных элементов методом усиления применяют при наличии дефекта, количественные характеристики которого оговорены в технологии ремонта.

В случае возникновения трещин у края детали, ее выбирают (выпиливают, удаляют шарошкой). При нецелесообразности или невозможности (трещина на детали в пакете, трещина распространилась на большую глубину и т. д.) удалить участок детали с трещиной, ее засверливают у конца. Засверловка замедляет темп развития трещины, а иногда и полностью прекращает дальнейшее ее распространение, поскольку снижается концентрация напряжений у вершины трещины. Обычно трещину засверливают сверлом диаметром 3 мм.

Усиление конструктивных элементов. При ремонте усиление, введение дополнительных стыков деталей выполняют по типовым чертежам или руководству по ремонту. На практике часто встречаются случаи, когда типовой ремонт не может быть применен. При конструировании усилений учитывают следующие основные положения:

конструкция самолета или вертолета после усиления должна отвечать нормам прочности, предусмотренным для данного типа изделия;

усиление не должно значительно увеличить жесткость конструкции, так как более жесткий элемент изменит расчетные значения деформаций, что вызовет перегрузку деталей в соседних сечениях;

установка менее прочных или менее жестких усилений, чем у основной конструкции, приведет к потере работоспособности ремонтируемого участка;

любое значительное механическое повреждение силовых элементов, связанное с наличием остаточной деформации (глубокие, резкие вмятины, пробоины) не ремонтируют с помощью рихтовки. Такие повреждения часто вызывают появление микротрещин, рихтовка же будет способствовать их развитию. Рваные края пробоины приведут к возникновению нежелательных концентраций напряжений, предел выносливости поврежденной детали снизится. Глубокая вмятина нарушает заданную геометрическую форму детали и, следовательно, снижает ее работоспособность, поэтому при ремонте участок с повреждением вырезают, вырез заполняют вкладышем и затем усиливают.

Усиление любого элемента конструкции планера выполняют из условия равнопрочности. Для упрощения принимают такое условие для деформаций растяжения. Условие равнопрочности для усиливаемой детали выражается соотношением

$$F\sigma_v \geq P_{\text{раз}},$$

где F — площадь поперечного сечения; σ_v — временное сопротивление разрыву материала; $P_{\text{раз}}$ — разрушающее усилие на разрыв.

При ремонте принято приближенно подсчитывать разрушающее усилие для ослабленного сечения по формуле

$$P_{\text{раз}} = F_0\sigma_v,$$

где F_0 — площадь поперечного сечения; σ_v — временное сопротивление разрыву материала.

При ремонте на практике используют конструктивные решения изготовителя и разработчика в рядом расположенных сочленениях и узлах (форма и рядность заклепочных соединений, тип резьбовых соединений и т. п.).

Важным условием надежной работы усиления является выбор базы. При ремонте в большинстве случаев базирование производят по привалочным поверхностям и сопрягаемым контурам. При замене силовых узлов или фитингов применяют приспособления или шаблоны, которые базируются на поверхностях деталей ремонтируемой конструкции.

Ремонт обшивки. При определении способа ремонта обшивки учитываются, прежде всего, условия ее работы. Обшивка основных агрегатов планера (крыла, фюзеляжа, хвостового оперения) является силовым элементом конструкции, воспринимающим и передающим основные нагрузки. Исключение составляют такие конструктивные элементы, как зализы, перекрывные ленты, обтекатели и т. п. Обшивка герметичной части фюзеляжа воспринимает не только аэродинамические нагрузки, но и давление внутри гермокабины. Обшивка крыла-кессона нагружается топливом. Обшивка обтекателей в районе действия струи отработавших газов подвергается акустическим нагрузкам. Разная степень нагру-

жения обшивки требует соответствующих ей прочностных характеристик. Так, толщина обшивки крыла вдоль его размаха уменьшается от корня к концу консоли. Обычно обшивка химически фрезеруется. Толщина обшивки фюзеляжа от носа к хвосту также изменяется. Все эти положения необходимо учитывать при определении способа ремонта. Очевидно, что ремонт обшивки в герметичной зоне или зоне зализа будет различен.

Повреждения типа забоин, царапин, ремонтируют либо зачисткой, либо усилением. Зачистка возможна в тех случаях, когда глубина и протяженность повреждения не выходят за пределы допустимых значений. Ремонт в этом случае имеет целью сглаживание острых кромок, обеспечение плавных переходов. После таких операций восстанавливают антикоррозийное покрытие. Необходимо иметь в виду, что зачистка обшивки обогреваемых (с целью борьбы с обледенением) элементов конструкции весьма нежелательна, так как крайне затруднительно подобрать теплоустойчивые и достаточно долговечные лакокрасочные покрытия холодной сушки. В таких случаях целесообразно поврежденные участки не ремонтировать, а заменять.

При необходимости выполнить усиление обшивки следует продиагностировать место повреждения, определить его размеры, по чертежам выяснить марку материала и его толщину. Усиливающий элемент обычно ставят из одноименного с обшивкой материала и соответствующей толщины. При серьезных повреждениях чертежи усиления разрабатываются специальной конструкторской группой.

Ремонт поврежденного участка может быть осуществлен установкой усиливающей накладки, которая соединяется с обшивкой заклепками, реже — болтами. Болты устанавливают в местах, предусмотренных чертежами, или там, где необходимо установить заклепки диаметром более 5 мм. Заклепку такого диаметра ударной клепкой расклепать трудно. Применение прессовой клепки зачастую исключается из-за отсутствия подходов. В этих случаях устанавливают болты на легкопрессовой посадке. При установке усиливающей накладки важнейшими условиями обеспечения ее надежной работы являются определение ее размера, конфигурации и числа заклепок (болтов).

Размер усиливающей накладки определяют из условия необходимой компенсации разрушения, учитывая соотношения (5.9) и (5.10). При ремонте повреждений типа трещин в обшивке необходимо принимать во внимание, что перекрытие трещины должно быть не менее 80 мм (рис. 5.18, а). Исследованиями с помощью тензометрирования вокруг трещин установлено, что от ее конца на расстоянии до 80 мм уровни напряжений достаточно велики. Накопление повреждений в этом районе может привести к развитию трещины. Накладки могут быть установлены либо сверху обшивки, либо изнутри.

При определении конфигурации накладки учитывают прежде всего требование — исключить резкие перепады жесткости. При

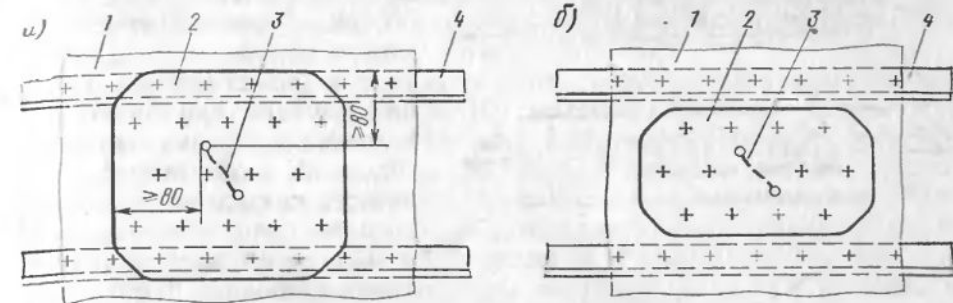


Рис. 5.18. Установка накладки на обшивку

необходимости усилить тонкую (до 2 мм) обшивку вследствие появления трещины или недопустимой глубины царапины накладку следует установить так, чтобы она была связана с более жесткими элементами конструкции. На рис. 5.18, б показана неправильная установка накладки 2 при ремонте обшивки фюзеляжа с трещиной 3. Между обшивкой, подкрепленной стрингером 4, и обшивкой с установленной накладкой образуется область с пониженной жесткостью, что может привести к возникновению нового повреждения. На рис. 5.18, а изображена накладка 2, связанная со стрингером 4. При такой конструкции усиления поврежденный участок будет разгружен, передача усилий на накладку 2 осуществится через стрингеры 4, деформации у поврежденного участка будут меньше, перепады жесткости в этом районе исчезнут. В приведенных примерах видно, что углы накладок срезаны. Это делается для того, чтобы исключить с целью экономии массы неработающую часть материала.

При установке накладок на силовые обшивки толщиной более 2 мм имеет значение конфигурация поперечного сечения накладки. Рассмотрим пример (рис. 5.19), когда усиливающая накладка 1 установлена на обшивку 2. При передаче усилия P через накладку на обшивку первый ряд заклепок в сечении I—I воспримет всю нагрузку. В сечении II—II нагрузка будет меньше на величину, воспринятую заклепками (болтами) в сечении I—I. В сечении IV—IV заклепки (болты) воспримут нагрузку P за вычетом той, которая воспринята крепежными деталями в сечениях I—I, II—II, III—III. Очевидно, что уменьшение нагрузки скажется на размере необходимого поперечного сечения, которое соответственно уменьшится. Поэтому хвостовому концу накладки целесообразно придать клиновидный характер. Клиновидный скос одновременно создаст более плавный перепад жесткости, что уменьшит концентрацию деформаций. Здесь следует учесть, что при малой жестко-

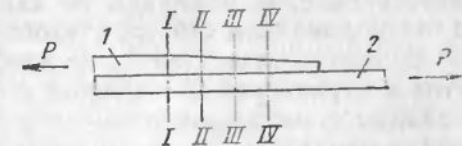


Рис. 5.19. Клиновидный скос накладки для равномерного распределения нагрузок на крепежные детали во многорядном шве

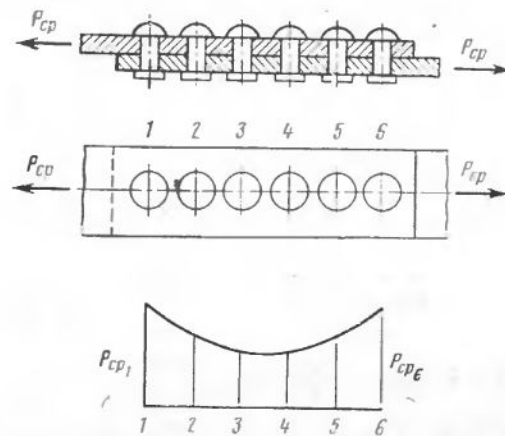


Рис. 5.20. Схема распределения напряжений во многорядном заклепочном шве

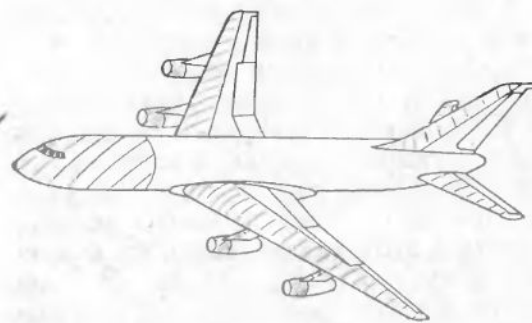


Рис. 5.21. Распределение зон с повышенными требованиями к качеству обтекаемой поверхности самолета

номерно. На рис. 5.20 изображена эпюра распределения усилий среза по заклепкам 1—6.

Это подтверждается на практике, так как трещины, как правило, возникают у первой заклепки.

В процессе установки усиливающих элементов может возникнуть необходимость скопировать имеющиеся отверстия. Например, крепление накладок по схеме рис. 5.18, а будет выполнено с использованием старых отверстий в стрингерах.

В этом случае в качестве направляющих будут служить отверстия в стрингерах. В сложных случаях копирование отверстий выполняют с использованием винипроза. На лист прозрачного материала переносят контуры отверстия и другие размерные линии, обводя их затем тушью. На заготовку наносят светочувствительный слой, прикладывают к нему лист винипроза, освещают и получают фотокопию отметок, сделанных тушью.

сти в сечениях II—II, III—III, IV—IV потайная клепка может не обеспечить достаточной герметичности. В таких случаях применяют заклепки с плоско-выпуклой головкой, обеспечивающие лучшее прижатие хвостовика усиления к обшивке.

Одним из важнейших условий надежной работы соединения является подгонка усиливающего элемента, т. е. обеспечение его прилегания по возможно большей поверхности для совместной работы основной конструкции и усиления.

При этом силы трения, возникающие между соединяемыми деталями, уменьшают нагрузку на крепежные детали (заклепки, болты, винты).

Число заклепок крепления накладок определяется по одну ее сторону из условия равнопрочности (5.9). При конструировании заклепочного соединения важно учитывать, что число заклепок в одном ряду не должно быть более шести, так как они нагружаются нерав-

В отдельных случаях, оговоренных технологией ремонта, применяют ремонт поврежденной обшивки с помощью приклеиваемых накладок, установка которых описана в гл. 6.

При определении способов ремонта необходимо учитывать повышенные требования к качеству поверхности в соответствии с условиями аэродинамики. На рис. 5.21 заштрихованы участки первой зоны, для которой установлены наиболее жесткие требования к качеству поверхности. Недопустимые нарушения аэродинамической формы в этой зоне приводят к значительному ухудшению аэродинамических характеристик. Рассмотрим это положение на примере изменения поляры самолета, если при ремонте в первой зоне на верхней его поверхности устанавливались ремонтные накладки. На рис. 5.22 видно изменение аэродинамического качества (отношения c_y/c_x) от K до K' . Здесь установка накладок привела к увеличению коэффициента лобового сопротивления c_x и уменьшению K .

Рассмотрим количественный пример. Если, например, c_x увеличится на 10%, то для самолета с площадью крыла 140 м² на высоте 6000 м при скорости около 650 км/ч сопротивление возрастет примерно на 3000 Н. Такое увеличение приведет к повышению расхода топлива. При ремонте часто бывает, что избежать установки накладок в первой зоне не удается. В этих случаях сглаживают переходы к основному контуру, делая их более плавными. Если такого сглаживания не будет, местные срывы потока значительно искажат спектр обтекания и аэродинамические характеристики еще более ухудшатся. Сглаживание при ремонте выполняется с помощью постепенного уменьшения толщины накладки и ликвидации ступеньки с использованием различного вида шпательков.

Ремонт лонжеронов и стрингеров. Лонжероны и стрингеры — продольные элементы конструкции фюзеляжа, крыла, стабилизатора, киля, хвостовой балки, рулей и элеронов. Лонжерон — наиболее нагруженная часть конструкции, состоящая в большинстве случаев из полок и стенки. Полки лонжеронов конструируют из пресованных профилей. Стенка представляет собой лист из алюминиевого сплава, подкрепленный стойками. На этих элементах конструкции чаще всего встречаются дефекты в виде трещин, остаточных деформаций, коррозии, износов болтовых и заклепочных соединений, повреждений лакокрасочных покрытий.

Во всех случаях ремонта необходимо соблюдать ранее описанное условие равнопрочности. Мелкие повреждения (незначительные трещины, мелкие забои-

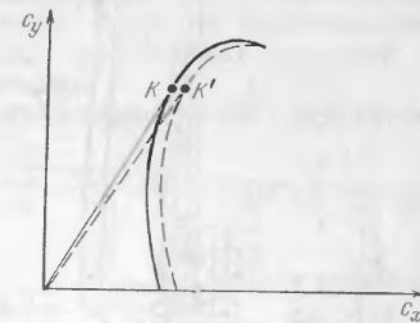


Рис. 5.22. Зависимость c_x от c_y при установке накладок на внешней поверхности самолета

ны), удаление которых не приведет к значительному уменьшению площади поперечного сечения ремонтируемого участка конструкции (до 10%), зачищают или вырезают поврежденный участок. Значительные повреждения требуют усиления. Рассмотрим конкретные примеры.

На рис. 5.23 изображен способ ремонта полки лонжеронов. В профиле верхней полки 1 возникла трещина у заклепки. Участок 3 с трещиной выбран, и установлена усиливающая накладка 2. Она закреплена заклепками того же типа, что были установ-

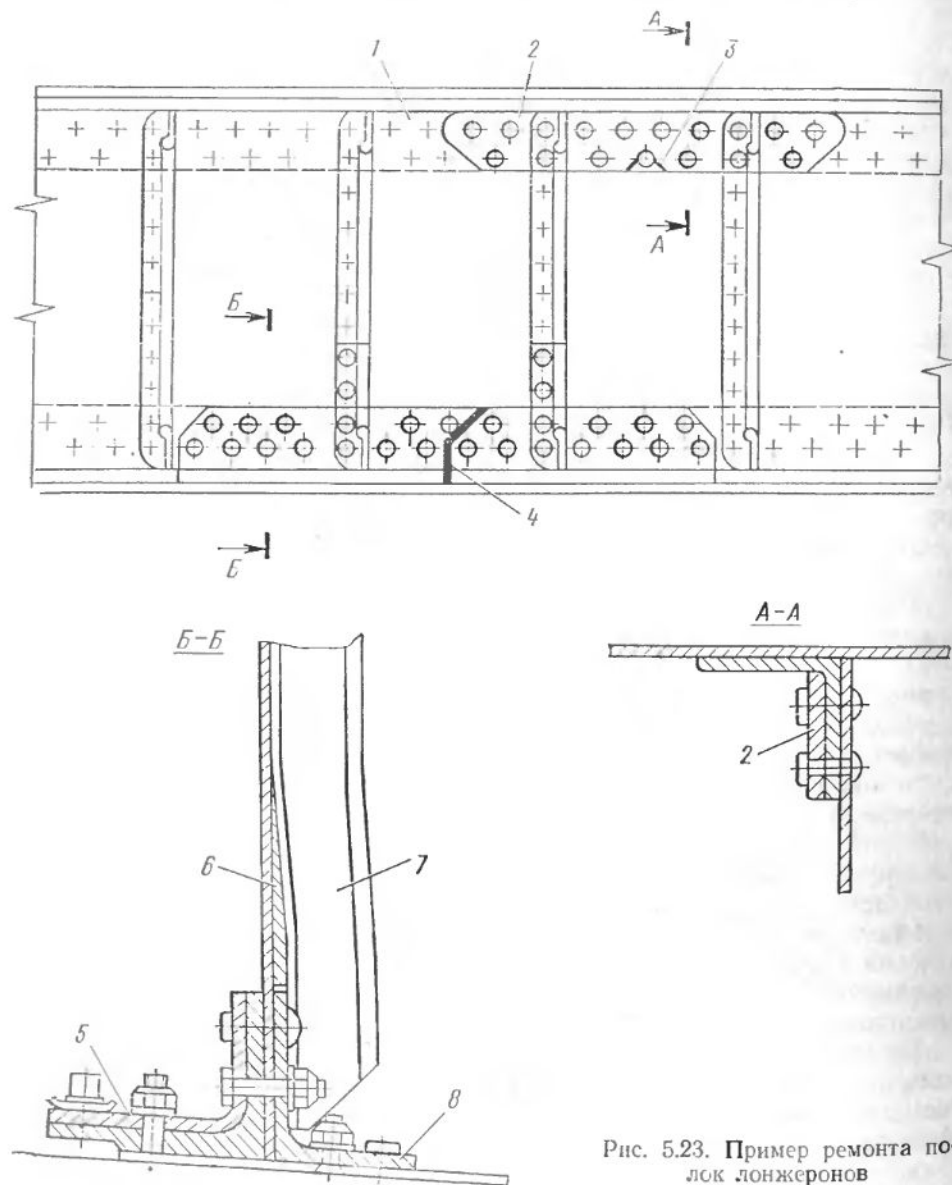


Рис. 5.23. Пример ремонта полки лонжеронов

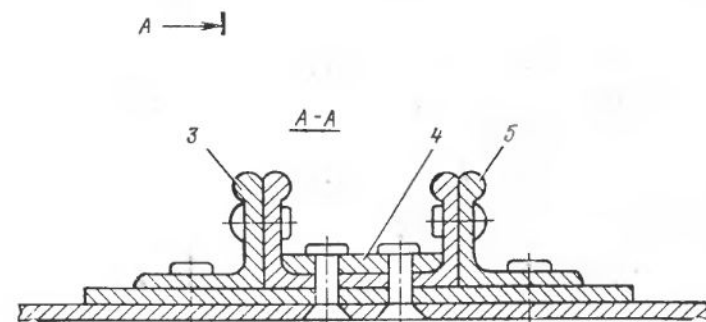
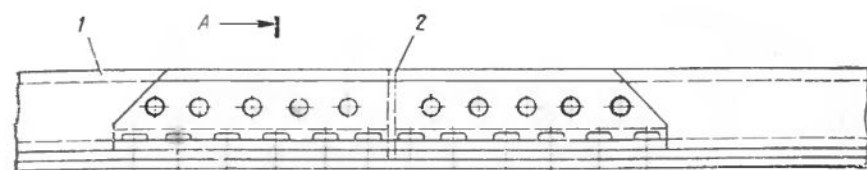


Рис. 5.24. Пример ремонта стрингера

лены до ремонта, но увеличенными по длине. Нижний пояс этого лонжерона имел сквозную трещину. Поврежденный участок полки удален, поставлен новый и по стыку 4 выполнено усиление (второй конец стыка условно не показан). В этом случае устанавливаются усиливающие уголки 5 и 8. Подкрепляющий профиль 7 должен быть установлен с учетом установки уголка 8. Этот профиль снимают, производят подсечку и в образовавшееся незаполненное пространство устанавливают клиновидный вкладыш 6.

При повреждении стенки лонжерона, например при остаточной деформации, стенку усиливают установкой дополнительных опорных стоек. Поскольку стенка лонжерона представляет собой лист, его ремонтируют так же, как и обшивку.

Стрингеры ремонтируют по тем же принципам, что и полки лонжеронов. На рис. 5.24 изображен стык П-образного стрингера 1. Стык 2 перекрыт так, чтобы компенсировать как вертикальные, так и горизонтальную полки стрингера. Стык по вертикальным полкам перекрыт накладками в виде прессованных профилей 3 и 5, по горизонтальной полке — накладкой 4.

При выполнении ремонта необходимо стремиться к тому, чтобы стыки, разъемы не располагались в одном сечении. В противном случае это сечение окажется значительно более жестким, чем соседние, что приведет к концентрации деформаций. На рис. 5.25 показано желательное расположение стыковых соединений.

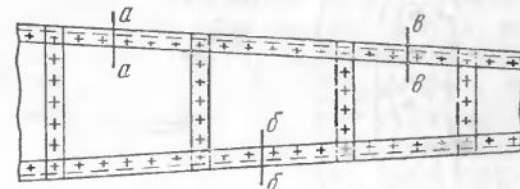


Рис. 5.25. Рекомендуемая схема относительного расположения стыковых соединений

Как мы видим, стыки располагаются в разных сечениях.

Дефекты в виде коррозии зачищают, определяют глубину и площадь ослабления в данном сечении и в соответствии с установленными допусками на повреждения принимают решение о ремонте: удалить поврежденный участок или заменить его.

При остаточных деформациях, как правило, заменяют поврежденный участок. Правка здесь крайне опасна из-за возможности возникновения скрытых микроповреждений. Даже если такая работа выполнялась в полевых условиях только для перегонки, необходим тщательный контроль целостности конструкции с применением неразрушающих методов контроля.

Ремонт лакокрасочных покрытий описан в гл. 6.

Ремонт шпангоутов и нервюр. Шпангоуты и нервюры — поперечные элементы конструкции планера. Их разделяют на силовые и несилловые. Силовые шпангоуты и нервюры воспринимают сосредоточенные нагрузки от силовых установок, шасси и других агрегатов. Во многих конструкциях силовые шпангоуты и нервюры изготавливают из цельноштампованных деталей, соединяемых болтами. Герметичные шпангоуты и нервюры представляют собой сборные панели, состоящие из стенок, стоек и полок из прессованных профилей.

В этих элементах конструкции чаще всего встречаются дефекты в виде трещин, коррозии, остаточных деформаций, износа болтовых и заклепочных соединений, повреждения лакокрасочных покрытий. Браковочные признаки для силовых и несилвых шпангоутов и нервюр отличаются друг от друга, и это необходимо учитывать при определении способа ремонта. Здесь, прежде всего, важно учитывать, что в районе сосредоточенных нагрузок концентрация напряжений всегда велика. А если еще при ремонте в таких местах будут установлены усиливающие элементы, положение усугубится, концентрация напряжений и деформаций возрастет, что для силовых элементов конструкции, на которые могут воздействовать динамические нагрузки, совершенно недопустимо. Поэтому усиления выполняются вдали от силовых элементов конструкции.

Стенки нервюр или шпангоутов ремонтируют, как и стенки лонжеронов. Ремонт полок, изготовленных из прессованных профилей, также аналогичен ремонту стрингеров и полок лонжеронов. Шпангоуты и нервюры, изготовленные из листового материала ремонтируют, усиливая поврежденный участок или удаляя

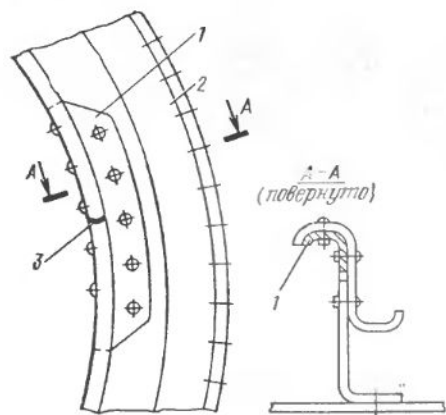


Рис. 5.26. Пример ремонта шпангоутов

его. На рис. 5.26 дан пример усиления полки шпангоута 2 с помощью накладки 1 вследствие образования трещины 3.

При обнаружении потери устойчивости стенки нервюры, ремонт осуществляют установкой опорного подкрепляющего уголка. Значительное механическое повреждение (например, пробонна) или короткая трещина могут при ремонте удаляться и это место ремонтируют с помощью накладки.

Восстановление герметизации. Герметизация предназначена для поддержания избыточного давления в пассажирских и пилотских кабинах, грузовых отсеках самолетов и вертолетов, предотвращения утечек топлива из кессонов-баков, защиты различных отсеков от проникновения влаги, агрессивных жидкостей и газов.

При ремонте нарушение герметизации обнаруживается в виде утечек топлива или воздуха через зазоры между листами обшивки, жесткими элементами конструкции и крепежными деталями (заклепками, болтами) и через другие соединения. Предотвращение утечек достигается применением универсальных заклепок, резиновых уплотнительных колец, уплотнением соединений с помощью герметиков, уплотнительных лент.

Клепка универсальными заклепками с применением топливостойких лаков, наносимых после клепки на внутреннюю поверхность герметизируемого объема, обеспечивает достаточно надежную и долговечную герметизацию. Резиновые уплотнительные кольца при ремонте заменяют новыми, так как с течением времени они деформируются, стареют и теряют свои герметизирующие свойства.

Значительное распространение получили каучуковые герметизирующие материалы — тиоколы. Герметики представляют собой полимерные композиции, изготовленные из жидких тиоколов, наполнителей, вулканизирующих веществ и ускорителей вулканизации. В настоящее время широко применяют герметики У30-МЭС, УТ-32, У2-28 (теплостойкий) и др. Промышленность непрерывно совершенствует герметики, улучшая их долговечность, технологические характеристики и другие параметры. Вулканизация герметиков начинается сразу же после изготовления. Время, в течение которого герметик, наносимый на поверхность детали, не теряет своих адгезионных свойств (способности сцепляться с поверхностью), называется *жизнеспособностью герметика*. Жизнеспособность измеряется в часах и минутах и зависит от количественного соотношения составляющих веществ и температуры окружающей среды. Пользоваться герметиком можно только при наличии соответствующего документа с указанием времени изготовления и жизнеспособности. Если использовать герметик после истечения времени жизнеспособности, через короткий промежуток времени он начнет отслаиваться от поверхности, герметизация не будет обеспечена. Для исключения непроизводительных затрат времени на транспортировку партии герметиков их готовят непосредственно на участках применения, в цеховой экспресс-лаборатории.

Летучие растворители и эпоксидные смолы, входящие в состав герметиков, могут оказывать вредное действие на здоровье человека. В определенной концентрации пары растворителей являются пожароопасными. Поэтому помещения, где изготавливают герметики и проводят с ними работу, должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией и местными отсосами. Токсичные вещества хранятся в герметичной таре. Для защиты рук применяют мыльные кремы. Герметики готовят в жидком, шпательном или кистевом виде. Жидкие герметики применяют при герметизации поливом. При ремонте этот способ, как правило, не применяется, так как на неподвижной герметизируемой поверхности слой герметика будет неравномерным, образуются наплывы. Широко применяются герметики шпательной и кистевой консистенции. В герметизируемых зонах герметики наносятся шпателем, шприцом, а при незначительном разбавлении растворителем — кистью. В чертежах дается указание о способе нанесения герметиков: П — поливом, К — кистью, Ш — шпателем или кистью.

Перед герметизацией поверхности очищают от пыли, грязи, стружки, а затем обезжиривают бензином или растворителем для обеспечения лучшей адгезии. Герметики наносят на анодированную поверхность алюминиевых сплавов, на окрашенные поверхности и на старый слой герметика. Во многих типах конструкций для улучшения адгезии, увеличения долговечности герметизирующих покрытий применяют специальные подслои, наносимые пульверизатором.

Герметики наносят в один или несколько слоев, что оговаривается в технологии ремонта и в чертежах.

Герметизация бывает внутришовной и поверхностной. Обычно применяют их комбинацию. На рис. 5.27 дан пример такой герметизации: 1 — внутришовная, 2 — наружная.

При герметичной клепке каждая заклепка покрывается герметиком и вставляется в отверстие с нанесенным слоем в пределах срока жизнеспособности.

При ремонте и в процессе эксплуатации может возникнуть необходимость устранения течи по отдельным болтам или заклепкам. Снаружи, если заклепка не требует замены, устанавливают герметизирующую шайбу при появлении признаков негерметичности (обычно на кессоне-баке). На рис. 5.28, а показана схема установки такой шайбы: 1 — алюминиевая фольга, 2 — слой герметика. Изнутри герметизация болта может быть выполнена с применением технологического колпачка, как показано на рис. 5.31, б. При этом наносится слой герметика 1 и в него вдавливаются колпачок 2.

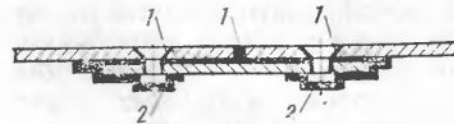


Рис. 5.27. Внутришовная и наружная герметизация

После проведения герметизации, а также при объемной дефектации герметизированный объем проверяют на герметичность. Рассмотрим проверку на

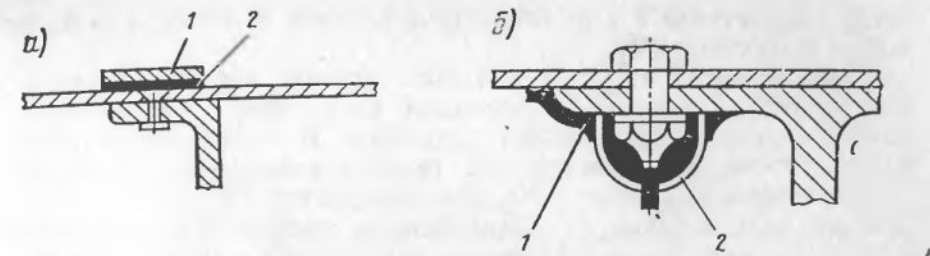


Рис. 5.28. Схемы местной герметизации

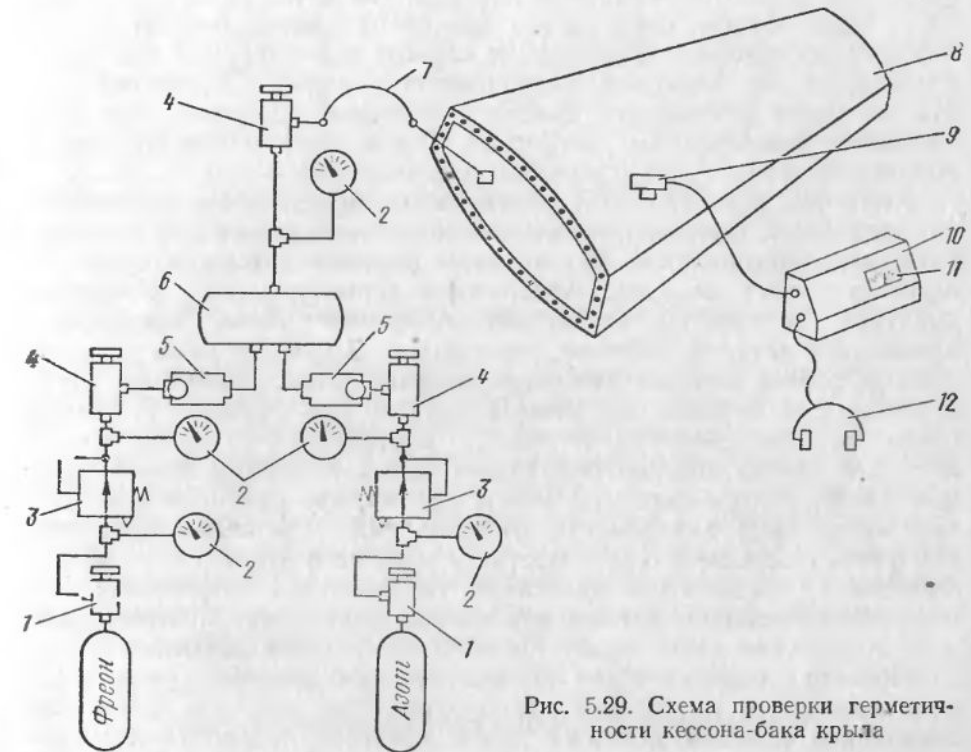


Рис. 5.29. Схема проверки герметичности кессона-бака крыла

герметичность кессонов-баков и фюзеляжа. Чаще всего кессоны-баки проверяют на герметичность давлением с применением смеси азота и фреона. На рис. 5.29 представлена схема такой проверки. Из баллонов при открытии кранов 1 газ попадает в редуктор 3, где давление снижается до рабочего (0,015—0,02 МПа). После открытия кранов 4, через обратные клапаны 5 газ попадает в смеситель 6 и шланг 7, подсоединенный к кессону-баку 8. На всем пути давление газов контролируется манометрами 2. Когда в кессоне-баке давление установится, герметичность контролируют с помощью галоидного течеискателя 10. В настоящее время широко распространены галоидные течеискатели типа ГТИ-6. Течеискатель принимает

сигнал от датчика 9 и выдает информацию о наличии течи на прибор 11 и наушники 12.

При ремонте могут встретиться случаи, когда герметизация достигается с помощью прокладки тиколовой уплотнительной ленты между соединяемыми деталями. В большинстве случаев такой способ применяется для герметизации узлов гермокабин.

Герметичность фюзеляжа контролируется двумя способами: дождеванием и наддувом. Дождевание применяется для проверки плотности прилегания иллюминаторов, дверей, люков, выдвижных форточек, стекол пилотских фонарей. Известно, что в полете в кабине имеется избыточное давление воздуха, которым люки, форточки, двери прижимаются изнутри. На земле такого давления нет. Через зазоры, щели влага может проникать в этом случае внутрь гермокабины. Дождевание служит для контроля плотности прилегания по контурам перечисленных узлов. Осуществляется эта операция достаточно просто с помощью шлангов или специальных дождевальных установок. После дождевания по следам подтекания воды судят о наличии неплотностей.

Контроль герметичности пневматическим способом гермокабин осуществляют, создавая определенное, установленное для каждого типа изделия давление. По времени падения давления судят о наличии утечек воздуха. Абсолютной герметичности фюзеляжа добиться не удается вследствие большого числа соединений, крепежных деталей, вырезов, гермоузлов. В связи с этим устанавливают нормы падения давления по его этапам. Например, пусть общее время падения давления с p_{\max} до p_{\min} равно T . Тогда время падения давления от p_{\max} до p_1 равно T_1 , от p_1 до p_2 — T_2 и т. д. В сумме должно получиться время T . Общее время падения давления разбивают на этапы потому, что интенсивность утечек меняется в зависимости от давления. Чем выше давление, тем утечки больше в одних местах и меньше в других. При малых давлениях, когда сила прижатия уплотнителей незначительна, могут быть найдены утечки при низких давлениях. Поэтому каждый этап имеет свою норму времени на падение давления.

Проверку герметичности пневматическим способом проводят в помещении при отсутствии посторонних лиц, так как случайное нарушение условий монтажа люка, двери, иллюминатора может привести при подаче давления к резкому их выбросу. Перед подачей давления изделие тщательно подготавливают, проверяют правильность закрытия всех проемов, снимают приборы, которые могут выйти из строя при подаче давления внутрь гермокабины.

На рис. 5.30 дана принципиальная схема контроля герметичности гермокабины. Подобная схема монтируется в стенде, который устанавливают у испытуемого самолета. Сжатый воздух через редуктор 1, предохранительный клапан 2 при закрытом кране 3 через вентиль 5 и дросселирующее устройство 6 попадает в трубопровод 10, соединенный с приемным штуцером самолета. Обратная линия состоит из трубопровода 9, через который с помощью вентиля 8 давление в кабине может быть стравлено.

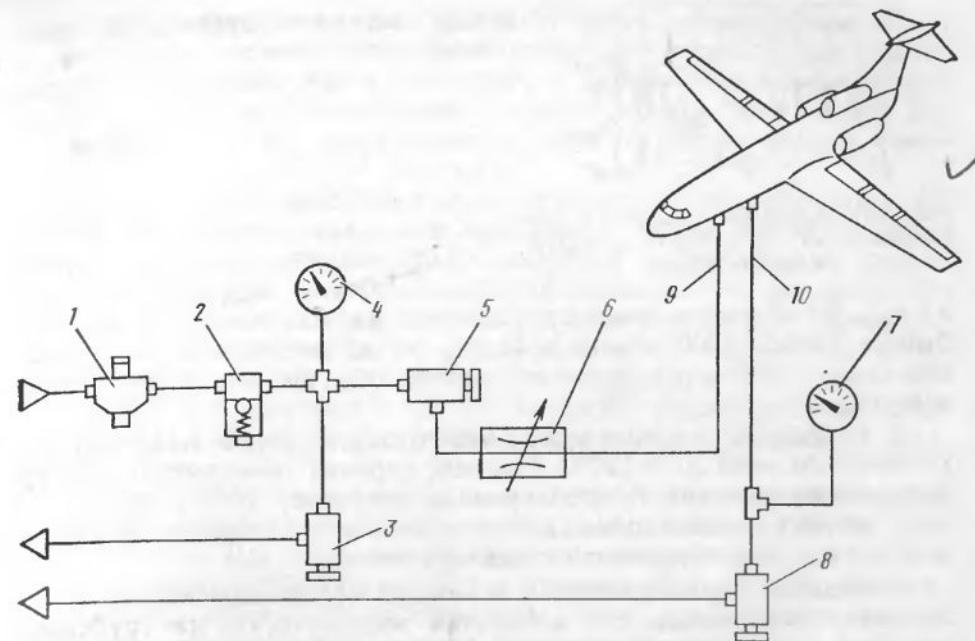


Рис. 5.30. Схема проверки герметичности гермокабины

В линии подачи сжатого воздуха давление контролируют с помощью манометра 4, а в обратной линии — манометра 7. В случае возникновения необходимости быстро стравить давление приводят в действие кран 3. Когда давление по манометру 7 станет равным заданному, закрывается вентиль 5 и дается выдержка. Результаты проверок герметичности заносят в специальный протокол. Все эти работы проводятся в присутствии ОТК. Контроль времени падения давления может быть автоматизирован с записью на бумажной ленте, которая является контрольным документом. В этих случаях протокол не заполняется.

5.4. РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ

Основные требования к ремонту. В конструкциях самолетов, вертолетов, в системах различного назначения (газопроводных, топливных, воздушных, жизнеобеспечения и спасения и др.) для транспортирования жидкостей, газов и дренажирования применяются трубопроводы. Соединение трубопроводов между собой и присоединение к агрегатам систем осуществляется с помощью арматуры различной конструкции.

В зависимости от условий работы, в процессе эксплуатации трубопроводы подвергаются сложному нагружению от воздействия рабочей среды, вибрации, температуры, монтажных напряжений, деформации элементов крепления и т. д. Так, в гидрогазо-

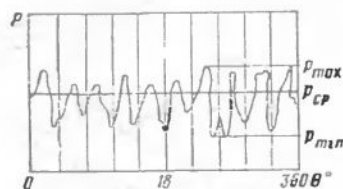


Рис. 5.31. Изменение давления в трубопроводе за один оборот пятиплунжерного насоса

вых системах трубопровод подвергается сжатию, растяжению, изгибу и скручиванию в условиях вибрации и пульсирующего давления жидкости. На рис. 5.31 показано изменение давления в системе. Здесь видно, что за один оборот пятиплунжерного насоса (360°) давление менялось много раз, достигая значений от p_{\max} до p_{\min} . Если учесть, что в современных насосах частота вращения бывает равной 4000 об/мин и более, станет очевидным, что давление будет циклически увеличиваться до p_{\max} десятки тысяч раз в минуту.

В гидросистемах во время полетов температура жидкости изменяется от -60 до $+120^\circ\text{C}$. Причем, перепад температуры между элементами планера и трубопровода достигает 100°C , что вызывает значительные напряжения циклического характера в трубопроводах и может привести к неисправности.

Поскольку трубопроводы с помощью отбортовок крепятся к планеру, деформации его элементов воздействуют на трубопровод. Так, например, отбортованный к 1-му лонжерону трубопровод изгибается в полете от действующих на крыло усилий совместно с ним.

В результате агрессивности рабочих сред, воздействия атмосферы, нарушений антикоррозийных покрытий и других причин возникает коррозия трубопроводов и арматуры. Жесткие трубопроводы изготавливают из бесшовных холоднокатаных и холоднотянутых труб. В числе наиболее распространенных материалов — трубы из стали 12X18H9T, 12X18H12T, алюминиевых сплавов АМг, АМц, технической меди М2, М3. Детали арматуры чаще всего изготавливают из стали марок 30ХГСА, 14Х17Н2, 38ХА, 45, алюминиевых сплавов Д1, Д16, В95, латуней ЛС59-1, Л62, Л68.

Гибкие трубопроводы (шланги) представляют собой рукав оплеточной конструкции с металлическими наконечниками на концах. Для гибких трубопроводов низкого давления применяют многослойные резиновые рукава с тканевыми прокладками, высокого давления — рукава высокого давления с металлической оплеткой или проволочной спиралью.

Применяются подвижные и неподвижные соединения трубопроводов между собой и с агрегатами: ниппельные, фланцевые, быстроразъемные, гибкие резиноталлические и резиновые шланги, а также неразъемные соединения, выполненные с помощью сварки или пайки.

В процессе эксплуатации в трубопроводах возникают повреждения в виде трещин, вмятин, риска, забоин, потертостей, коррозионных повреждений, нарушений антикоррозийных покрытий, остаточных деформаций. В соединениях трубопроводов обнару-

живаются повреждения развальцовки, износ и разрушение прокладок, деталей арматуры. Руководствами по ремонту или техническими условиями на изготовление и ремонт для определенных видов самолетов и вертолетов устанавливаются конкретные допускаемые виды и размеры повреждений трубопроводов и арматуры.

При ремонте трубопроводов и арматуры незначительные дефекты устраняют слесарными работами, поврежденные участки заменяют. Гибкие трубопроводы (шланги) заменяют при любых видах повреждений и при выработке назначенного ресурса. Замене подлежат также трубопроводы с повреждением соединительных поверхностей, так как дефект может привести к нарушению герметичности соединения. Не ремонтируют напорные трубопроводы при наличии трещин. Бракуют также трубопроводы и арматуру, имеющие разрушения, скручивание, глубокую коррозию.

При незначительных повреждениях трубопроводы ремонтируют по утвержденной технологии с учетом допусков на размеры данного дефекта. Допуски на механические повреждения устанавливают в зависимости от материала и нагруженности трубопроводов. Так, риски, забоины, расположенные на наружной поверхности изогнутого трубопровода, в зоне действия значительных растягивающих усилий, допускаются значительно меньших размеров, чем на прямом участке. Повреждения дренажного трубопровода или трубопроводов системы кондиционирования, покрытых теплоизоляцией, допускаются более значительными, чем на трубопроводе, работающем под высоким давлением. Допуски на повреждения, расположенные вдоль оси, могут отличаться от допусков на повреждения, расположенные поперек оси. Это определяется направлением действия главного напряжения. Если последнее действует так, что трубопровод растягивается, поперечная риска окажет большее влияние на его прочность.

При назначении допускаемых размеров повреждений (риск, забоин, потертостей) учитывается, в первую очередь, условие сохранения прочностных характеристик трубопровода. Но во всех случаях для снижения концентрации напряжений все повреждения должны быть зачищены до плавных переходов.

Нарушение геометрической формы трубы (вмятины, овальность, гофры в местах изгиба) оказывает значительное влияние на снижение ее долговечности и надежности. Овальность оценивается коэффициентом (%).

$$K = (D_1 - D_2) 100/D,$$

где D_1 — большая ось овала; D_2 — малая ось овала; D — номинальный диаметр.

Исследованиями установлено, что трубопроводы с $K=11 \div 15\%$ выдерживают в сотни раз меньше циклов нагружений, чем трубопроводы с $K=5\%$.

Высота гофра на внутренней стороне криволинейного участка трубопровода оценивается коэффициентом (%)

$$H = (D_2 - D_1) 100/D,$$

где D_1 — диаметр трубопровода по впадине гофра; D_2 — диаметр трубопровода по гребню гофра; D — номинальный диаметр трубопровода.

Гофры на трубопроводах, работающих под высоким давлением, как правило, не допускаются. Незначительные гофры мало нагруженных трубопроводов больших диаметров могут быть выправлены. Дефектация трубопроводов и арматуры производится после промывки и очистки от остатков рабочей жидкости, загрязнений и дефектного лакокрасочного покрытия путем осмотра, измерений, испытаний. Дефектация выполняется в соответствии с требованиями технологических карт.

Устранение повреждений. Ремонтные операции по восстановлению трубопроводов должны обеспечивать безотказную отработку ими установленного ресурса. Основные методы ремонта — зачистка, правка, сварка, пайка, восстановление лакокрасочного и антикоррозийного покрытий.

Зачисткой устраняют незначительные механические повреждения в виде рисок, забоин, потертостей наружной поверхности трубы. При этом обеспечивается полное устранение дефекта и плавные переходы в месте зачистки. Коррозионные повреждения на наружной поверхности, размеры которых не превышают допустимых, зачищают до полного удаления. Зачистку выполняют шабером, шлифовальной шкуркой.

Правкой восстанавливают участки трубы, имеющие вмятины, гофры, овальность. Этот процесс может быть выполнен жидкостным наполнителем или с помощью оправок, а также путем проталкивания или проталкивания технологического шарика. Устранение вмятин на трубопроводе до 20 мм выполняется по следующей схеме (рис. 5.32). В трубопровод 1 вставляют шарик 2, трубопровод подсоединяют к гидростенду, при этом второй конец трубы опускают в емкость 4. Шарик продавливается через дефектный участок постепенным повышением давления в трубопроводе. Проходя по трубопроводу, шарик выправляет вмятину 3 и затем попадает в емкость. Размер шарика обычно берут на 0,15 мм меньше внутреннего диаметра трубы.

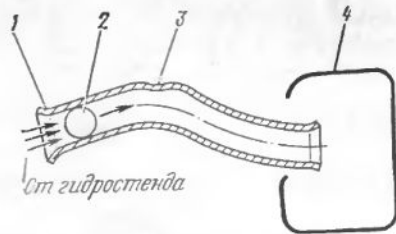


Рис. 5.32. Схема выправления вмятины трубопровода продавливанием шарика

Сваркой допускается ремонтировать сварные трубопроводы, работающие в системах среднего и низкого давления. Выполняются сваркой следующие виды работ: подварка швов и приварка арматурных деталей на трубах из коррозионно-стойких сталей и алюминиевых сплавов, заварка мелких механических де-

фектов на поверхности труб из алюминиевых сплавов в системах низкого давления. При ремонте, например, трубопроводов дренажных магистралей и воздушных систем обогрева и вентиляции производится подварка, удаление или замена поврежденного участка, приварка накладок или бужа. Пайкой допускается ремонтировать паяные швы и припаивать арматуру в соответствии с требованиями технологии.

Покрытия, поврежденные при эксплуатации, восстанавливают по методам, аналогичным применяемым при изготовлении трубопроводов, с предварительным удалением дефектного покрытия. При восстановлении антикоррозийного покрытия химической обработкой стальные трубы обычно фосфатируют, кадмируют или цинкуют, трубы из алюминиевых сплавов — анодируют или оксидируют, медные — пассивируют. Во всех случаях трубы проходят гидрофобизацию. Лакокрасочные покрытия выполняют после окончательной промывки и укупорки открытых концов. Окраску трубопроводов производят эмалью определенного цвета: трубопроводы топливной системы окрашивают в желтый цвет, воздушной — в черный, гидравлической — в серый, кислородной — в голубой, противопожарной — в красный.

Изготовление трубопроводов. При ремонте марка материала, геометрическая форма и размеры, а также защитные покрытия нового трубопровода должны соответствовать заменяемому.

Технологический процесс изготовления жестких трубопроводов включает следующие операции, содержание которых устанавливается в зависимости от типа трубопровода: отрезка заготовки, обработка торцов, химическая обработка заготовок, гибка, промывка, сварка, пайка, испытания на прочность, окончательная промывка, укупорка концов, окраска и маркировка.

Заготовка трубы должна соответствовать требованиям чертежа по размерам, состоянию поверхности, химическому составу и механическим свойствам. Длина заготовки определяется по чертежу или по заменяемому трубопроводу, как эталону, с учетом припуска на образование соединительной конфигурации концов труб и на гибку. Например, припуск на каждую развальцовку, в зависимости от диаметра и материала труб, колеблется от 0,4 до 1,5 мм. Припуск на гибку зависит от ее вида, диаметра трубы и материала.

Резка труб производится на абразивно-отрезных, труборезных станках или на специальных станках с дисковыми пилами.

Обработка концов труб в зависимости от конструкции соединения трубопроводов выполняется в виде: торцовки под развальцовку; обработки под сварку, пайку; торцовки концов перед гибкой со снятием заусенцев, которая выполняется одновременно с отрезкой на труборезном станке.

Гибка трубопроводов выполняется после промывки трубы. В зависимости от оснащённости производства, материала и размеров трубы, имеющегося оборудования может быть выбран метод гибки: обкаткой, наматыванием, проталкиванием. Гибка мо-

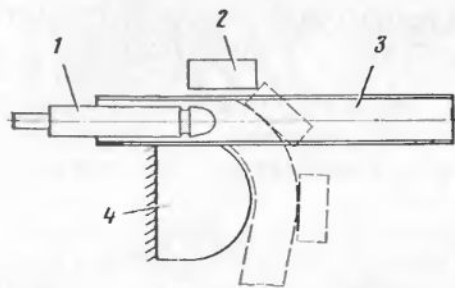


Рис. 5.33. Схема гибки трубопровода с применением дорна

канифоль сосновую. Сыпучие и легкоплавкие наполнители в авиаремонтном производстве, как правило, применяются реже, так как их использование не исключает загрязнения трубопроводов и повышает трудоемкость процесса.

При наполнении заготовки трубопровода жидкостью АМГ-10 под давлением гибка производится быстро и высококачественно. Давление наполнения выбирают в зависимости от материала и размеров трубы. При гибке наполненных труб гидростенд может быть как подключен, так и отключен. В последнем случае со стороны стенда устанавливается быстроразъемный гидроклапан.

Без наполнения трубопровод может быть изогнут с помощью специальной оправки (дорна), которая предотвращает образование гофра в сжатой зоне. На рис. 5.33 представлена схема гибки трубопровода 3. В него вставляют дорн 1. Дорн смазывают маслом «Сульфазрезол». Затем подвижной оправкой 2 производят обкатку по неподвижной оправке 4. Радиус гибки трубопровода существенно влияет на его долговечность. Исследования показали, что с уменьшением радиуса изгиба предел выносливости резко падает. В связи с этим на участках магистралей с высоким пульсирующим давлением рекомендуется выбирать радиус изгиба $R \geq 3d$, где d — наружный диаметр трубопровода. Изогнутый одним из описанных способов трубопровод после очистки и промывки поступает на рабочее место, где обрабатывают концы трубопроводов под соединение.

Наиболее распространенным является ниппельное соединение трубопроводов (рис. 5.34). Трубопровод 1 с помощью ниппеля 2 присоединяется к арматуре. При техническом диагностировании определяют основные геометрические параметры ниппельного соединения: угол развальцовки α , расстояние от обреза трубопровода до ниппеля, толщину стенки конца трубопровода, радиус изгиба у основания развальцовки. Здесь следует иметь в виду, что существует два размера углов развальцовки: $66^\circ + 1^\circ$ и $74^\circ - 2^\circ$. Так что при проверке шаблонами необходимо внимательно относиться к определению угла.

Качество развальцованной части трубопровода имеет решаю-

щее значение для обеспечения герметичности соединения. На этой поверхности не допускается повреждений любых видов. Такие же требования предъявляют к ответной конусной части арматуры. Для устранения мелких повреждений типа рисок, наволакивания металла, применяют притирку.

Широко применяются соединения трубопроводов с помощью гибких рукавов. В этом случае конец трубопровода зигуют на механических зиговальных станках, ручным приспособлением или с помощью установки с гидроприводом (для трубопроводов диаметром более 12 мм).

В отдельных случаях может применяться, если это предусмотрено конструкцией, пайка труб из меди или коррозионно-стойких сталей. Все трубопроводы поступают на пайку в изогнутом виде.

Во всех случаях полностью изготовленный трубопровод промывают соответствующей жидкостью (бензином, спиртом для кислородного трубопровода и т. п.). Качество промывки проверяют продувкой чистым, сухим сжатым воздухом на белую салфетку, а в особо ответственных случаях протягиванием через трубопровод замшевого пыжа.

Перед установкой на самолет или вертолет трубопровод проходит испытания на прочность (опрессовку) или герметичность, если в конструкцию входит промежуточное соединение.

После окончания ремонта любой трубопровод закрывают заглушками и пломбируют, чтобы исключить загрязнение и попадание посторонних предметов. Окрашенный в соответствии с назначением трубопровод поступает в комплекточное отделение для передачи на монтаж.

5.5. РЕМОНТ АГРЕГАТОВ СИСТЕМ

Основные требования к ремонту. Агрегаты гидрогазовых, топливных, воздушных систем самолетов и вертолетов — клапаны, переключатели, регуляторы, насосы — могут поступать в ремонт в двух случаях: после отработки установленного межремонтного ресурса и при отказе. Ремонт агрегатов осуществляется по типовой схеме: приемка в ремонт, объемная дефектация, разборка и промывка, комплектование в ремонт, техническое диагностирование, ремонт, сборка и испытание.

Приемка в ремонт состоит в проверке документации, выяснении наработки в установленных для каждого агрегата единицах (часах, посадках, числе срабатываний), причины отправки в ремонт. При отработке или незначительном остатке назначенного ресурса агрегат подлежит списанию. Агрегат, поступивший в ре-

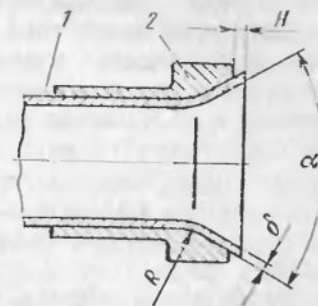


Рис. 5.34. Геометрические размеры развальцовки конца трубопровода под ниппельное соединение

монтаж после отказа, в процессе объемной дефектации обычно проверяют на соответствие техническим условиям до разборки, что даст возможность целенаправленно вести поиск дефекта. На этом же этапе с помощью визуально-оптических методов контроля определяют наличие остаточных деформаций, видимых разрушений, грубых механических повреждений. Браковочные признаки в этих случаях предусматривают допускаемые повреждения для ремонта. При наличии изломов, значительных деформаций и других дефектов ремонт может оказаться недопустимым, агрегат подлежит замене.

Разборка и сборка агрегатов должны производиться с помощью бестисковых приспособлений. Корпус для разборки не должен зажиматься в слесарных тисках, ибо при этом повреждается зажимаемая деталь. Эти повреждения (вмятины, риски, остаточная деформация и т. п.) опасны тем, что они могут быть не обнаружены, имеют скрытый характер, что с течением времени вызовет отказ. Во избежание этого агрегаты крепятся по присоединяемым к конструкции деталям: фланцевым или другим отверстиям в корпусах. На рис. 5.35 приведен пример такого крепления. К столешнице верстака 5 болтами прикреплен кронштейн 4, на котором установлена поворотная планшайба 2. На ее шпильки устанавливают агрегат 1. Планшайба рукояткой 3 эксцентрикового фиксатора устанавливается в удобное для работы положение. В отдельных случаях, когда крепежные отверстия не предусмотрены конструкцией, зажим может производиться в специальных малых тисках со вставленными губками, по форме соответствующими крепежному месту: накидной гайке, шестиграннику на корпусе и т. п. Описанный принцип позволяет нагружать детали, конструктивно приспособленные для таких операций, что значительно снижает вероятность повреждения при сборке и разборке.

При выборе способа очистки и промывки учитывают природу удаляемых пленок и загрязнений. Механические способы очистки не должны наносить недопустимых повреждений очищаемых деталей.

Подавляющее большинство агрегатов бортовых систем имеет строго ограниченные ресурсы, что делает их детали незаменимыми по наработке. Поэтому

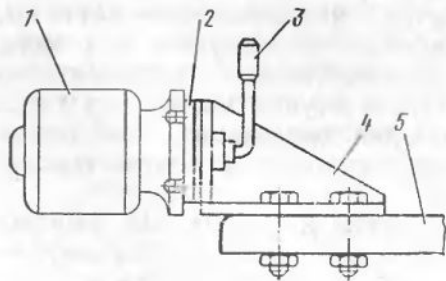


Рис. 5.35. Приспособление для бестисковой сборки или разборки агрегата

каждый агрегат комплектуется в ремонт и сборку. На авиаремонтных предприятиях для комплектования применяют сортовики — тару для укладки принадлежащих данному агрегату деталей. Конструкция сортовика должна исключать их повреждение, иметь ячейки для укладки деталей, особенно чувствительных к механическим повреждениям (например, золотники, гильзы золотников,

плунжеры и др.). Сортовики изготавливают из мягких материалов: резины, пластмасс, мягких алюминиевых сплавов. В них укладывают очищенные и промытые детали в полном комплекте, в соответствии с ведомостью комплектации. Это дает возможность на всех последующих этапах исключить попадание в ремонт не принадлежащих данному агрегату деталей.

При серийном ремонте агрегатов на некоторых предприятиях применяют поточный метод, что позволяет выполнять ремонт с высокой производительностью труда. Однако поточный метод целесообразно применять только при большой программе выпуска и узкой номенклатуре выпускаемых изделий. Особенности технологического процесса ремонта агрегатов диктуют необходимость соблюдения ряда условий организации производства. Применение высокопоточных деталей, золотниковых пар, ответственных сочленений в подвижных механизмах требуют высокого уровня чистоты всего производства, ибо попадание посторонних предметов при определенной наработке может вызвать отказы. Многие агрегаты имеют тупиковые зоны, из которых загрязнения вымывать крайне затруднительно. Чтобы исключить попадание загрязнений на участках ремонта и сборки агрегатов категорически запрещают выполнять слесарно-механические работы: запиловку, зачистку, развертывание и т. п. Для этих работ выделяют отдельное помещение, где имеются набор инструмента и соответствующее станочное оборудование: сверлильные, фрезерные, заточные станки, механизированные установки для зачистки. Потеря времени на переходы работников в другое помещение окупается значительным повышением качества ремонта и сборки.

Участок технического диагностирования агрегатов оснащают средствами неразрушающего контроля: микроскопами, ультразвуковыми, вихретоковыми и магнитными дефектоскопами, оборудованием для капиллярной дефектоскопии. Большое значение при ремонте агрегатов имеют измерения, поскольку большая часть подвижных деталей изготавливается с высокой точностью. Участки технического диагностирования в связи с этим снабжаются рычажными микрометрами, нутрометрами, ротаметрами и другим высокоточным измерительным инструментом.

Устранение повреждений. Основные дефекты, возникающие в деталях агрегатов: трещины, кавитационные разрушения, эрозия, коррозия, износы в подвижных и неподвижных сочленениях, механические повреждения, остаточные деформации.

Большая часть трещин появляется, как результат усталости металлов, особенно в местах концентрации напряжений и перепадов жесткости. Появлению трещин способствуют резкие механические повреждения: забоины, вмятины, риски. Наиболее часто трещины возникают в деталях, подвергающихся знакопеременному, циклическому нагружению, например в валах, осях и других вращающихся деталях насосов. Могут появиться трещины в результате возникновения монтажных напряжений в местах крепления вследствие неравномерной затяжки, установки с перекосом.

Способствуют возникновению этого дефекта наличие вибраций некоторых агрегатов, вызываемых как внешними условиями, так и изменением силового воздействия рабочего тела (жидкости, газа).

Трещины на деталях агрегатов, как правило, не допускаются. Ремонт трещин с помощью сварки разрешают, исходя из ремонтно-пригодности материала детали, влияния ее на прочностные характеристики, что оговаривается в технологиях ремонта.

Развитию коррозионных, эрозионных и кавитационных повреждений способствуют наличие влаги, загрязнений (особенно абразивных частиц), длительное пребывание агрегатов на земле без рабочей жидкости и другие факторы. Браковочными признаками устанавливаются допускаемые для ремонта размеры повреждений или требующие замены детали. После удаления продуктов коррозии ее очаги зачищают до получения плавных переходов с восстановлением антикоррозийного покрытия.

Износы появляются в различных сочленениях вследствие фреттинг-коррозии, абразивного, механического и других видов изнашивания. Механические повреждения, как правило, возникают при небрежной эксплуатации или попадании посторонних частиц в район движущихся элементов конструкции агрегата. Размеры изношенных деталей восстанавливают химическим никелированием, хромированием и с помощью других пленкообразующих покрытий. Геометрическую форму валов и отверстий восстанавливают механической обработкой: развертыванием, растачиванием, фрезерованием, притиркой. При этом следует иметь в виду, что необходимо избегать применения абразивного инструмента, поскольку мелкие абразивные частицы при обработке внедряются в поверхностные слои и способствуют увеличению износов. При притирке в связи с этим не рекомендуется употреблять абразивные пасты, особенно это нежелательно при обработке поверхностей из сравнительно мягких цветных сплавов.

Ремонт деталей герметизации. Неметаллические детали герметизации — манжеты, кольца, прокладки, как правило, при ремонте заменяют, так как в процессе работы они деформируются и при длительном пребывании в таком состоянии приобретают искаженную форму, стареют. Вторично с их помощью герметизации добиться невозможно. При замене уплотнений важно учитывать размер посадочных мест, в которые устанавливают манжеты, кольца (круглые и прямоугольные). Поскольку при ремонте после удаления механических повреждений, неравномерных износов размеры канавок изменяются, вновь устанавливаемая резиновая деталь должна быть по размеру такой, чтобы уплотнение не нарушилось. Следует учитывать, что при большом радиальном зазоре кольцо может быть выдавлено, увеличение диаметра кольца увеличивает трение уплотняемых деталей, при уменьшении диаметра сечения кольца увеличивается износ, нарушается герметичность. При изготовлении или установке нового кольца важно иметь в виду, что при хранении материал стареет, изменяются его свойства. Твердость резин су-

щественно влияет на выдавливание кольца в зазор. Более твердые резины вызывают повышение усилий трения. Проверка качества материала уплотнительных колец и манжет в связи с этим имеет первостепенное значение.

На некоторых авиаремонтных предприятиях изготавливают уплотнительные кольца. В этих случаях необходимо следить за шероховатостью поверхности детали, обеспечивая полное удаление облоя, который образуется по разьему пресс-формы. Эти разьемы располагают так, чтобы они не находились на рабочей части кольца.

Большое значение имеет форма и качество обработки поверхности детали (поршня), в которую устанавливается уплотнительное кольцо. Если концентричность кольцевой канавки будет нарушена, то оно с одной стороны будет излишне обжато, а с противоположной стороны — может потерять контакт с уплотняемой поверхностью, и герметичность не будет соблюдена. При установке кольца в канавку обеспечивают предварительное сжатие поперечного сечения (рис. 5.36, а) на размер

$$k = d - b,$$

где d — диаметр поперечного сечения кольца; b — глубина уплотнения.

Предварительное сжатие обеспечивает герметичность до подачи давления. Для создания плотного контакта герметизирующего кольца с поверхностью канавки поршня обеспечивают растяжение кольца

$$a = (D_1 + d) / (D + d),$$

где D_1 — диаметр канавки; D — внутренний диаметр кольца; d — диаметр поперечного сечения кольца.

Рекомендуемые значения величин a и b в зависимости от сжатия k приведены на рис. 5.36 б. Растяжение кольца нормируют в связи с тем, что при растяжении поперечное сечение становится сплюснутым. Контакт при этом будет не по линии, а по цилиндрической поверхности, что увеличивает силу трения. Шероховатость уплотняемых поверхностей, особенно в подвижных парах, играет значительную роль в обеспечении герметичности. Грубая обработ-

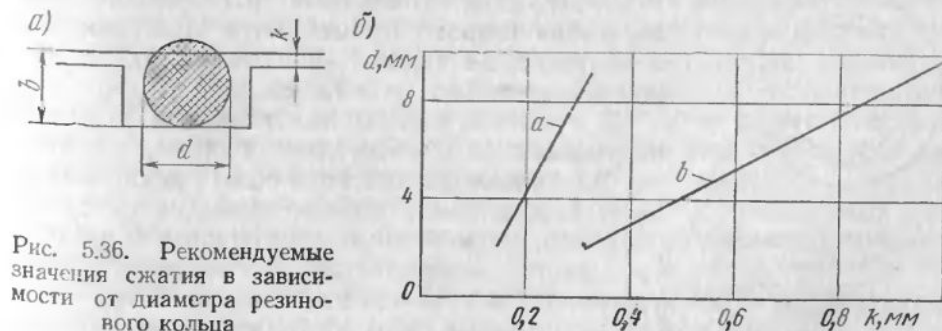
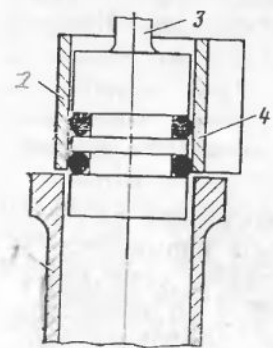


Рис. 5.36. Рекомендуемые значения сжатия в зависимости от диаметра резинового кольца

ка, большая высота микронеровностей увеличивают износы, ибо выступы многократно деформируют материал уплотнения. При уплотнении вращающихся пар имеет значение не только шероховатость, но и наличие винтовых канавок, которые могут образоваться при токарной обработке. Если направление винтового подъема канавок совпадает с направлением вращения вала, рабочая жидкость будет подаваться вдоль канавки и герметичность нарушится.

Однако доводить шероховатость поверхности до очень высоких классов, например полировать их, недопустимо, так как и в этих случаях может быть нарушена герметичность. На сглаженной поверхности смазка не имеет возможности задержаться во впадинах микронеровностей, усилие трения увеличивается, темп процесса изнашивания возрастает. Поэтому выбирают оптимальную шероховатость поверхности. Например, для сталей обычно обрабатывают поверхность до $Ra=0,32\div 0,16$, для цветных сплавов до $Ra=1,25\div 0,63$.

С учетом описанных особенностей производят замену уплотняющих деталей. Процесс замены должен быть построен так, чтобы при установке колец, манжет в собираемый агрегат они не повреждались. Поскольку их наружный диаметр несколько больше цилиндра (размер k на рис. 5.86, а), при установке кольцо может быть острыми кромками повреждено.



При установке поршня с манжетами в цилиндр резиновые кольца предварительно обжимают с помощью хомутов-обжимок. На рис. 5.37 показана схема установки в цилиндр 1 плунжера 3 с уплотнительными кольцами 2. Перед установкой хомут 4 обжимает кольца усилием, создаваемым на рукоятке 5. Плунжер проталкивается в цилиндр, и кольца 2 в обжатом состоянии свободно проходят в цилиндр. Этот прием позволяет избежать разрушений, которые после установки колец не смогут быть обнаружены в собранном агрегате.

Ремонт золотниковых и плунжерных пар. В конструкциях топливных и гидравлических агрегатов широко применяются золотниковые и плунжерные пары. Как правило, их надежность определяет надежность всего агрегата.

В процессе работы золотник или плунжер перемещаются относительно гильзы, цилиндра. Возникающие при этом силы трения вызывают изнашивание контактирующих пар: абразивное, механическое, схватывание и др. Интенсивность изнашивания золотниковых пар усугубляется тем, что на золотник могут действовать осевые силы N со смещением относи-

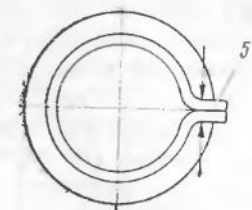


Рис. 5.37. Применение обжимного хомута для монтажа уплотнительных резиновых колец

тельно центра (рис. 5.38), и тогда возникают боковые силы T , приводящие к контактированию на ограниченных по площади участках и повышенному износу в этих местах. Во многих подвижных парах герметизация достигается за счет гарантированного малого зазора (щели). В узких щелях уплотнение достигается тем, что жидкость имеет свойство сопротивляться деформации потока. Это сопротивление падает с увеличением размера щели, герметизация нарушается. Поскольку износы приводят к изменению размеров деталей пар, зазоры могут увеличиваться, что является основным дефектом, обнаруживаемым при ремонте.

При ремонте деталей золотниковых пар размеры восстанавливают с помощью износостойких покрытий или подбором размеров входящих деталей. Заводы-изготовители во многих случаях поставляют полуфабрикаты, а при ремонте необходимые размеры получают притиркой с помощью алмазных паст. Все агрегаты с золотниковыми парами испытывают, проверяют на герметичность и перемещение золотников. Герметичность можно контролировать измерением перетеканий, а перемещение — вихретоковыми датчиками. Последний способ основан на регистрации изменения характеристик магнитных полей при перемещениях движущихся деталей.

Ремонт пружин. Во многих агрегатах применяются пружины для обеспечения соответствующих перемещений (например, возвратных) или создания заданных усилий в агрегатах (например, в предохранительных клапанах). В процессе эксплуатации пружины теряют упругость, на их поверхности возникают коррозионные повреждения, нарушаются защитные покрытия, возникают механические повреждения, остаточные деформации, реже — трещины. Не разрушающими методами контроля выявляются все возможные дефекты. Основным браковочным признаком для пружин служит потеря упругости. При дефектации замеряют длину пружины и ее диаметр (для цилиндрических пружин). Техническими условиями и технологией ремонта для некоторых пружин предусматриваются измерения расстояния между витками, а для ответственных цилиндрических пружин — контроль перпендикулярности торцов относительно продольной оси. Затем на специальной установке или обычной разрывной машине проверяют упругие характеристики, сверяя с данными нормалей или чертежей. На рис. 5.39 изображен типовой график работы пружины сжатия. При сжатии до L_2 усилие должно быть равно P_2 , при сжатии до L_1 усилие должно быть равно P_1 . Потеря упругости приводит к изменению заданных характеристик пружины, и она подлежит замене.

Обычно пружины работают при циклическом нагружении, и браковочными признаками устанавливаются довольно жесткие разме-

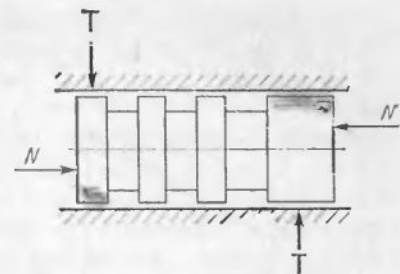


Рис. 5.38. Силы, действующие на золотник

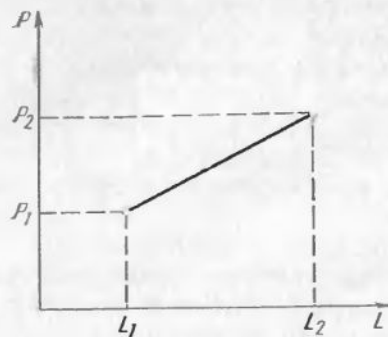
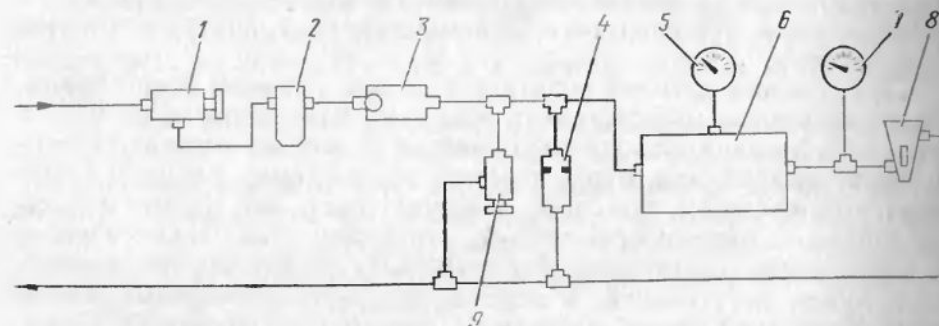


Рис. 5.39. Сжатие пружины при нагрузке

Рис. 5.40. Схема стенда для испытания гидравлического агрегата



ры допускаемых повреждений (глубины коррозии, механических повреждений).

Остаточные деформации не допускаются, поскольку это свидетельствует о потере упругих свойств и низкой долговечности. При выявлении трещин пружины заменяют, ибо при переменных нагрузках они приводят к быстрому разрушению.

Сборка и испытание. Отремонтированные агрегаты собирают в бестисковых приспособлениях после окончательной промывки и очистки всех деталей. Собранный агрегат испытывают на общих или специализированных стендах, измеряя при этом параметры, заданные техническими условиями на конкретное изделие. При ремонте испытания проводят точно в соответствии с техническими условиями завода-изготовителя на новый агрегат, не допуская никаких отступлений. Без этого надежность и долговечность агрегата не могут быть обеспечены. При отступлении от технических условий по какому-либо параметру (давлению, расходу, скорости срабатывания, утечкам и др.) изменяются условия работы системы, в которой установлен агрегат, изменятся режимы работы деталей самого агрегата. Все это приведет к общему снижению надежности бортовых систем.

Испытания агрегата обычно проводят в два этапа: проверяют герметичность и работоспособность, а затем контролируют и регулируют заданные параметры. В технологию ремонта, как уже отме-

чалось, включают контролируемые параметры на основании технических условий на новые агрегаты: расходы жидкости, время срабатывания, объемы перетеканий. На рис. 5.40 дана типовая схема испытания гидравлического агрегата с использованием типовых элементов: кранов 1, 9, фильтра 2, обратного клапана 3, дросселя 4, манометров 5, 7, расходомера 8. При закрытом кране 9 к агрегату 6 давление подается, изменяется его значение до и после агрегата манометрами 5 и 7, количество пропускаемой жидкости измеряется расходомером 8. При необходимости регулирования напора до агрегата используют кран 9. При наличии типовых элементов эта схема может быть универсальной. Однако такие агрегаты, как насосы (центробежные, поршневые, шестеренные), требуют специализированных стендов. Специальное оборудование устанавливается для испытания агрегатов систем кондиционирования, антиобледенительной.

Здесь могут применяться барокамеры, установки для климатических испытаний и другое оборудование.

На некоторых авиаремонтных заводах испытательное оборудование устанавливается в отдельном помещении. Централизация испытаний позволяет значительно поднять культуру производства, повысить ответственность обслуживающего персонала, значительно увеличить производительность труда за счет специализации, резкого сокращения транспортных путей.

Достигается сокращение затрат времени на очистку, охлаждение рабочих жидкостей, их замену, поскольку питание стендов централизовано.

Жидкости, применяемые для испытания агрегатов, должны строго соответствовать требованиям к их чистоте. Поэтому стендовому оборудованию требуются очистители, чаще всего центробежного типа. Вводится систематический гранулометрический контроль для определения наличия и количественной оценки загрязняющих частиц. Как можно чаще проверяют вязкость масла, которая изменяется при длительном употреблении вследствие явления, называемого *мятием масла*. Это явление заключается в том, что вязкость при длительной работе большинства минеральных масел в условиях высоких давлений при дросселировании с большим перепадом температур может значительно понизиться. Происходят молекулярно-структурные изменения (деструкция) масел при механическом нагружении. Особенно потеря вязкости характерна для АМГ-10, содержащего вязкие добавки, состоящие из длинных цепочек молекул. Эти цепочки при продавливании через узкие зазоры разрушаются. Свойства рабочих жидкостей нормируются стандартами.

После окончания испытаний оформляются соответствующие документы. Все открытые полости отремонтированных агрегатов закрывают заглушками установленного образца и пломбируют. Если предстоит длительное хранение, агрегаты консервируют для предотвращения коррозионных повреждений, старения герметизирующих материалов. Способы консервации оговаривают для каж-

дого агрегата в зависимости от его конструкции, применяемых рабочих жидкостей, условий хранения, способов транспортировки и других факторов.

5.6. РЕМОНТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Основные требования к ремонту. В настоящем подразделе рассмотрены механические системы управления. В современных самолетах применяется большое число гидравлических, электрических устройств для приведения в движение управляющих поверхностей (рулей, элеронов, триммеров, флаттеров, предкрылков, закрылков, интерцепторов и т. д.). Однако во всех случаях от управляющих органов в кабине пилотов на современных самолетах движение передается с помощью тяг, тросов, качалок. Протяженность кинематических цепей зависит от типа самолета и усилий, которые необходимо преодолеть пилоту для управления самолетом, вертолетом и авиадвигателями. На больших транспортных воздушных судах, сверхзвуковых самолетах кинематические связи системы управления сводятся к минимуму, ибо в этих случаях усилия пилота недостаточно для перемещения управляющих поверхностей. В некоторых конструкциях, где на определенных режимах полета незначительное перемещение рычагов управления вызывает резкое изменение положения самолета, применяют различные загрузкатели, чтобы создать ощутимое усилие на штурвале или педалях, для исключения случайного отклонения рулей или элеронов.

Ремонт системы управления разделяется на две части: ремонт съемного и несъемного оборудования. Перечень ремонтируемых деталей той и другой группы устанавливается технологией ремонта, разработанной на основании действующих перечней работ. Поскольку управление самолетом, вертолетом и авиадвигателями — система, наиболее существенно влияющая на безопасность полетов, большая часть деталей кинематической схемы снимается для проведения технического диагностирования.

В кинематической схеме имеются тяги, качалки, ролики, тросы, гермовыводы, кронштейны. Поскольку система подвижна, в нее входят шарнирные узлы с использованием подшипников качения или скольжения. В подвижных узлах с течением времени появляются износы, что требует проведения соответствующих измерений. Появляются механические повреждения: потертости, забоины, вмятины, риски. Основные причины появления этих дефектов — недостаточные зазоры, небрежная эксплуатация, наличие вибраций. Большие нагрузки в особых случаях полета могут привести к появлению остаточных деформаций, трещин. Трещины возникают также от нарушений технических условий монтажа (несоосности, перекосы), наличия концентраторов напряжений, появления значительных износов различного рода, в результате чего возникают ударные нагрузки, в свою очередь увеличивающие темп процесса изнашивания. Применение некачественного материала, нарушение

режимов термообработки также могут вызвать появление трещин.

Следует иметь в виду, что многие воздушные суда на некоторых участках системы управления не имеют резервирования, не имеют дублирующих кинематических элементов. В этих условиях надежность каждой детали систем управления непосредственно влияет на надежность всей конструкции. Отсюда вытекает необходимость такого построения технологического процесса ремонта, при котором исключалась бы всякая возможность отступления от технических условий. Достигают этого с помощью тщательного технического диагностирования, как в цеховых условиях, так и на самолете, многократного пооперационного контроля, отработки и испытания собранных систем и другими методами.

Для недублированных систем устанавливают значительно более жесткие браковочные признаки на все виды повреждений, чем для остальных систем. Стопорение болтовых и винтовых соединений в узлах системы управления с учетом того, что применяется много одноболтовых соединений, имеет значительно большее значение, чем в других системах. Здесь это может привести даже при одном рассоединении к отказу всей системы и невозможности управлять полетом.

При техническом диагностировании деталей системы управления применяют все виды неразрушающего контроля, производят измерения с возможно более высокой точностью. Механические повреждения в пределах установленных браковочных признаков устраняют обычными слесарно-механическими способами. Размеры восстанавливают с помощью покрытий. В некоторых случаях трещины ремонтируют подваркой. Однако это разрешается выполнять на неподвижных деталях (например, опорных кронштейнах), если трещина возникает не из-за усталостного разрушения. Например, при перекосах могут возникнуть значительные монтажные напряжения, вызывающие появление трещины. После устранения этого недостатка монтажные напряжения исчезнут и подварка окажется достаточно долговечной.

Ремонт тросовой проводки. Поскольку в системах управления самолетом, вертолетом и авиадвигателем применяется тросовая проводка, а тросы зачастую преждевременно выходят из строя, бракуются при ремонте, проводку приходится заменять. Многие ремонтные предприятия изготавливают ее своими силами.

Для проводки управления применяются тросы типа КСАН (канаты стальные авиационные нераскручивающиеся) по ГОСТ 2172—80 или другие. Для предотвращения коррозии тросы оцинкованы, пропитаны антикоррозионным и антифрикционным составом. Нити и пряди тросов при контактировании в процессе работы могут изнашиваться, что снижает их долговечность. Пропитка антифрикционным составом снижает износы при трении. В связи с этим тросы могут протираться для очистки только сухими салфетками, так как растворители, бензин и другие вещества растворяют пропитку тросов. Тросы, поставляемые в бухтах, подлежат предварительной вытяжке. Это делается в связи с тем, что нити и пряди под нагруз-

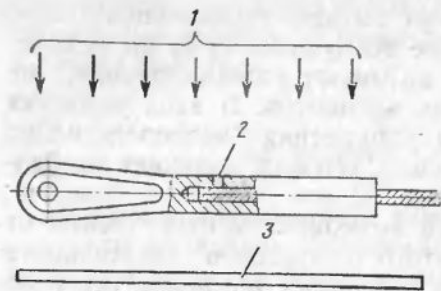


Рис. 5.41. Схема просвечивания наконечника троса

концов для ускорения всего процесса, при этом длина ветви должна быть в пределах 5—6 м, ролик должен иметь диаметр не менее 135 мм во избежание резких перегибов. Выдерживается трос под нагрузкой 20—50 мин. Причем в процессе вытяжки по мере удлинения троса нагрузка падает и ее приходится увеличивать. Концы тросов, входящих в проводку управления, заделываются в наконечники обжатием на специальном станке. Качество заделки в обжатом наконечнике контролируется рентгенографией, испытаниями на прочность заделки и разрушающими методами. На рис. 5.41 показано направление лучей 1 при просвечивании наконечника. На рентгеновской пленке 3 четко просматривается глубина захода троса в наконечник, которая для каждого типа заделки строго регламентируется. Если трос окажется у границы контрольного отверстия 2, заделку бракуют, так как в процессе эксплуатации может произойти сдвиг троса. Качество заделки каждого троса также проверяется на специальных испытательных стендах приложением усилий к наконечникам. Усилия, которые должен выдержать трос, оговаривают технологией изготовления.

Около 5% тросов из партии подвергают разрушающему контролю с тем, чтобы исключить возможность использования проводки с некачественно заделанными наконечниками. Здесь важно учесть, что инструмент для обжатия изнашивается, могут быть нарушения технологического процесса и даже входной контроль тросов, наконечников и других деталей недостаточен. Испытания проводят на разрывных машинах. Усилия разрыва оговариваются в технологических документах. После изготовления тросы пропитывают пластичной смазкой в течение 5—10 мин (например, ПВК). Цель пропитки — дополнительная антикоррозийная защита и придание антифрикционных свойств тросам. Каждый трос маркируется с помощью наклеиваемого трафарета, изготовленного из тонкой ткани (батиста, перкаля и т. п.).

При установке тросовой проводки в конструкцию следует иметь в виду, что основное условие ее нормального функционирования — натяжение. Стальной трос и конструкция планера, изготовленного из алюминиевых сплавов, имеют различные коэффициенты линей-

кой вытягиваются, трос удлиняется, что при установке в действующую проводку может привести к значительному ослаблению ее натяжения и даже к потере в связи с этим работоспособности всей проводки.

Предварительная вытяжка производится в специальных приспособлениях в соответствии с ГОСТ 3120—75. На каждый диаметр и тип троса устанавливается нормированное усилие. Трос может вытягиваться в несколько

ного расширения, и при изменении температуры сила натяжения троса изменяется. Чрезмерное увеличение натяжения вызовет перегрузку элементов проводки, ослабление даст провисание тросов и появление недопустимого свободного хода. Натяжение измеряют с помощью прибора, называемого тензометром. Для каждого типа и размера тросов дается графики их натяжения в зависимости от температуры окружающего воздуха. На рис. 5.42 прямая 1 показывает значения натяжений для тросов стопорения, прямая 2 — для тросов управления элеронами. Если, например, определить натяжение троса P по прямой 2 при температуре -20°C , то оно окажется равным 400 Н, а при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ увеличится до 700 Н. На этом примере видно, какое значительное изменение усилия натяжения претерпевают с изменением температуры окружающего воздуха.

В конструкцию тросовой проводки входят опорные ролики. Наиболее распространенные дефекты роликов: трещины, выкрашивание реборд, износы подшипников, превышающие установленные допуски. В этих случаях ролики при ремонте заменяют новыми. При дефектации несъемного оборудования или монтаже обращают внимание на правильность накатывания троса на ролик. Трос должен накатываться на ролик в плоскости его вращения. Допускается незначительное отклонение. При этом устанавливают допуск: отклонения в градусах на определенном расстоянии от оси ролика. Например, на средних магистральных самолетах допускают отклонение в 2° на расстоянии 100 мм.

Замена и смазка подшипников. В системах управления самолетом и авиадвигателями, в кронштейнах навески управляющих поверхностей, качалках, тягах и других узлах установлены шариковые, роликовые и шарнирные подшипники. В процессе эксплуатации подшипники изнашиваются, подвергаются коррозионным повреждениям, на их деталях появляются трещины. В связи с этим подшипники заменяют. Подшипники закрепляются в соответствующих узлах различными способами: закаткой, кернением, приклейкой, с помощью пружинного кольца и др.

На рис. 5.43 показана заделка кернением (а) и завальцовкой шариком (б). В корпус 1 (проушина, вилка, качалка) устанавливают подшипник 3 по предусмотренной чертежом посадке. С помощью пуансона или шарика, установленного в приспособление, материал корпуса отжимается, образуя лепесток 2, который закрепляет подшипник. Типы механической заделки подшипников

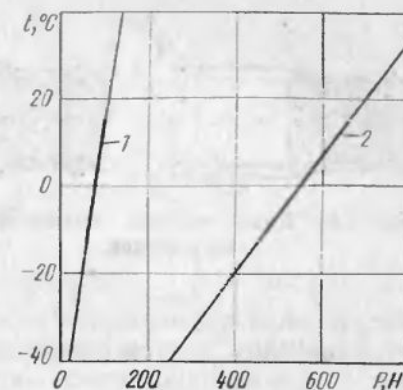


Рис. 5.42. Изменение силы натяжения троса в зависимости от температуры наружного воздуха для различных тросов

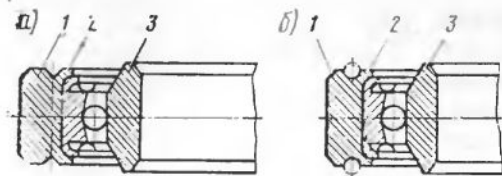


Рис. 5.43. Виды заделки подшипников в наконечник

выпрессовки промеряют отверстие в детали, контролируют наличие механических повреждений, нарушений сплошности. Восстановление посадки подшипников может быть выполнено хромированием или меднением посадочных поверхностей наружной или внутренней обоймы.

Точное соблюдение посадки по чертежу обеспечивает надежную работу соединения. Если посадка подшипника будет выполнена с большим, чем это предусмотрено, натягом, наружная обойма деформируется, увеличится усилие проворачивания, возрастут износы. Если посадка будет осуществлена с меньшим натягом, произойдет ослабление, возникнут ударные нагрузки, недопустимые биения, резко возрастут износы.

Важное условие надежной и долговечной работы соединения с подшипниками, особенно роликовыми и шариковыми — установка их с соблюдением условий соосности с посадочным отверстием. Перекосы здесь также вызовут повышенные износы и, следовательно, снижение надежности. Соосность обеспечивается цилиндричностью и контролем оси отверстия (охватывающей детали).

Заделку подшипников шариком выполняют по окружности, а заделку кернением — в 6 или 8 точках. Удаление подшипника без срезания закрепляющего слоя металла приведет к тому, что демонтированные детали разрушатся, образуются трещины. Поэтому закрепляющий слой срезают с помощью приспособления, схема которого представлена на рис. 5.44. Подшипник 7, закрепленный в детали 8, устанавливается на верстаке и закрепляется струбцинами. Во втулку, установленную во внутреннюю обойму, вставляется шпindel 4, к которому прикреплен штанга 6, зафиксированная винтом 5. На конце штанги 6 установлена державка 2 с резцом 3, закрепленным винтом 1. При вращении шпинделя резец срезает закрепляющую часть металла детали 8. После удаления подшипника кромки зачищают до получения плавных переходов. Для различных конструктивных узлов технологией ремонта устанавливают число возможных перезаделок подшипников при их замене. Число имевших место ранее керновок подсчитывают по углублениям, завальцовки отмечают риску, нанесенной на охватывающую деталь черной несмываемой краской. При контроле качества заделки проверяют легкость вращения подшипника.

Во многих узлах системы управления подшипники закреплены с помощью приклейки. Для этих целей применяется клей типа

даны в ОСТ1.03891—76, приклейки подшипников — в ОСТ1.00773—75.

Забракованный подшипник удаляют с помощью гидравлического или винтового прессов. Основная задача при замене — сохранение заданной чертежом посадки. С этой целью после

ВК-9 на основе эпоксидной смолы. При приклейке обычно используется для установки наружной обоймы подшипника посадка X. В некоторых случаях при ремонте заделку кернением или завальцовкой разрешается заменять приклейкой.

Заменяемый подшипник удаляют выпрессовкой с помощью винтовых или пневматических приспособлений. Оставшийся слой клея удаляют расточкой, оголенную поверхность металла после этого сразу консервируют для предохранения от коррозии. Перед установкой подшипника (предварительно расконсервированного) поверхность очищают, обезжиривают и на каждую склеиваемую поверхность наносят шпателем тонкий слой клея. С помощью обычного приспособления подшипник устанавливают в деталь или узел, сухой салфеткой удаляют излишний клей и дают выдержку около 24 ч при температуре 15—20°C для полимеризации клея. При более низкой температуре приклейка производится с применением местного подогрева. Очень важно, чтобы клей не проник в подшипник, поскольку его наличие на внутренних поверхностях вызывает нарушение режима работы подшипника, застывшая клеевая масса может вызвать даже заедание. Проникновение клея во внутреннюю полость подшипника исключают установкой защитных шайб.

Качество приклейки подшипников контролируют по образцам-свидетелям и по усилию невыпрессовки. При установке подшипников на клею впервые образцы-свидетели испытывают до разрушения. По усилию выпрессовки судят о прочности приклейки. При ремонте часть ранее приклеенных подшипников проверяют на невыпрессовку. Усилия при этом должны соответствовать нормам, установленным техническими условиями. В табл. 5.4 даны усилия невыпрессовки для различных размеров подшипников и материала охватывающей детали (корпуса).

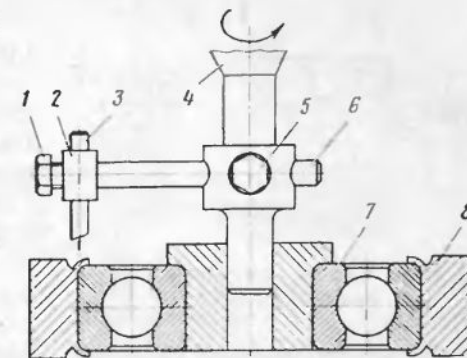


Рис. 5.44. Удаление заделки подшипника в наконечнике

Таблица 5.2

Диаметры посадочного отверстия, мм	Осевые усилия невыпрессовки, Н		
	для стали	для алюминиевых сплавов	для магниевых сплавов
От 14 до 20	735	245	196
Свыше 20 до 50	1470	490	294
» 50 до 80	2940	1470	980

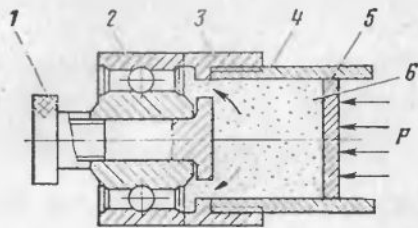


Рис. 5.45. Смазка внутренней полости подшипника

Если по результатам дефектации определено, что подшипник соответствует требованиям технических условий, его обязательно смазывают. С этой целью применяют различные приспособления. Схема такого приспособления приведена на рис. 5.45. К подшипнику 2 приставляется стакан 3, соединенный на резьбе с корпусом 4. С обратной стороны стакан притягивается гайкой 1. Затем поршнем 5 смазка 6 выдавливается в смазываемую полость до полного ее заполнения. Давление P для движения поршня 5 создается различными способами: механически нажимным винтом, сжатым воздухом и др. Смазка имеет весьма важное значение для надежной и долговечной работы подшипников, а следовательно, шарнирных узлов системы управления. При отсутствии смазки или потери ею смазывающей способности с течением времени детали подшипника (ролики, обоймы, сепараторы) будут разрушаться с большой интенсивностью, могут произойти заедания, что вызовет в конечном счете отказ в системе управления.

Некоторые подшипники смазывают через масленки с помощью нормализованных устройств и приспособлений. В отдельных узлах установлены пресс-масленки, смазку в которых при ремонте заменяют. Работы по смазке выполняются по технологическим картам, где указаны точки для смазки и марка смазывающего материала.

Ремонт гермоузлов. Гермоузлы служат для создания герметичности в местах выхода из гермокабины тег, качалок, тросов. В системах управления применяются два типа гермоузлов: поступательного и вращательного действия (в зависимости от типа движения кинематического звена). При ремонте основным дефектом гермоузлов является негерметичность, возникающая вследствие износов уплотнителей (например, резиновых колец) или контактирующих с ними участков валов, тег. При ремонте обычно уплотняющие детали заменяют, а размеры уплотняемых поверхностей восстанавливают. С помощью измерений и методов неразрушающего контроля определяют наличие других повреждений: коррозии, износов болтовых и винтовых соединений, механических повреждений. Эти дефекты устраняют обычной слесарно-механической обработкой.

После ремонта контролируют два основных параметра: герметичность и усилие трения. Эти параметры устанавливаются техническими условиями и приводятся в технологии ремонта. Контроль осуществляется в специальной установке (рис. 5.46). Гермоузел 2 устанавливают в герметичный бачок 3, закрепляют и проводят испытание сжатым воздухом, который подается через трубопровод 6 и кран 5. При создании давления, предусмотренного технологией ремонта, что контролируется по манометру 4, кран 5 закрывается и дается выдержка. Падение давления в течение определенного вре-

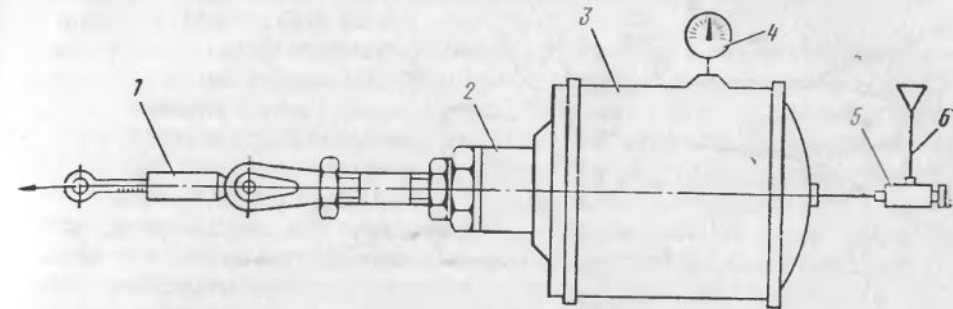


Рис. 5.46. Схема испытания гермоузла на герметичность

мени служит оценкой герметичности проверяемого узла. Если показания соответствуют требованиям, приступают к проверке усилия трения. К тяге гермоузла 2 подсоединяют динамометр 1 и при движении по оси узла измеряют усилие. При несоответствии одного из параметров гермоузел разбирают и выясняют причину неисправности. После ее устранения испытания повторяют.

Балансировка органов управления. После выполнения любой ремонтной работы балансировка рулей, элеронов, триммеров нарушается, что может привести к возникновению вибраций в полете или колебаний типа флаттера. При конструировании массы элементов располагают таким образом, чтобы центр тяжести находился на определенном, заранее заданном расстоянии от оси вращения. При полной балансировке центр тяжести располагается на оси вращения, при перебалансировке центр тяжести находится впереди оси вращения, при недобалансировке — позади оси вращения. Во многих конструкциях для регулирования расположения центра тяжести применяют специальные сменные грузы. Уменьшив их массу (например, с помощью фрезеровки), можно добиться соответствующего перемещения центра тяжести. Увеличения массы балансировочных грузов добиваются установкой дополнительных деталей или другим способом, предусмотренным конструкцией балансируемого агрегата.

Балансировка начинается со взвешивания, так как значение массы требуется для расчета. При этом необходимо обеспечить чистоту агрегата и его комплектацию в соответствии с указанием в паспорте балансировки — документе, прилагаемом к каждому самолету заводом-изготовителем. В паспорте указываются первоначальные данные, которые являются контрольными, и их соблюдение необходимо. В некоторых случаях взвешивание производится с отдельными деталями (качалками или тягами). Взвешивают на обычных весах при условии обеспечения заданной точности, обычно в пределах 0,5%. Здесь важно учитывать, что любая ремонтная накладка, увеличенного диаметра крепежная деталь, неравномерная окраска могут вызвать недопустимое перемещение центра тяжести и, как следствие, — нарушение балансировки. Полученное значение массы заносят в паспорт балансировки.

5.7. РЕМОНТ ШАССИ

Основные требования к ремонту. Шасси на современных самолетах представляет собой сложную систему периодического действия, которая работает при взлете и посадке. Шасси эксплуатируются в тяжелых условиях при воздействии высоких переменных нагрузок при взлете, посадке и рулении. На рис. 5.48 показан характер нагрузок на стойки основной опоры шасси транспортного самолета при посадке: вертикальной P_y , горизонтальной P_x и упругих сил N . Как видно из графика, нагрузки могут приводить к колебаниям конструктивных элементов шасси. Кроме указанных на графике нагрузок шасси могут испытывать боковые удары. Современные самолеты за весь назначенный ресурс при рулении проходят путь от 50 до 200 000 км. Детали шасси испытывают также воздействия климатических условий, внешней среды, обусловленные кроме всего прочего состоянием взлетно-посадочных полос.

Конструктивное выполнение шасси может быть самым разнообразным. На современных самолетах уборка, выпуск, фиксация шасси осуществляются с применением сложных пространственных кинематических схем, включающих большое число шарнирно-болтовых сочленений.

Чтобы предотвратить возникновение усилий при посадке, превышающих расчетные, смягчить удары при рулении по неровной поверхности, в конструкцию шасси всех типов самолетов включают сильно деформирующиеся конструктивные элементы — амортизирующие устройства (амортизаторы и пневматики колес). Управление шасси (уборка, выпуск, демпфирование) осуществляется с помощью гидравлических агрегатов.

Под воздействием описанных выше эксплуатационных нагрузок детали шасси испытывают разнообразные деформации: растяжения, сжатия, изгиба, среза, кручения. В результате в системе шасси возникают дефекты: трещины, износы, остаточные деформации, механические и коррозионные повреждения, перегрев деталей тормозов. В связи с высоким уровнем отказов, обусловленных особо тяжелыми условиями работы, система шасси, как правило, подвергается капитальному ремонту. Цикл ремонта шасси разделяется на этапы: приемка в ремонт, объемная дефектация, демонтаж, разборка и промывка, техническое диагностирование, ремонт, сборка, цеховые испытания, монтаж, наземные испытания, испытания в полете.

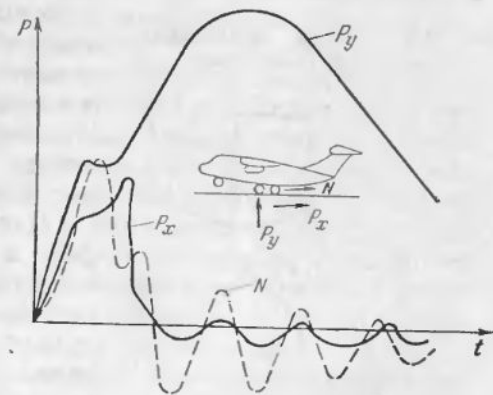


Рис. 5.48. Изменения нагрузок на стойки основной опоры шасси

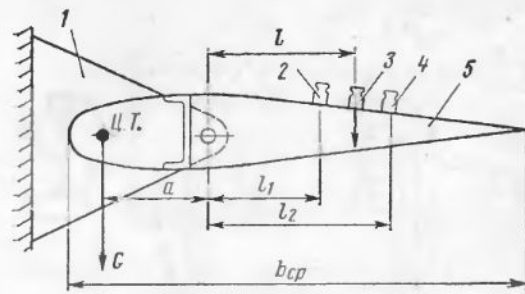


Рис. 5.47. Схема балансировки руля

На рис. 5.47 показана схема балансировки руля 5, установленного на узлы 1 балансирующего стенда. Стенд представляет собой жестко закрепленные тумбы с горизонтальной балкой, на которой установлены узлы точно так же, как и на самолете. Стенд должен отвечать следующим основным требованиям: жесткости, строго горизонтальному располо-

жению оси. Жесткость достигается благодаря массивным конструкциям тумб и балок. При установке узлов горизонтальность оси обеспечивают нивелировкой. Узлы навески, крепежные детали должны быть смазаны, не должны иметь загрязнений, поскольку повышенное трение в шарнирных узлах исказит значение силовых моментов, измеряемых при балансировке. Каждый балансирующий стенд имеет свой паспорт, в который заносят результаты периодических проверок.

Особенно опасны для работы рулей, элеронов, триммеров посторонние предметы, находящиеся внутри конструкции, так как они не только влияют на расположение центра тяжести, но могут менять свое положение, что делает невозможным правильную балансировку. Поэтому перед началом балансировки тщательно осматривают конструкцию на отсутствие посторонних предметов.

После установки руля на балансирующий стенд на верхней поверхности наносят линию, обозначающую ось вращения, затем линию оси средней хорды b_{cp} , которая задается конструктивным чертежом. По этой оси выполняют балансирующие операции. Расстояние центра тяжести от оси вращения a определяют по формуле

$$a = Pl/G,$$

где P — вес грузовой гири, задаваемый техническими условиями; l — расстояние от гири до оси вращения; G — вес руля, определяемый при взвешивании.

Если руль, установленный с балансирующим грузом 3 в горизонтальное положение, отклоняется вверх или вниз, груз перемещают вперед или назад (положение грузов 2 и 4 на рис. 5.47) до установки руля в равновесное горизонтальное положение. Тогда l определяют как среднее арифметическое:

$$l = (l_1 + l_2)/2.$$

Полученное значение a сравнивают с заданными техническими условиями. При совпадении этих значений балансировку заканчивают. В случае необходимости изменяют вес балансирующих грузов (контргрузов), расположенных в носке, и процесс повторяют вновь до получения необходимых данных.

Приемка в ремонт. В процессе приемки проверяют документы (формуляры, паспорта), сверяют номера узлов (амортизоров, колес и др.), уточняют наработку в посадках, выясняют, были ли особые случаи посадок (поломки, грубые посадки). Определяют наличие течей по следам подтекания, грубых остаточных деформаций, значительных механических повреждений и т. п. После этого шасси демонтируют с самолета, разбирают и промывают. Детали, уложенные в сортовики и специальные тележки, поступают на участок технического диагностирования.

Дефектация. При дефектации шасси обращают внимание, в первую очередь, на наиболее нагруженные участки конструктивных элементов, места, где возможна концентрация напряжений, перепады жесткости. В этих местах вероятно появление трещин. Рассмотрим некоторые примеры. На рис. 5.49, а показано соединение звена шлиц-шарнира 3 с вилок амортистойки 1 с помощью болта 2. В результате действия усилия T в звене шлиц-шарнира появится изгибающий момент, максимальное значение которого будет в месте подсоединения к амортистойке. Реакции R будут действовать в соединении с вилок. На рис. 5.49, б изображена схема нагружения балки тележки основной опоры шасси. Под действием силы T , передающей нагрузку через узел 2, в осях колес возникнут реакции R в балке появится изгибающий момент, максимальное значение которого будет в районе узла 2. Очевидно, что поиск дефектов необходимо сосредоточить в местах наибольшего нагружения, в приведенных примерах — в местах максимального значения изгибающего момента.

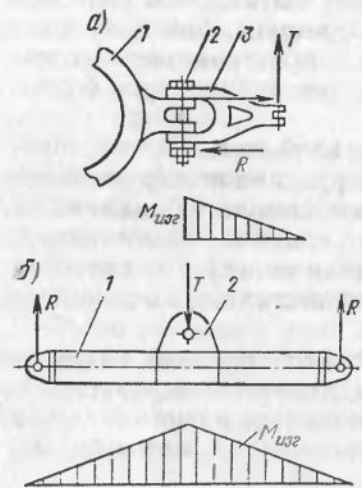


Рис. 5.49. Эпюры изгибающих моментов в узлах шасси

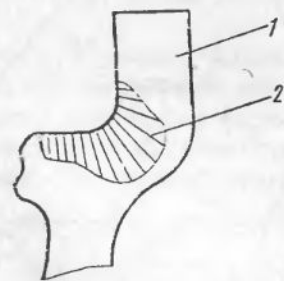


Рис. 5.50. Концентрация напряжений в месте изгиба шлиц-шарнира

В шарнирно-болтовых соединениях под действием сил реакции опор возникают напряжения, распределенные неравномерно по контуру деталей. Пример концентрации напряжений 2 в звене шлиц-шарнира 1 приведен на рис. 5.50.

Трещины — наиболее опасный дефект в элементах конструкции шасси, ибо при ударах и вибрациях они могут развиваться с большой скоростью и приводить к быстрому разрушению деталей. Для обнаружения трещин применяют различные методы неразрушающего контроля: оптико-визуальные, магнитные, вихретоковые, акустиче-

ские, капиллярные, рентгенографические и др. Весьма важное значение имеют измерения, которые проводятся во всех сочлененных системах шасси. Технологией ремонта устанавливаются браковочные признаки, по которым детали шасси при обнаружении трещин заменяют или восстанавливают с применением сварки.

Износы могут возникать как в подвижных, так и в неподвижных соединениях шасси. Здесь имеют место фреттинг-коррозия, механическое, абразивное, окислительное и другие виды изнашивания. Восстановление изношенных деталей возможно в том случае, когда это допускается браковочными признаками. Например: силовые переключки не вышли из допустимых значений, изменение размеров не нарушает заданного геометрического взаимного расположения деталей и т. п.

Методы восстановления размеров деталей. Ремонт при наличии износов осуществляется расточкой или развертыванием отверстий, восстановлением размеров покрытиями (хромированием, плазменным напылением), установкой ремонтных втулок там, где это предусмотрено технологией ремонта. Во всех случаях важно соблюдать неперемное условие: соосность должна строго соответствовать требованиям чертежа. В условиях динамических и вибрационных нагрузений несоосность приводит к резкому росту темпа процесса изнашивания. В связи с этим, а также с учетом того, что детали шасси изготавливают из высокопрочных сталей, в большинстве случаев применяют машинное развертывание. Расточку деталей кинематических цепей выполняют с высокой точностью на координатно-расточных станках. Барабаны колес растачивают на станках токарной группы.

Внутренние поверхности цилиндров амортизоров восстанавливают хромированием с доводкой размеров на хонинговальных станках. При износе тормозов их заменяют новыми, строго выдерживая установленные чертежами зазоры между элементами конструкции тормозов, нарушение которых приводит к недопустимому изменению режимов торможения. При капитальном ремонте заменяют детали уплотнений и герметизации: прокладки, манжеты, сальники. Правила их замены изложены в подразделе 5.5.

Остаточные деформации образуют на деталях шасси в результате превышения расчетных нагрузок при посадке. Технологией ремонта устанавливаются браковочные признаки, по которым детали заменяют. Правка ответственных деталей ударным способом не может быть применена, так как высокопрочные стали чувствительны к этому виду нагружений и склонны к образованию трещин. При пластической деформации деталей, покрытых хромом, сплошность последних нарушается, особенно в растянутой зоне. При этом могут образоваться микротрещины, являющиеся концентраторами напряжений, что значительно снижает предел выносливости.

Механические и коррозионные повреждения металлических деталей устраняют зачисткой до получения плавных переходов с учетом допустимого ослабления поперечного сечения, соблюдения заданной геометрической конфигурации кинематических звеньев. По-

вреждения камер и покрышек в виде порезов, трещин, проколов, износов протектора для каждого типа шасси устанавливаются технологией ремонта. В отдельных случаях разрешают вулканизацию протекторов только для малонагруженных шасси. Поскольку разрушения покрышек и камер на взлете или посадке могут привести к изменению траектории движения самолета, что особенно опасно на большой скорости, браковочные признаки для скоростных самолетов допускают повреждения очень малых размеров. При наличии в системах шасси клапанов, пружин их ремонтируют так же, как и агрегаты и детали, описанные в подразделе 5.5.

Сборка. Шасси собирают по отдельным узлам; амортистойкам, цилиндрам подъема-выпуска, колесам и т. п. В системе шасси это диктуется необходимостью проведения промежуточных, узловых испытаний. Так, каждую собранную амортистойку испытывают на герметичность, контролируют силы трения при перемещении штока, колеса некоторых типов самолетов балансируют, проводят стендовую проверку регулировки тормозов. Испытание на герметичность выполняют в бронебанне, заполненной жидкостью (например, 0,3%-ным водным раствором хромпика). Бронебанна необходима в связи с тем, что при разгерметизации из-за больших давлений испытанной жидкостью или даже разрушенные детали могут быть выброшены с огромной силой. Во многих случаях испытание проводится в два этапа: при давлении, превышающем рабочее в 1,2—1,5 раза и при рабочем. В том и другом случае даются выдержки. Схема испытаний на герметичность представлена на рис. 5.51. В бронебанну 8 на лежмент 10 укладывают амортистойку 9, подсоединяют трубопровод подачи давления и закрывают крышку 7, управление которой обычно механизировано. Из баллона 1 азот при открытом кране 2 через редуктор 3 и предохранительный клапан 4 подается к амортистойке. Давление испытания контролируют по манометру 5. Стойка в течение определенного времени должна быть герметичной, падение давления не допускается. После окончания испытаний азот стравливается через кран 6.

В том случае, когда основные детали амортистойки ремонтировались с помощью сварки, или нарушены основные размеры цилиндра вследствие механической обработки, проводят испытания на прочность при давлении, превышающем рабочее в несколько раз. Схема испытания на прочность аналогична описанной выше. На испы-

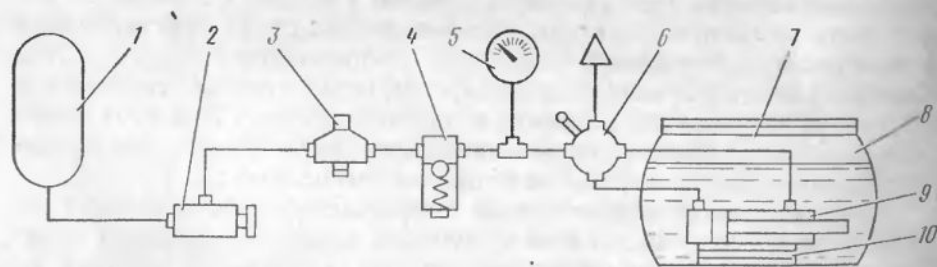


Рис. 5.51. Схема испытания амортистойки шасси

танной амортистойке контролируют усилие трения при движении штока. Один из способов контроля — проверка начального усилия страгивания. В этом случае с помощью прессы делают несколько обжатий, а затем с использованием гидравлических устройств проверяют усилие трения. Эта проверка весьма важна, так как при больших усилиях трения в процессе периодической работы амортизатора шток может не выйти после сжатия, что ухудшит условия гашения ударов, амортизация окажется недостаточно эффективной. Отремонтированная амортистойка заряжается: заливается определенная доза рабочей жидкости и создается заданное давление в газовой полости.

Балансировку колес выполняют на параллельных призмах, установленных строго горизонтально. Такая установка носит название эквilibратора. Устранять несбалансированность часто разрешают приклеиванием с внутренней стороны внешней поверхности шин резиновых шайб. Тормозную систему при узловой сборке колес испытывают подачей рабочей жидкости через шланги подвода.

После окончания узловой сборки шасси полностью собирают. При сложных кинематических схемах уборки — выпуска (разворот, поворот тележек, сложное пространственное движение кинематических звеньев) собранные основные и передние опоры шасси на специальном стенде в ремонтном цехе проверяют на соответствие техническим условиям кинематики. Эта работа позволяет проверить зазоры между всеми звеньями, траекторию движения звеньев, точность монтажа кинематических замков выпущенного положения, правильное расположение деталей фиксации в убранном и выпущенном положении, предварительно проверить систему сигнализации. Такие проверки в цехе ремонта дают возможность сократить время монтажа и отработки на самолете. Очевидно, что в цеховых условиях, на стационарных рабочих местах, при наличии соответствующего оборудования все регулировочные, подгоночные работы будут выполнены с более высокой производительностью.

Установка на самолет. Монтаж шасси на самолете выполняют в такой последовательности: подготовка к монтажу, входной контроль внешним осмотром, навеска на узлы, полный монтаж, испытание. При подготовке к монтажу проверяют техническую документацию на отремонтированные узлы и агрегаты шасси, а также на отремонтированную зону монтажа (узлы навески, гондолы шасси и т. п.). Проводят контрольные измерения цапф навески и посадочных мест в узлах самолета. Входной контроль необходим, поскольку при транспортировке из цеха ремонта к самолету могут возникнуть механические повреждения, нарушение лакокрасочных покрытий. После этого опоры шасси закрепляют и от руки проверяют заедание покачиванием амортистойки. На передовых авиаремонтных заводах навеска шасси механизмуется с помощью различных устройств, так как на больших магистральных самолетах шасси имеют довольно значительную массу. На следующем этапе осуществляют: полный монтаж, подачу давления в управляющую систему, проверку ее герметичности, удаление воздушных пробок из системы тормо-

зов (неоднократной прокачкой с удалением скопившегося воздуха в тупиковых точках).

Обработку шасси можно осуществлять как при полностью собранной гидравлической системе, так и отдельно для каждой опоры шасси, подавая давление через подводящие шланги.

Наземные испытания. При наземных испытаниях шасси (самолет установлен на подъемниках) проверяют: плавность хода, зазоры между движущимися и неподвижными элементами конструкции, время подъема и выпуска. При этом шасси останавливают в промежуточных положениях, измеряя при необходимости зазоры с помощью щупов. Время подъема и выпуска измеряют с помощью секундомеров от момента срабатывания до момента установки на кинематический и механический замки. Система считается полностью отремонтированной после оформления соответствующей документации на монтаж.

Во избежание травм, попадания посторонних предметов и оборудования в движущиеся части шасси при его обработке устанавливают соответствующее ограждение и включают световую сигнализацию. Например, табло с надписью: «Внимание! Идет обработка шасси».

5.8. РЕМОНТ ВОЗДУШНЫХ ВИНТОВ

На самолетах воздушный винт является движителем, создающим силу тяги с помощью лопастей. Таким образом, лопасти — основная часть воздушного винта. Лопасти нагружаются при работе: аэродинамическими нагрузками, определенным образом распределенными вдоль оси и по каждому сечению; инерционными и центробежными силами. В связи с этим лопасти испытывают деформации растяжения, изгиба, кручения и сдвига. Все эти нагрузки и деформации не являются стационарными, что прямо влияет на предел выносливости.

В большинстве конструкций воздушных винтов лопасти в полете изменяют шаг (ВИШ — винты изменяемого шага). Это требует управления и соответствующих конструктивных узлов, обеспечивающих перемещение лопастей. Эта часть воздушных винтов может рассматриваться как агрегат, и его конструктивные элементы (пружины, подшипники, уплотнительные кольца, манжеты и другие детали) ремонтируют на основе тех же принципов, что и агрегаты. Здесь следует иметь в виду, что допуски на износы, механические, коррозионные, эрозионные и другие повреждения, которые возникают в процессе эксплуатации воздушных винтов, устанавливаются с учетом высокого уровня нагружений. И в этом смысле повреждения в галтельных переходах, у силовых переемычек, в местах перепадов жесткости оказывают большее влияние на прочностные характеристики деталей воздушных винтов, чем в других агрегатах.

В большинстве случаев воздушные винты ремонтируют по системе капитальных ремонтов. При этом принимаются обычные эта-

пы: приемка в ремонт, объемная дефектация, разборка, очистка и промывка, техническое диагностирование, ремонт, сборка, испытание.

Приемка в ремонт и дефектация. Воздушные винты поступают в ремонт как вместе с самолетом, так и отдельно. Основанием для ремонта являются обработка установленного межремонтного ресурса или преждевременный выход из строя (отказ, значительные повреждения).

Приемка состоит из проверки документации (формуляров, паспортов), уточнения наработки, проверки комплектности.

При объемной дефектации контролируют наличие значительных остаточных деформаций лопастей, коррозионных и механических повреждений. Например, изгиб лопасти свыше установленных браковочными признаками размеров свидетельствует о необходимости ее замены. И на этом этапе дается заявка на замену, что сокращает процесс подготовки производства.

По окончании объемной дефектации воздушные винты разбирают, очищают и промывают, комплектуют в ремонт и передают на участок технического диагностирования. При комплектовании и транспортировании применяют сортовики и специальные тележки. При транспортировании лопастей необходимо применять такую оснастку, чтобы исключить механические повреждения. С этой целью лопасти устанавливают в сортовик-тележку вертикально, помещая комель в ложемент, гнездо которого выложено мягким материалом.

На участке технического диагностирования дефектацию осуществляют с помощью измерений и различных неразрушающих методов контроля: магнитных, вихретоковых, акустических, капиллярных и др.

Детали воздушных винтов, как правило, измеряют с высокой точностью, применяя микрометрические измерительные инструменты. При обнаружении трещин в деталях их бракуют. Некоторые металлические лопасти воздушных винтов для поршневых двигателей разрешают подваривать, что оговаривается технологией ремонта. Износы в пределах, допускаемых браковочными признаками, ремонтируют восстановлением.

Механические повреждения лопастей тщательно измеряют. Искажения геометрической формы профиля лопасти могут сказаться на режиме работы воздушного винта. Достаточно отметить, что полная скорость конца лопасти воздушного винта АВ-68И на самолете Ил-18 при скорости 630 км/ч, на высоте 8000 м и при частоте вращения 1075 об/мин составляет 310 м/с и число $M=1,01$. В этих условиях даже незначительная забоина или искажение формы профиля могут вызвать дополнительное волновое сопротивление.

Повреждения, расположенные перпендикулярно к оси лопасти, более опасны, чем расположенные вдоль оси. Дело в том, что поперечные риски являются недопустимыми концентраторами напряжений, особенно при растяжении и изгибе в неблагоприятных условиях нестационарного нагружения. Усилия растяжения от центробежных сил, изгибающие моменты от действия аэродинамических на-

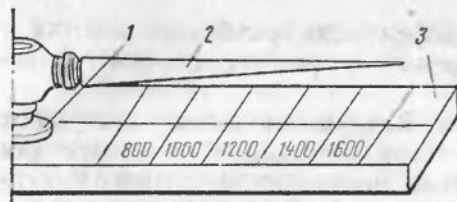


Рис. 5.52. Базовая плита, применяемая при ремонте воздушных винтов

грузок увеличиваются от конца лопасти к его комлю, и поэтому допуски на повреждения в этих районах различны. Поскольку каждое сечение лопасти представляет собой аэродинамический профиль, существенное значение имеет соблюдение его правильной формы. Повреждение носка профиля приведет к более значительному нарушению распределения аэродинамических сил, чем повреждение его хвостовой части. Бракочными признаками устанавливается, что значительные повреждения не должны располагаться в одном сечении, так как при их ремонте можно исказить форму профиля. Описанные ограничительные условия вызывают необходимость введения различных размеров допускаемых повреждений. Например, если для лопастей винта АВ-68И допускают на передней кромке забоины глубиной до 5 мм, то на задней — до 8 мм. Продольная риска может быть допущена до 1,5 мм, а поперечная не более 1,0 мм. Ограничительные условия должны строго учитываться при техническом диагностировании лопастей воздушных винтов.

Восстановление геометрических параметров. Ремонтно-восстановительные операции осуществляют с применением механических способов зачистки, различных металлических неорганических и лакокрасочных покрытий.

Для обеспечения нормальной работы воздушного винта необходим тщательный контроль геометрических параметров. К ним относятся: углы установки лопастей, уход сечения лопастей от плоскости вращения, угловое смещение осей лопастей в плоскости вращения, диаметр собранного воздушного винта. Выход из допускаемых значений одного из указанных параметров приведет к неравномерному относительному нагружению лопастей, нарушению симметрии аэродинамических сил, что вызовет недопустимые колебания (тряску) воздушного винта.

Геометрические параметры можно проверить только при наличии определенной измерительной базы. Такой базой при ремонте служит проверочная плита (рис. 5.52). На ней смонтирован штырь 1, на который устанавливают корпус воздушного винта с лопастями 2. Плита 3 представляет собой массивное стальное литье с точно обработанной верхней поверхностью. Плита является измерительным инструментом, ее верхняя поверхность имеет разметку, проверяемую метрологическим контролем. Продольную риску используют для совмещения с осью лопасти. Поперечные риски размечены через определенные промежутки. Каждая лопасть определенного типа воздушного винта имеет контрольное сечение, расположенное на заданном расстоянии от оси винта. По положению этого сечения определяют угол установки лопасти. На плиту 4 (рис. 5.53) устанавли-

вают угломер 3, на котором укреплен шаблон 2. Расположение сечения лопасти 1 определяют по поперечной разметке. Контрольное сечение на некоторых воздушных винтах расположено на радиусе 1000 мм, на других — на радиусе 1600 мм. Поворачивая поочередно лопасти 1 относительно установленного на плите 3 (рис. 5.54) штангенвысотомера 2 определяют биение лопастей. Плиту используют также для измерения диаметра воздушного винта. Например, для воздушного винта АВ-68И допускают уменьшение диаметра не более, чем на 25 мм.

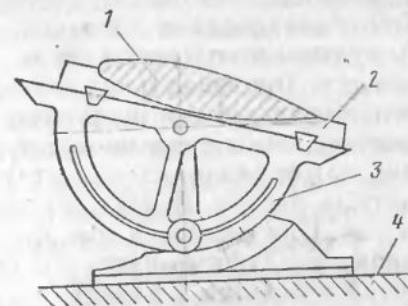


Рис. 5.53. Угломер с шаблоном для проверки угла установки сечения лопасти

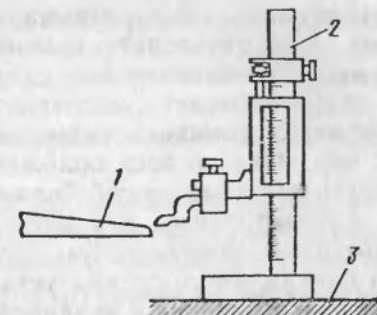


Рис. 5.54. Измерение высоты расположения конца лопасти воздушного винта

вают угломер 3, на котором укреплен шаблон 2. Расположение сечения лопасти 1 определяют по поперечной разметке. Контрольное сечение на некоторых воздушных винтах расположено на радиусе 1000 мм, на других — на радиусе 1600 мм. Поворачивая поочередно лопасти 1 относительно установленного на плите 3 (рис. 5.54) штангенвысотомера 2 определяют биение лопастей. Плиту используют также для измерения диаметра воздушного винта. Например, для воздушного винта АВ-68И допускают уменьшение диаметра не более, чем на 25 мм.

Балансировка. После выполнения ремонтных операций воздушный винт собирают, балансируют, испытывают систему управления перемещением лопастей, оформляют документацию. Воздушный винт собирают по чертежам завода-изготовителя с соблюдением требований, изложенных в технологии ремонта деталей. Монтаж уплотнений осуществляют так же, как и в агрегатах. Важнейшей операцией, обеспечивающей надежную работу воздушного винта, является балансировка. Цель балансировки — исключить неуравновешенность, которая при вращении может вызвать значительные колебания воздушного винта.

Балансировка может быть статической и динамической. Статическая балансировка (рис. 5.55) производится на экваторном стенде, состоящем из жестких, массивных стоек 3 на которых установлены с высокой точностью обработанные валики. В ступицу 1 воздушного винта вставляют экваторный вал 2 и затем совместно устанавливают на пластинчатые опоры 4.

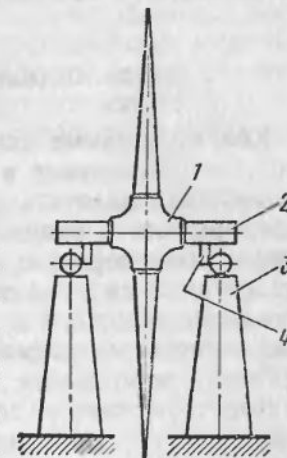


Рис. 5.55. Схема установки для статической балансировки воздушных винтов

ли контактируют по весьма малой площади, что сводит к минимуму сопротивление качению. При балансировке лопасти попарно устанавливают под одинаковым углом к вертикали. Если одна из них тяжелее, винт будет вращаться. Производится уравнивание с помощью специальных контргрузов. И так поступают до тех пор, пока во всех положениях весовая симметрия не будет нарушаться. Такой способ балансировки может оказаться недостаточно чувствительным для высокооборотных винтов. В этих случаях выполняют динамическую балансировку. Она состоит в том, что на вал специального стенда устанавливают воздушный винт, его приводят во вращение с заданной частотой вращения и измеряют уровень вибраций. При этом может быть использована вибродиагностическая аппаратура.

Отбалансированный винт собирают, испытывают систему перемещения лопастей и затем отправляют для установки на самолет или консервируют, если винт ремонтировался, как отдельно поступивший агрегат.

На хорошо организованных ремонтных предприятиях выделяют отдельное помещение для ремонта воздушных винтов, учитывая автономность этого агрегата, большие габаритные размеры и специализированную оснащенность технологического процесса ремонта. Обычно организуют ремонт этого агрегата по замкнутому циклу, располагая на одном участке дефектацию, обработку, сборку, балансировку, испытание. Сокращение транспортных путей, достигаемое при этом, имеет большое значение, так как малейшее механическое повреждение, чего при частых перекладываниях избежать очень сложно, приводят к выходу из строя дорогостоящих деталей и излишним затратам труда. Ремонт воздушных винтов вертолетов имеет некоторые отличия от ремонта воздушных винтов самолетов. Эти особенности изложены в подразделе 5.9.

5.9. ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ВЕРТОЛЕТОВ

Конструктивные особенности. Вертолеты находят все более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Способность взлетать и садиться вертикально, висеть в воздухе и перемещаться в разных направлениях ставит вертолеты в ряд основных транспортных, монтажных и спасательных средств для труднодоступных районов страны. В гражданской авиации эксплуатируются одновинтовые и двухвинтовые (соосные) вертолеты: транспортные, пассажирские, сельскохозяйственные, санитарные, геологоразведочные, монтажные, патрульные и т. д.

Конструктивными особенностями вертолетов являются: фюзеляж с хвостовыми, концевыми балками; применяющиеся для передачи мощности двигателей к винтам трансмиссии; применяющиеся в системе управления автоматы перекоса винтов; не убирающиеся в полете шасси; возможность быстрого переоснащения из одного варианта в другой и др. В конструкции вертолета наряду с высокопроч-

ными стальными и алюминиевыми сплавами широко используются различные пластмассы, композиционные и другие материалы. Уровень надежности, требование безопасности полетов и экономической эффективности применения, прочность, долговечность, живучесть — основные факторы при определении межремонтного и назначенного ресурсов вертолета и его агрегатов.

В процессе эксплуатации вертолета изнашиваются контактирующие в агрегатах и шарнирно-болтовых соединениях узлы. Вибрационные нагрузки приводят к возникновению трещин и других повреждений на различных элементах конструкции и главным образом на узлах крепления агрегатов. С увеличением налета и календарного времени эксплуатации резиновые изделия, лакокрасочные покрытия и остекление вертолета стареют и теряют свои свойства.

Вертолет или его агрегаты поступают в авиаремонтные предприятия после отработки межремонтного ресурса, при наличии значительных повреждений или при необходимости переоборудования. Этапы ремонта вертолета те же, что и для самолета (приемка в ремонт, объемная дефектация и т. д.). Конструктивные особенности вертолетов, тяжелые условия эксплуатации, значительные нагрузки, действующие на вертолет, обуславливают их технико-экономические показатели. Вертолеты в отличие от большинства самолетов имеют меньшие ресурсы, более высокие удельные стоимости ремонта, меньшие годовые налеты. Для обеспечения высокого уровня надежности и безопасности полетов требуется выполнить значительный объем ремонтных работ на фюзеляже, балках, шасси, агрегатах трансмиссии, редукторах и т. д.

Основные неисправности и дефекты. В процессе эксплуатации вертолеты, как и другие виды авиационной техники, подвержены физическому износу. Эксплуатация вертолетов в различных климатических зонах, в различное время года, на непригодных площадках, сезонность применения приводят к преждевременному появлению неисправностей и дефектов, основными из которых являются: разрушения и трещины, износ, механические повреждения, остаточные деформации, коррозия и разрушения антикоррозийных покрытий.

По сравнению с самолетами у вертолетов одна из основных особенностей — их возникновение при малых налетах. Значительное влияние, особенно на размеры коррозии, оказывает время хранения вертолетов, а не налет в часах, т. е. отсутствие их интенсивной эксплуатации. При длительном хранении в осенне-зимний период на вертолетах выполняется незначительный объем регламентных работ при техническом обслуживании. Это приводит к разрегулировке систем и агрегатов, к старению резино-технических изделий и остекления, к стеканию смазки и оголению отдельных поверхностей деталей, к длительному воздействию агрессивных сред атмосферы. Практика ремонта показывает, что некоторые разрушения, трещины и деформация деталей являются следствием прямого нарушения правил эксплуатации. Так, грубые

посадки вызывают неисправности в узлах и деталях шасси, в узлах навески двигателей, редукторов, балок.

В зависимости от степени износа, характера повреждений, условий эксплуатации, несовершенства конструкции и из-за нарушений технологического процесса при изготовлении может значительно изменяться объем ремонтных работ.

Системы ремонтов. Некоторые типы вертолетов ремонтируют по системе текущих и капитальных ремонтов. *Текущий ремонт* — это ремонт, осуществляемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности изделия и состоящий в замене и восстановлении его отдельных частей и их регулировке. *Капитальный ремонт* — это ремонт, осуществляемый через установленные промежутки времени независимо от технического состояния конструкции вертолета. К этому же виду ремонта относятся и ремонт вертолетов, потерпевших поломки в процессе эксплуатации.

В ремонт вертолет может быть доставлен по воздуху, внутри грузового самолета или на внешней подвеске более мощного вертолета, автомобильным, железнодорожным или водным транспортом. Большая часть технологического процесса ремонта вертолетов является общей с аналогичным процессом ремонта самолетов. Рассмотрим некоторые особенности ремонта конструктивных элементов и агрегатов вертолета.

Ремонт фюзеляжа. Фюзеляж вертолета представляет собой клепаную цельнометаллическую конструкцию обтекаемой формы. Каркас фюзеляжа состоит из поперечного набора шпангоутов, стенок и продольного набора балок и стрингеров. Связывает каркас в жесткую конструкцию гладкая работающая обшивка. Технология ремонта фюзеляжа вертолета аналогична технологии ремонта фюзеляжа самолета.

Ремонт хвостовых и концевых балок. У вертолетов большинство конструкций хвостовых и концевых балок представляет собой цельнометаллический полумонок с каркасом из шпангоутов, стрингеров, с работающей обшивкой. Шпангоуты придают балкам определенную форму в поперечных сечениях и сохраняют ее при изгибе балок. Стрингеры воспринимают продольные нагрузки и облегчают работу на сжатие обшивки, увеличивая ее критические напряжения. Небольшие вырезы под лючки, не затрагивающие шпангоуты и стрингеры, усиливаются окантовкой или силовыми крышками лючков. Обшивка воспринимает основные нагрузки, действующие на балку. Эти нагрузки создают изгибающие и крутящие моменты, а также поперечную силу. Шпангоуты нагружаются радиальными силами от обшивки и стрингеров, возникающими при изгибе балок. На балку действуют и переменные нагрузки от несущего и хвостового винтов. В хвостовой балке вертолетов крепление стрингеров к обшивке в большинстве случаев клеесварное, крепление обшивки к шпангоутам — заклепочное. Концевая балка является продолжением хвостовой балки и предназначена для крепления хвостового и промежуточного редукторов, а также соединяющего их хвостового вала.

Основными неисправностями и дефектами хвостовых и концевых балок являются: разрушения и трещины узлов крепления, силового набора и обшивки; остаточные деформации силового набора и обшивки; ослабление заклепок; износ отверстий под стыковочные болты; механические повреждения обшивки и силового набора; коррозия и нарушение антикоррозийного покрытия деталей. В клеесварных соединениях возможны трещины на обшивке и стрингере по сварным точкам, разрывы по сварным точкам, щели между обшивкой и стрингерами вследствие разрыва сварных точек.

Остаточная деформация после летных происшествий и грубых посадок иногда может достигать таких размеров, что балка выходит за предельно допустимые отклонения. В таких случаях балку заменяют новой, которую необходимо подогнать, разделить стыковочные отверстия и установить. Допускаемые по размерам трещины обшивки, стрингеров, шпангоутов засверливают на концах и устанавливают усиливающие накладки. Разрывы и трещины сварных точек устраняют установкой заклепок по дефектным точкам. Трещины в узлах крепления допускается заваривать, если это предусмотрено нормативно-технической документацией.

Неисправности и дефекты обшивки, силового набора, ослабление заклепок устраняются, как указано в гл. 5. При изменении размера, формы отверстий под стыковочные болты их развертывают, после чего устанавливают болты с ремонтными размерами диаметров.

Поскольку вертолеты эксплуатируют при значительно меньших скоростях, чем самолеты, браковочными признаками допускаются более значительные дефекты на внешних обводах, чем на обшивках самолетов. Например, на некоторых типах вертолетов допускают без выполнения ремонтных работ следующие дефекты: плавные (без изломов) вмятины не более двух штук на 1 м^2 с общей площадью до 5% от площади всей обшивки и глубиной до 3 мм; царапины глубиной до 0,1 мм и забоины без трещин.

Ремонт лопастей несущих и хвостовых винтов. Несущий винт создает подъемную силу и тягу для перемещения и поддержания вертолета в воздухе. Вертолет имеет один или два (соосных трехлопастных противоположного вращения) несущих винта. Лопasti каждого винта взаимозаменяемы. Лопasti верхнего и нижнего винтов не взаимозаменяемы. Хвостовой винт предназначен для уравновешивания реактивного момента несущего винта, а также для обеспечения путевой управляемости и устойчивости вертолета. Он состоит из втулки и двух—четырех лопастей.

Лопasti несущих винтов состоят из лонжеронов, отсеков, обшивки и концевых обтекателей. Наибольшее распространение получили металлические, стеклопластиковые лопасти и лопасти с сотовыми наполнителями. Основной силовой элемент лопасти — лонжерон, изготовленный из стеклопластика или металла. Вместе с лонжероном аэродинамический профиль лопасти образует хвостовые отсеки из тонкой стеклопластиковой или из сплава АВТ-1 обшивки и легкого наполнителя. Для улучшения противоблужетной характе-

ристики в носок лонжерона ряда вертолетов запрессованы обрезиненные стальные противовесы. В носовой части лонжерона устанавливается противообледенительная система.

Лопастей хвостовых винтов — деревянные или металлические, однолонжеронной конструкции без отсеков. Лопастей имеют защитное лакокрасочное покрытие. Ремонту подлежат лопасти, межремонтный ресурс которых истек и имеющие неисправности и дефекты. Для исключения механических повреждений на протяжении ремонта лопасти должны храниться в чехлах и размещаться в специальных козелках или контейнерах носком вниз.

На лопасти несущего винта действуют нагрузки: аэродинамические; инерционные; от центробежных сил; инерционные, вызываемые маховыми движениями лопасти. От этих нагрузок лопасти несущего винта испытывают: деформацию растяжения от осевой составляющей центробежной силы инерции, изгиб и сдвиг в плоскости взмаха от суммарной нагрузки; изгиб и сдвиг в плоскости вращения под действием кориолисовой силы и силы сопротивления вращению винта; кручение из-за несовпадения направления приложения суммарной нагрузки с осью жесткости лопасти.

Условия нагружения и работы силовых элементов несущего и хвостового винта аналогичны. Лопастей хвостового винта испытывают переменные аэродинамические и инерционные нагрузки, но меньшие по значению.

Основными неисправностями несущих и хвостовых винтов являются: разрушения и трещины лопастей и деталей корпуса; износ, паволакивание, схватывание колец и игл подшипников; эрозия передних кромок лопастей; механические повреждения; коррозия и нарушение антикоррозийного покрытия.

Техническое диагностирование деталей производится: опико-визуальными методами, техническими измерениями, течеисканием, магнитным, рентгеновским, акустическим и другими методами неразрушаемого контроля. Так, галоидным методом, аналогично проверке кессонов-баков на герметичность, проверяется наличие трещин в трубчатых лонжеронах лопастей несущего винта.

Браковочными признаками для некоторых воздушных винтов вертолетов разрешаются без проведения ремонтных работ дефекты: поверхностные трещины на лакокрасочном покрытии в любом направлении с началом по стыку обшивок хвостовых секций под задней стенкой лонжерона; трещины по абразивостойкому резиновому покрытию, если при этом не оголен стеклопластик под покрытием; стыки по абразивостойкому резиновому покрытию носка; следы шпатлевки резинового покрытия в виде серых матовых пятен; непрочлей резинового и других покрытий определенной площади.

Приведенные примеры дефектов, допускаемых без ремонта, дают представление о требованиях, предъявляемых к состоянию воздушных винтов вертолетов. Для каждого типа винта в зависимости от налета часов браковочные признаки устанавливаются индивидуально. Обычно браковочные признаки требуют замены лопастей при

наличии дефектов: забоин или вмятин с повреждением стеклопластика на лонжероне; побеления стеклопластика на поверхности лонжерона в виде отдельного светлого пятна на более темном фоне стеклопластика; разрушения стеклопластика по линии носков; деформации лонжерона или расслоения стеклопластика на комлевом участке; забоин и царапин по узлу крепления, если их размеры превышают допустимые или если они расположены на ранее отремонтированном месте.

В случае обнаружения трещин на основных деталях втулок винтов детали бракуются. Обычно износ, наклеп допускают до глубины 0,05 мм на 15—25% площади рабочей поверхности деталей. Механические повреждения допускают до глубины не более 0,5 мм на нерабочих поверхностях.

При ремонте применяют обычные способы механической обработки и восстановления. Сопряжения восстанавливают из условий сохранения заданных чертежом посадок. Конусы, шаровые соединения протирают, добиваясь определенной площади прилегания, контролируемой по отпечаткам краски.

При ремонте втулок несущих винтов особое внимание уделяют приработке деталей демпфера. Приработка осуществляется для гидравлических демпферов на специальных стендах, для механических — на токарных станках в специальных приспособлениях.

На металлических лонжеронах механические повреждения и коррозию устраняют зачисткой. При этом допуски на ослабление установливают в зависимости от его направления. Поперечные повреждения более опасны, чем продольные, так как являются концентраторами при растяжении и изгибе.

Для деталей воздушных винтов вертолетов это имеет большое значение из-за маховых движений лопастей. Циклические нагрузки в связи с этим снижают предел выносливости. После зачистки отремонтированный участок упрочняют методами пластического деформирования. Поскольку вдоль лопасти нагрузки распределяются неравномерно, допуски на повреждения и ремонт устанавливаются в зависимости от зоны их расположения (рис. 5.56). Наиболее ограниченные допуски на повреждения располагаются в зоне А, особенно на передней кромке. В зоне С повреждения и трещины допускают минимальными из-за значительных нагрузок. В зонах В допуски на дефекты и повреждения более широкие.

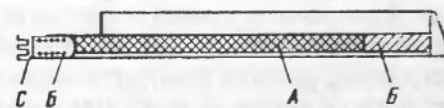


Рис. 5.56. Пример разделения лопасти воздушного винта вертолета на зоны

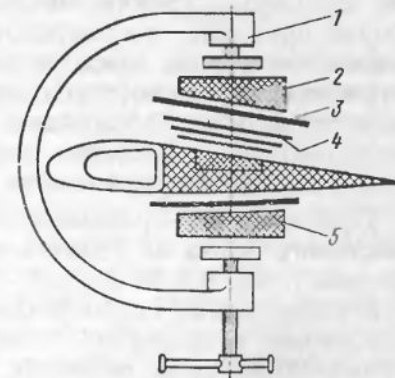


Рис. 5.57. Пример ремонта повреждения обшивки

Ремонт хвостового отсека. Хвостовой отсек вертолета, изготовленный из многослойной обшивки с применением сотового заполнителя, ремонтируют склеиванием.

На рис. 5.57 показан пример ремонта повреждения обшивки хвостовой секции лопасти в зоне А. В поврежденное место устанавливается пенопластовый буж 5, стеклотканевая накладка 4, брусок из мягкого металла 2 и резиновая прокладка 3. Макет стягивается струбциной 1.

Обычно разрешается подклейка хвостовых отсеков, лепестков оковок лопастей. При обнаружении непроклеев (пузырей) под резиной нагревательной накладкой производится подклейка зашприцовкой клея под резину через сделанные в ней проколы. Разрешается заменять и вставлять участки противоабразивной резиновой накладки. Стеклопластиковые обшивки лопасти ремонтируют установкой заплат на клею из авиала или дюралюмина.

Сборка и балансировка. После ремонта лопасти хвостового, несущего винтов подвергают статической балансировке на специальных приспособлениях, если в процессе ремонта их масса изменилась. Ремонт лопастей, особенно несущего винта, требует очень большой осторожности, большого навыка и строгого контроля. При малейшем нарушении балансировки с учетом маховых движений лопастей могут возникнуть недопустимые нарушения режимов работы воздушного винта.

Втулки несущего и хвостового винтов собирают на специальных плитах с применением различного оборудования и инструментов. Некоторые детали требуют совместной обработки при сборке (скоба и упоры, цапфа и упорное кольцо и т. д.). Сборка втулки несущего винта включает узловую и общую сборку. Собирают осевые шарниры, рычаги поворота лопастей, демпферы. На штырь надевают корпус винта, к нему присоединяют с помощью горизонтальных шарниров скобы. Устанавливают вертикальные и осевые шарниры. Монтируют демпферы, рычаги поворота лопастей. При этом обращают внимание на необходимость нанесения смазки, на соблюдение моментов затяжки, на легкость вращения подшипников. При сборке проводят регулировочные работы. Проверяют зазоры в сочленениях, углы свеса и взмаха скоб, углы поворота осевых шарниров, определяют усилия срабатывания демпферов, моменты проворачивания. Собранный втулка несущего винта проверяется на герметичность. Сборка втулки хвостового винта аналогична сборке втулки несущего винта.

При контроле производится гидравлическое испытание втулки хвостового винта на герметичность, на перевод с одного шага установки лопастей на другой. Такие испытания проводятся с помощью специальных гидростендов. На собранной втулке с лопастями регулируют и проверяют следующие геометрические параметры: установочные углы лопастей; отклонение лопастей от плоскости вращения; отклонение лопастей от заданного диаметра винта. Инструменты и приспособления, которые используются для проверки

геометрических параметров воздушных винтов вертолетов, аналогичны самолетным.

Биение лопастей винта проверяется по задней кромке. Определяется отклонение лопастей от заданного диаметра винта. Выполняется проверка увода лопастей от плоскости вращения. Регулировка производится заменой или подпиливанием упоров на корпусе. Отклонение лопастей в плоскости вращения проверяют сопоставлением между собой углов развала каждой пары лопастей данного винта или методом подчеркивания. Лопасты в плоскости вращения регулируются перестановкой или заменой лопастей, деталей рукавов, стаканов.

Затем производится статическая балансировка хвостового винта на специальной установке. Допуски на балансировку очень жесткие — в зависимости от шага винта: от 0,03 до 0,08 мН. Неуровновешенность устраняется установкой дополнительных балансировочных грузов и пластин. В качестве пробного груза применяют мастику, замазку, изоляционную ленту, металлические взвешенные прищепки и т. д.

Динамическая балансировка хвостового и несущего винтов производится непосредственно на вертолете при работе двигателей. Динамическая неуровновешенность возникает при смещении центра тяжести лопастей от плоскости вращения винта и при значительной разнице в установке углов лопастей; устраняется регулировкой углов установки лопастей, заменой или перестановкой лопастей, деталей стаканов, рукавов.

Ремонт системы управления. Система управления вертолетом включает: органы управления (несущий и хвостовой винты, рулевые поверхности); механизмы управления (автомат перекоса, механизм изменения шага хвостового винта, ручки изменения шага несущего винта, гидросплиттеры); проводку управления (тяги, качалки, тросы, ролики).

Конструкция управления вертолетом во многом аналогична управлению самолетом, однако имеет свои отличия. Так, в системе управления применяются хвостовой и несущий винты, автомат перекоса, которые присущи только вертолетам и на самолетах отсутствуют.

Рассмотрим особенности ремонта автомата перекоса. Автомат перекоса состоит из нескольких узлов: направляющей, ползуна, кардана, тарелки, механизмов продольного и поперечного управления, рычага общего шага, тяг поворота лопастей и др. Особенностью конструкции автомата перекоса является наличие кардана. Детали изготовлены из высококачественных сталей с высоким классом шероховатости поверхности. На автомат перекоса действуют усилия, передаваемые от несущего и хвостового винтов.

Основными неисправностями и дефектами автомата перекоса являются: разрушения и трещины деталей; износ деталей шарикоподшипников, бронзовых вкладышей ползуна, направляющей; механические повреждения деталей; коррозия и нарушение антикоррозийного покрытия. Дефектация выполняется визуально-оптиче-

скими методами, техническими измерениями, с применением магнитного и других видов неразрушающего контроля.

При выполнении ремонтных работ важно учитывать, что значительная часть деталей требует индивидуальной, парной подгонки и обработки. При сборке автомата перекоса необходимо обращать внимание на номера деталей, поскольку они невзаимозаменяемы, на легкость вращения подшипников, на смазку сопрягаемых деталей. Вначале выполняется узловая сборка (тарелок, тяги поворота лопастей, нажимного рычага и т. д.), а затем общая сборка. Характерным для сборки автомата перекоса является предварительная сборка отдельных узлов (тарелок, тяг) с целью подбора регулировочных колец, шайб, втулок. Запрессовка подшипников в тарелку производится при ее подогреве в печи до 70—90°C в течение 10—15 мин. При сборке необходимо соблюдать моменты и правила затяжки деталей крепления. Здесь также соблюдают непреложное правило о сохранении заданных чертежами посадок. Особо тщательно измеряют регулировочные кольца.

При регулировке автомата перекоса с помощью квадранта его выставляют на монтажную плиту горизонтально с точностью до 2'. На штырь устанавливают автомат перекоса, и его направляющую крепят к плите. При этом необходимо следить, чтобы стрелка и буквы НП (направление полета) на фланце направляющей совпали с риской на плите. Затем устанавливается тарелка автомата перекоса вперед от «завала» на определенный угол для конкретного типа вертолета (обычно 45—60°). Затем регулируют угол наклона тарелки автомата перекоса вперед, назад, влево, вправо с точностью $\pm 5'$. Эта регулировка производится постепенным уточнением и неоднократно контролируется. Необходимо соблюдать требование обеспечения заданного зазора между тарелкой и другими деталями агрегата при наклоне тарелки в крайнее положение. Для регулировки используют оптический квадрант (или другой инструмент для измерения углов), установленный на подставку. Для каждого типа вертолетов имеются специальные таблицы регулировки.

Ремонт редуктора. Главный редуктор вертолета предназначен для передачи крутящего момента и понижения частоты вращения от двигателей к несущим винтам, суммирования мощностей двигателей и их распределения на несущие винты привода генератора, датчика тахометра, гидро- и масляного насосов. Редуктор состоит из картера, силовой передачи, привода агрегатов, систем смазки и суфлирования, системы контроля появления стружки. На редуктор установлены тормоз, генератор и датчик тахометра, гидро- и масляный насосы, магнитный улавливатель стружки и фильтр-сигнализатор.

Редукторы ремонтируют по системе текущих и капитальных ремонтов. Текущий ремонт производится на эксплуатационных предприятиях при появлении отдельных отказов, неисправностей и дефектов, не требующих демонтажа и разборки редукторов в периоды

до первых ремонтов или между ремонтами. Последовательность и объем работ определяются в каждом конкретном случае.

Капитальный ремонт редукторов производится на ремонтных предприятиях по причинам: выработки установленных до первого ремонта или межремонтного ресурсов; значительных повреждений, засорения системы, значительной коррозии, в результате которых требуется полная разборка редуктора; истечения установленного срока консервации, даже на неработавшем редукторе, так как при этом требуется полная разборка и тщательная дефектация всех деталей; непрерывной работы редуктора сверх допустимого времени на режимах: максимальном, первом номинальном, максимальной частоты вращения, заброса частоты вращения, так как после этого необходима тщательная дефектация всех его деталей для выявления возможных разрушений подшипников, выкрашивания зубчатых колес, перегрева элементов деталей и т. п.; после значительного внешнего удара или падения редуктора в процессе транспортировки и хранения.

Редуктор представляет собой сложную конструкцию с малогабаритными деталями, имеющими жесткие допуски размеров и высокий класс шероховатости поверхностей. Особенности ремонта определяются очень малыми допусками на износы деталей и на зазоры, наличием селективного подбора некоторых ответственных деталей.

Обычно при ремонте деталей редуктора контролируют следующие параметры: погрешность взаимного расположения рабочих поверхностей деталей (биение диаметров опор валов и осей, несоосность рабочих поверхностей втулок, неперпендикулярность торцовых поверхностей зубчатых колес осям, биение зубьев зубчатых колес относительно опорных поверхностей и др.); размеры, погрешности форм, шероховатость поверхностей вращающихся деталей и сопрягаемых с ними поверхностей корпусов; зазоры всех сопряжений. Браковочными признаками устанавливаются количественные характеристики дефектов. При ремонте и восстановлении агрегатов и деталей редукторов используются технологические процессы, изложенные в гл. 5 и 6. Все параметры отремонтированных редукторов и их надежность должны соответствовать аналогичным параметрам новых редукторов.

Ремонт редуктора осуществляют по обычной схеме: приемка, объемная дефектация, разборка, очистка и промывка, техническое диагностирование, ремонт, сборка, стендовые испытания, монтаж на вертолет, летные испытания. При приемке проверяют техническую документацию, при объемной дефектации определяют общее техническое состояние. Затем после разборки, очистки и промывки детали поступают в сортовики на участок технического диагностирования.

Наиболее распространены следующие дефекты редуктора: коррозия, механические повреждения, наклеп и точечное выкрашивание материала на зубчатых колесах, надиры, трещины, эрозия, износы контактирующих поверхностей, нарушение покрытий.

Некоторые детали подлежат обязательной замене при каждом капитальном ремонте независимо от их технического состояния. Они дефектации не подвергаются, а после разборки сразу направляются в «изолятор брака». К этим деталям относятся резиновые и другие уплотнительные изделия, стопорные детали одноразового использования, некоторые неразборные узлы, детали или подшипники с ограниченным ресурсом, не обеспечивающим отработку следующего межремонтного ресурса.

Техническое диагностирование деталей редуктора выполняется с применением визуально-оптического, магнитного, акустического и других видов неразрушающих методов контроля. По результатам технического диагностирования производится ремонт. В некоторых случаях необходим селективный подбор деталей вместо забракованных и отработавших ресурсы для обеспечения заданных чертежами посадок.

Все детали редуктора можно условно разделить на две группы: обезличенные детали, т. е. детали, которые после ремонта могут быть установлены на любой ремонтируемый редуктор;

необезличенные детали (комплектные), т. е. детали, которые после ремонта устанавливаются только в своем узле и только на свой редуктор.

Высокая частота вращения при работе деталей начальных ступеней редуктора, требования к точности сопряжений вращающихся и неподвижных деталей (зубчатых, шлицевых соединений, валов и осей, упорных колец и втулок) требуют точного восстановления посадочных поверхностей, проверки биения диаметров деталей вращения относительно баз, бокового зазора между зубьями и шлицами вала и зубчатого колеса, которые не должны превышать установленных допусков.

Глубина и число местных выемок после выведения незначительного точечного выкрашивания материала на зубчатых колесах и поверхностях профилей шлицев должны соответствовать эталону.

После ремонта детали редуктора предварительно промывают, узлы прокачивают маслом под давлением, комплектуют и направляют на сборку. Сборка редуктора — наиболее сложный и ответственный технологический процесс ремонта, поэтому к нему предъявляются повышенные требования. В качестве примера рассмотрим сборку узла привода гидронасоса одного из типов редукторов. Сначала проводится предварительная сборка, проверка и регулировка зазоров, затем окончательная сборка.

Нижний картер устанавливают на приспособление для сборки. Затем корпус привода гидронасоса устанавливают в нижний картер с одновременной посадкой на шпильки так, чтобы колесо и шестерня вошли в зацепление. Застопорив шестерню привода гидронасоса приспособлением, выбирают осевой люфт и проверяют зазор в зацеплении. После этого удаляют корпус привода гидронасоса из нижнего картера, покрывают тонким слоем краски «Парижская синяя» зубья ведущей шестерни. Собирают узел привода гидронасоса, проворачивают против часовой стрелки на 7—10 обо-

ротов шестерню, притормаживая колесо. Разбирают узел и проверяют отпечаток краски на колесе.

Отпечаток должен переходить с малого модуля на большой (рис. 5.58). Допустимый размер отрыва краски на высоте зуба C — не более 1,1 мм; разрыв по длине красы, не превышающий 0,2 длины отпечатка, во внимание не принимается. При несоответствии отпечатка краски подбор осуществляют заменой регулировочных колец. При невозможности подобрать зубчатые колеса по отпечатку краски применяют метод селективного подбора. Этим заканчивается предварительная сборка нижнего узла.

Зазоры проверяют, расклинивая блочки свинцовыми щупами через один в четырех положениях через угол 90° . Разница в зазорах должна быть не более 0,1 мм. После этого нижний узел разбирают на детали и окончательно собирают. Этим комплексом технологических операций обеспечивается точность сборки.

Аналитический расчет точности сборки крайне затруднен. В значительной мере точность сборки обеспечивается экспериментально. Однако применительно к геометрическим параметрам (натягам, зазорам, биениям, взаимной координации поверхностей) такая задача часто решается на основе теории размерных цепей.

Окончательно собранный редуктор осматривают, проверяют биение вала, прокачивают маслом и передают на испытание. Испытание является заключительным технологическим этапом ремонта редуктора, определяющим его годность для эксплуатации. Оформление документации — неизменная операция. Редуктор может быть установлен на вертолет или направлен заказчику, если он поступил в ремонт отдельно.

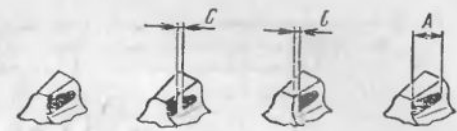


Рис. 5.58. Отпечаток краски на зубьях конических шестерен

Глава 6

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

6.1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ
НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Способы получения покрытий. Восстановление размеров изношенных деталей, улучшение свойств поверхностного слоя, повышение их эксплуатационных характеристик может быть достигнуто путем получения на поверхности деталей металлических или неметаллических неорганических покрытий с определенными физико-механическими свойствами. Термины и определения основных понятий в области металлических и неметаллических неорганических покрытий, полученных на металле химическим и электрохимическим способами, установлены ГОСТ 9.008—82.

Покрытия разделяют на виды в зависимости от способа их получения, материала, физико-механических и декоративных свойств, а также видов дополнительной обработки покрытий. Виды покрытий и их обозначение в нормативно-технической документации регламентирует ГОСТ 9.073—77. В авиаремонтном производстве нашли применение следующие способы получения покрытий: химический, электрохимический с катодным восстановлением металла (гальванический), электрохимический с анодным окислением металла (анодирование, окисление), горячий, диффузионный, металлизационный, контактно-механический и др.

Ведущее положение при ремонте и восстановлении деталей на АРЗ занимают электрохимические и химические способы нанесения покрытий, которые выполняются при низких температурах и позволяют автоматизировать процесс наращивания металла и образования неметаллических покрытий.

Электрохимический способ с катодным восстановлением металла. Гальванические покрытия в авиаремонтном производстве применяют для восстановления размеров изношенных деталей, повышения их износостойкости, защиты от коррозии и декоративных целей. Сущность процесса гальванизации, при котором происходит наращивание металла на поверхность детали, заключается в том, что при прохождении электрического тока через водный раствор солей металлов (например, CuSO_4) электролит диссоциирует, т. е. распадается на противоположно заряженные ионы. При этом ионы с положительным зарядом — катионы — в виде атомов металла (например, Cu^{++}) и водорода (2H^+) направляются к катоду и осаждаются на нем, а отрицательно заряженные ионы — анионы — (например, SO_4^{--}) направляются к аноду.

В качестве катода (рис. 6.1), подключенного к отрицательному проводу от источника постоянного тока, в ванну 1 с электролитом 3 опускают деталь 5, а в качестве анода 2 — пластину из определенного металла или сплава. При прохождении тока через электролит на поверхности детали осаждаются атомы металла.

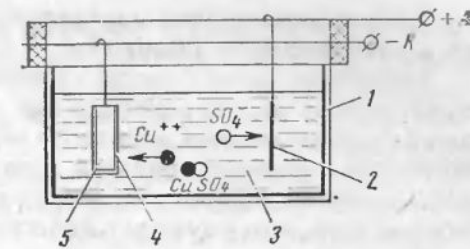


Рис. 6.1. Схема процесса гальванизации

Происходит катодное восстановление металла пластины, образующее гальваническое покрытие 4 на детали.

На свойства гальванических покрытий и на ход процесса осаждения металла оказывают влияние: температура электролита, плотность тока и распределение тока на катоде, состав электролита, подготовка поверхности перед нанесением покрытий.

Температура электролита оказывает влияние на скорость процесса. При повышении температуры в определенных пределах увеличивается подвижность ионов, повышается электропроводность и степень диссоциации электролита. Совместное повышение температуры и плотности тока позволяет ускорить процесс осаждения металла на детали при сохранении мелкокристаллической структуры покрытия.

Плотность тока, т. е. отношение силы тока к площади покрытия, влияет на структуру покрытия и скорость осаждения. При малых значениях плотности тока скорость осаждения невелика, так как количество ионов, достигших поверхности, может компенсироваться выделением ионов из основной массы электролита. В этих условиях происходит рост зерен металла на уже имеющихся центрах кристаллизации и покрытие получается крупнокристаллическим. При более высокой плотности тока наблюдается ускоренный переход ионов металла из зоны электролита около катода, что ведет к образованию новых центров кристаллизации за счет ионов из основной массы электролита. В результате покрытие получается мелкозернистым, более плотным. Однако при дальнейшем повышении плотности тока возрастает выход водорода из раствора. Атомы водорода внедряются в осажденный металл, повышая его хрупкость и твердость, происходит *наводороживание*.

От распределения тока на катоде зависит равномерность распределения осадка на детали, обеспечение одинаковой толщины покрытия по всей поверхности. Толщина осажденного металла будет больше на тех участках реальной детали, где возникает большая плотность заряда (выпуклые поверхности, края детали). Применяют искусственные приемы для улучшения распределения тока на поверхности катода: изготавливают аноды, повторяющие форму изделий, увеличивают расстояние между анодом и катодом; используют непроводящие экраны и т. д.

Состав электролита определяет качество покрытия, ход процесса и равномерность покрытия.

Основным компонентом электролита являются соли или соединения металлов, образующих покрытия. Дополнительно для уменьшения сопротивления электролита, т. е. для повышения электропроводности, в раствор вводятся соли щелочных металлов, серная кислота и другие добавки. Процесс при этом проходит с большей плотностью тока, что улучшает качество покрытия.

Состав электролита определяет и его рассеивающую способность, т. е. способность давать равномерные по толщине покрытия на деталях сложной формы. Наибольшей рассеивающей способностью обладают, например, цианистые электролиты.

Наиболее распространенными в авиаремонтном производстве материалами гальванопокрытий являются хром, кадмий, цинк, сплав медь-олово (бронза), олово, никель и др.

Хромирование применяется для повышения износостойкости стальных деталей, работающих в условиях трения, восстановления размеров изношенных деталей, декоративной отделки и повышения коррозионной стойкости деталей, работающих в различных климатических условиях. Хром обладает высокой химической стойкостью, в атмосфере не меняет цвета, хромовые покрытия жароустойчивы.

Высокая твердость хрома в сочетании с особым характером структуры определяет его износоустойчивость. Из всех металлов, применяемых в машиностроении, электролитический хром имеет наименьший коэффициент трения, что уменьшает износ трущихся хромированных деталей. По механизму защиты от коррозии хромовое покрытие является катодным по отношению к стальной детали и защищает сталь, механически изолируя ее от среды. При проникновении влаги к поверхности детали разрушению подвергается сталь (анод). Хромирование имеет ряд существенных недостатков: снижает усталостную прочность основного металла; происходит при низком выходе по току, т. е. низком коэффициенте полезного действия ванны, не обеспечивает высокой производительности процесса.

Снижение усталостной прочности стали при хромировании, особенно высоконагруженных деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, объясняется тем, что в хромовом покрытии возникают значительные остаточные напряжения растяжения, в результате чего в покрытии появляются трещины. На снижение усталостной прочности основного металла оказывает отрицательное действие и наводороживание, т. е. насыщение металла водородом при хромировании, что снижает пластичность стали и ведет к зарождению трещин.

В зависимости от режимов нанесения покрытия хром получают мягким, твердым пористым или твердым плотным. На ремонтных заводах преимущественно используют твердое плотное хромирование, так как наличие пор в покрытии может быть причиной коррозии детали под слоем хрома при попадании влаги.

С целью уменьшения вредного влияния хромирования на усталостную прочность деталей, особенно из высокопрочных сталей, применяют различные технологические приемы, в частности термическую обработку и упрочнение поверхностного слоя детали, изоляцию участков детали, которые не подвергаются хромированию из-за повышенной концентрации напряжений (галтели, выточки).

При термической обработке (отпуске) снимаются остаточные напряжения, возникающие в детали в результате действия эксплуатационных нагрузок, механической обработки деталей перед и после хромирования, а также удаляется водород, поглощенный покрытием в процессе электролиза, происходит *обезводороживание*.

Применение тройной термообработки, обезводороживания и упрочнения перед хромированием позволяет решить вопрос многократного ремонта деталей из высокопрочных сталей с восстановлением хромового покрытия при каждом ремонте без снижения ресурса работы деталей.

Склонность хромовых покрытий к растрескиванию используют для получения специального *пористого хромирования*. Благодаря наличию развитой каналообразной сетки трещин и достаточной прочности и износоустойчивости такое покрытие обладает высокими антифрикционными свойствами, способностью удерживать смазки.

Кадмирование в авиаремонтном производстве применяется для защиты от коррозии деталей: из пружинной стали; крепежных; стальных, эксплуатируемых в условиях воздействия морской воды, тропиков. Кадмирование применяют также для защиты стальных и медных деталей от контактной коррозии алюминиевых и магниевых сплавов. Такая область применения кадмиевых покрытий объясняется свойствами кадмия: он пластичен, легко реагирует с кислородом при нагревании, образуя тонкие пленки окиси кадмия, предохраняющие металл от разрушения. Кадмирование не применяется для деталей, работающих в топливах, маслах, в средах, содержащих CO_2 , сернистые соединения, так как кадмий растворяется в минеральных кислотах. Для повышения коррозионной стойкости кадмированные детали подвергают дополнительному покрытию — хроматированию или фосфатированию.

Особенностью технологии кадмирования является применение термической обработки (отпуска) до и после механической обработки детали, обезводороживания кадмированных поверхностей и дополнительной обработки покрытия в хроматных растворах или фосфатированием. Такая технология позволяет проводить многократный (до 5 раз) ремонт авиационных деталей с восстановлением кадмиевого покрытия при каждом ремонте и уменьшает влияние гальванического покрытия на усталостную прочность высокопрочных и пружинных сталей.

Меднение в процессе ремонта применяют для восстановления размеров бронзовых деталей, защиты от наклепа и от схватывания стальных изделий, улучшения притирки стальных трущихся поверх-

ностей, а также для защиты от коррозии при нанесении комбинированных покрытий типа медь-никель-хром. Меднение деталей, работающих в атмосферных условиях, особенно при наличии сернистых газов и галогенов, не применяют, так как медь не предохраняет металл от коррозии.

Цинкование используют для защиты от коррозии деталей, работающих в топливах с сернистыми соединениями и стальных деталей, эксплуатирующихся при температурах до 300°C. Электролитическое цинкование не допускается применять для деталей из высокопрочных и пружинных сталей из-за наводораживания.

Цинк относится к химически активным металлам, активно реагирует со щелочами, кислотами, сернистыми соединениями; в среде влажного воздуха с наличием углекислого газа образует продукты коррозии (белая ржавчина). Но обладая по отношению к железу более высоким отрицательным потенциалом, цинк в сочетании с железом является анодом и обеспечивает его коррозионную защиту. При развитии коррозии будет разрушаться цинковое покрытие, а не металл основы.

Никелирование применяют для защиты от коррозии деталей, работающих при повышенной температуре, для декоративной отделки и в качестве промежуточного слоя перед меднением коррозионно-стойких сталей. Никель легко полируется, обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в растворах щелочей, при высоких температурах поверхность никелевых покрытий покрывается твердой эластичной пленкой окиси никеля. В гальванической паре никель-железо никель является катодом по отношению к железу, поэтому электрохимически не может защищать металл от коррозии, если покрытие пористое. Для получения беспористых покрытий применяют многослойное осаждение различных металлов (медь, никель, хром). В качестве анодов используют полосы овального или прямоугольного сечения из никеля.

Лужение используют для покрытия оловом деталей, подлежащих пайке, и для защиты от коррозии токоведущих деталей из меди и ее сплавов. Олово обладает значительной химической устойчивостью, но не защищает железо от разрушения в условиях атмосферной коррозии. В связи с высокой пластичностью оловянные покрытия легко выдерживают вальцовку, штамповку, вытяжку, луженые детали легко паяются. Для повышения защитных свойств тонкие оловянные покрытия оплавляют в печи при 550—600°C или в глицерине при 240—250°C.

Бронзирование — покрытие сплавом медь-олово — предназначается для восстановления изношенных бронзовых деталей, работающих в паре со стальными хромированными и никелированными деталями. Сплав медь-олово не склонен к насыщению водородом при электролизе, пластичен, что позволяет наращивать восстановительный слой бронзы толщиной до 1,5 мм без снижения механической прочности детали. Качество и свойства покрытия при электролитическом бронзировании зависят от соотношения компонентов сплава, от состава растворов и режима электролиза. Например, медно-оло-

вянистое покрытие с содержанием более 25% олова (белая бронза) обладает высокой коррозионной устойчивостью к атмосфере, сернистым соединениям, слабым кислотам и щелочам, не уступает никелевым покрытиям по антикоррозионным свойствам.

При ремонте авиатехники применяют **свинцевание, индирование**. Свойства свинца — мягкого пластичного металла, обладающего смазывающими качествами, хорошо противостоящего схватыванию, — определяют его применение как антифрикционного покрытия в подшипниках скольжения. Свинцеванию подвергают поверхности высоконагруженных трущихся деталей, работающих при удельных давлениях около 8,0 МПа. Для предотвращения контактного схватывания свинцеванию подвергают шлицевые и резьбовые соединения. Благодаря высокой пластичности свинца детали со свинцовым покрытием быстро прирабатываются. Такое покрытие трущихся поверхностей предотвращают возникновение задиров в первые часы работы изделий.

Однако свинец имеет малую коррозионную стойкость в среде топлив, масел, особенно при высокой температуре. Поэтому на ответственные детали наносят свинцово-оловянные с содержанием олова не менее 8% или свинцово-индиевые (индия 50%) покрытия, которые обеспечивают надежную и долговечную работу деталей в этих условиях. На торцы роторов топливных насосов наносят, например, слой свинца толщиной 2 мкм, а затем слой индия 3 мкм. Из-за высокой стоимости индия чаще используют свинцово-оловянные покрытия. Свинцово-оловянные покрытия наносят после подготовительных операций (обезжиривания, травления, механической обработки) в два этапа: вначале выполняют свинцевание в электролите, содержащем окись свинца, плавиковую кислоту и столярный клей, а затем — осаждение сплава свинец-олово.

Роторы топливных насосов после нанесения свинцово-оловянных покрытий проходят термическую обработку в разогретом до 120—140°C масле в течение 10—15 мин. После нанесения свинцово-индиевого покрытия роторы погружают в масляную ванну при 60°C, доводят в течение 2 ч до 156°C и выдерживают еще 2 ч. При такой термообработке происходит сплавление индия со свинцом и диффузия его в слой свинца, что определяет в дальнейшем высокие антикоррозионные и антифрикционные свойства покрытия.

Химический и электрохимический с анодным окислением металла способы. При химическом способе образования покрытий процесс протекает за счет взаимодействия раствора с материалом детали. В результате этого процесса на поверхности детали образуется пленка из продуктов химической реакции. Покрытия, образованные химическим способом, отличаются равномерностью защитных свойств на всей поверхности детали независимо от ее формы. Из-за незначительной толщины (до 1 мкм) покрытий их применение ограничивается защитными функциями.

Фосфатирование — наиболее распространенный вид неметаллического неорганического покрытия, образованного химическим способом. Применяется для защиты стальных деталей от коррозии,

особенно сложнопрофилированных, используется при нанесении комбинированных покрытий для защиты металлического покрытия. Фосфатированию подвергают трущиеся детали, болты, стальные трубопроводы и внутренние поверхности емкостей для топлива и масел, кадмированные, оцинкованные детали, пружины, детали из высокопрочных сталей. Фосфатные покрытия представляют собой пленки малорастворимых фосфорных солей цинка, железа, бария и других металлов, соли которых присутствуют в растворах. Образованию такого покрытия способствует взаимодействие фосфорной кислоты с поверхностью металла. Фосфатные пленки пористы, хрупки и для выполнения функции антикоррозийной защиты подвергаются дополнительной обработке (промасливанию, гидрофобизации, покраске). В обработанном виде фосфатные покрытия по защитным антикоррозийным свойствам превосходят цинковые и кадмиевые, а в среде топлив, синтетических масел иногда являются единственно приемлемым способом защиты от коррозии.

Оксидирование применяют для антикоррозийной защиты стальных и чугунных деталей, работающих в масле и топливе, не содержащих воды. Химическое оксидирование проводят погружением деталей в ванну с концентрированным раствором щелочей в присутствии окислителей при температуре 130°C. При повышении концентрации щелочей в растворах получают более стойкие против коррозии окисные покрытия. Оксидированные детали подвергают пропитке разогретыми до 105—115°C нейтральными маслами, что повышает защитные свойства покрытия.

Химическое оксидирование может вызвать *коррозионное растрескивание*, поэтому детали из высокопрочных сталей и цементированные детали запрещается подвергать такой обработке. Стальные оксидированные детали окрашены в глубокий черный цвет, чугунные получают коричневыми.

Химическое оксидирование, сущность которого заключается в том, что защитный слой оформляется в результате взаимодействия металла с раствором без применения электрического тока, позволяет получить пленку толщиной 0,5—1,0 мкм.

Анодирование — химическое и электрохимическое оксидирование алюминиевых сплавов применяют для защиты от коррозии, эрозии, повышения износостойкости, улучшения теплоизолирующих свойств алюминиевых деталей за счет искусственного создания окисных пленок необходимой толщины. Сущность электрохимического способа формирования защитного покрытия заключается в том, что деталь погружают в ванну с электролитом и подключают к положительному полюсу (аноду) источника тока. При прохождении постоянного тока на аноде выделяется атмосферный кислород, происходит реакция окисления алюминия с получением на детали барьерного слоя из окиси алюминия Al_2O_3 .

Режим электрохимического оксидирования, при котором степень воздействия кислоты на анодную пленку снижают путем понижения температуры раствора, называют *твердым анодированием*. В этих условиях получают твердые хрупкие пленки большой

толщины, которые обеспечивают высокую износостойкость при трении в паре с различными металлами.

Особенностью технологического процесса анодирования по сравнению с гальваническими процессами осаждения металла является то, что электрохимическая реакция протекает под пленкой, на границе металл — пленка, которая обладает электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами. Поэтому возникает необходимость принудительного охлаждения электролита для отвода тепла из зоны реакции. С этой целью при всех видах анодирования раствор перемешивают механическим или пневматическим путем. При твердом анодировании для охлаждения электролита применяют холодильные установки. При заключительных операциях для повышения защитных свойств окисных пленок применяют уплотнение каналов наружного слоя путем обработки в воде, растворе хромпика или других солей при 90—95°C. При такой обработке — *наполнении* — заполняются поры, покрытие окрашивается.

Магниевые сплавы также подвергают химическому оксидированию. После оксидирования создается защитная пленка, способствующая также улучшению сцепления лаков и красок с обрабатываемой поверхностью.

Химическое никелирование применяют для повышения износостойкости трущихся поверхностей деталей и защиты от коррозии деталей, работающих в газовой среде при 700—800°C. При этом получается равномерное покрытие деталей сложного профиля, так как осаждение никеля происходит с одинаковой скоростью на всех участках изделия, погруженного в раствор. Высокая твердость такого покрытия позволяет использовать его в качестве износостойкого при восстановлении деталей авиационной техники. Процесс химического никелирования заключается в покрытии металлических и неметаллических деталей сплавом никеля с фосфором из специальных растворов при 90—98°C без применения электрического тока.

Термическая обработка никель-фосфорного покрытия повышает его твердость и прочность сцепления с основным металлом. Минимальным износом обладают никель-фосфорные покрытия стальных деталей после температуры термообработки 350—400°C. Их твердость вдвое превышает твердость гальванического никеля.

Учитывая свойства покрытия и преимущества химического никелирования, этот процесс применяют для восстановления изношенных плунжеров, золотников, внутренних поверхностей цилиндров и других деталей. Недостатком химического никелирования является хрупкость покрытия, возможное выкрашивание металла при изгибе или ударе, малая циклическая контактная прочность, низкая скорость процесса (18—20 мкм/ч).

Диффузионный способ. При ремонте производится массовая отбраковка бронзовых деталей, изготовленных из алюминиевой бронзы, вследствие износа рабочей поверхности трения. Посадочные поверхности малонагруженных бронзовых деталей могут вос-

становиваться меднением. Однако низкая износостойчивость гальванически осажденной меди не позволяет применять этот материал для восстановления нагруженных изношенных трущихся поверхностей. Бронзирование оловянистой бронзой в этом случае не всегда целесообразно из-за более низких механических характеристик и дороговизны оловянистой бронзы по сравнению с алюминиевой.

Покрытие алюминиевой бронзой в связи с невозможностью осаждения ее из электролита осуществляется по двухэтапной технологии: деталь вначале подвергается меднению, а затем слой меди химико-термическим способом насыщается алюминием, превращаясь в алюминиевую бронзу. Процесс химико-термической обработки меди в порошкообразной смеси на основе алюминия при 900—950°C называют *диффузионным алитированием*. Свойства алитированных деталей зависят от концентрации алюминия в меди, которое регулируется изменением режимов алитирования. Алитированный слой после термообработки при 900°C (закалка в масле) обладает высокой износостойчивостью и твердостью.

Обработка поверхности перед покрытием и после него. Тщательная подготовка поверхности позволяет получить высококачественное покрытие и прочное его сцепление с основным металлом. В качестве подготовительных операций применяют механическую и термическую обработку, обезжиривание и травление. Целью подготовительных операций является удаление с поверхности загрязнений, окислов, остатков покрытий, окалина, придание поверхности нужного класса шероховатости, удаление механических повреждений, снятие эксплуатационных напряжений в поверхностном слое.

Каждая технологическая операция выполняется в соответствии с руководством по ремонту изделий, определяющим вид и толщину покрытия, режимы операций и состав технологического процесса применительно к особенностям каждой детали.

Удаление покрытий производится электрохимической или химической обработкой ремонтируемой детали. Например, кадмиевые покрытия удаляют в растворе азотнокислого аммония при комнатной температуре, цинковые — в растворе соляной кислоты и уротропина, никелевые покрытия можно удалять электрохимическим способом путем погружения детали в качестве анода в электролит.

Механическая обработка восстанавливаемых поверхностей выполняется в виде полирования для придания нужного класса шероховатости. Например, перед хромированием для восстановления размеров производится шлифование с доведением поверхности до шероховатости не ниже 8-го класса. Механической обработкой удаляют с поверхности мелкие царапины, забоины, риски и другие незначительные дефекты.

Травление выполняют для удаления с поверхности окислов и других загрязнений химическим или электрохимическим способом.

Химическое травление подразделяют на кислотное, щелочное,

комбинированное и гидритное в зависимости от состава раствора, в котором обрабатывается деталь. Кислотное травление применяют для обработки деталей из черных и цветных металлов и сплавов; щелочное — для обработки алюминия и алюминиевых сплавов; комбинированное травление эффективно для очистки поверхности деталей из жаропрочных, кислотостойких и коррозионно-стойких сталей. Гидритное травление в расплаве едкого натра исключает насыщение поверхности водородом, не разрушает металла.

Электрохимическое травление применяют для обработки деталей из легированных и конструкционных сталей, если химическое травление затруднено. Электрохимическое травление (рис. 6.2) заключается в том, что деталь 4 погружают в ванну 1 с электролитом 2 в качестве анода (+). При протекании постоянного электрического тока происходит анодное растворение, т. е. переход в раствор металла вместе с загрязнениями. Кроме того, на аноде выделяется кислород, который разрушает окисные пленки. Выбор способа травления зависит также от вида покрытия.

Обезжиривание проводится промывкой детали в керосине, бензине, растворах щелочей, органических растворителей. Это химическое обезжиривание. Применяется также электрохимическое обезжиривание, при котором деталь в качестве катода опускают в ванну с электролитом. При прохождении постоянного тока в течение 2—3 мин происходит растворение жировых пленок на деталях.

Пассивирование назначается для некоторых видов покрытий с целью повышения их антикоррозионных свойств за счет образования защитных пленок в ходе химической реакции. Пассивирование значительно повышает защитные свойства покрытия вследствие перехода металла в пассивное состояние.

Осветлению подвергают детали с гальваническим покрытием для придания поверхности светлого и равномерного цвета. Процесс заключается в химической обработке поверхностного слоя в растворе кислоты.

Гидрофобизирование — обработка покрытий специальными составами гидрофобизирующих жидкостей для образования гидрофобной пленки (водоотталкивающей). Например, гидрофобизирование деталей, подвергшихся химическому никелированию, проводят в бензиновом растворе жидкости ГКЖ. Гидрофобизация повышает коррозионную стойкость покрытия в 2—3 раза.

Дополнительная обработка покрытий выполняется для снятия остаточных напряжений, возникших в процессе образования покрытий, для защиты покровного слоя, изменения его структуры, шероховатости поверхности. С этой целью применяют такие процессы,

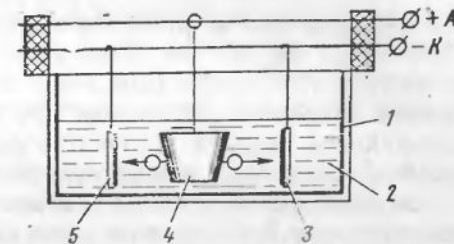


Рис. 6.2. Схема электрохимического травления

как термическая и механическая обработка, обезводораживание, химическая обработка, нанесение лакокрасочных покрытий. Механическую обработку глянцеванием выполняют при защитно-декоративном покрытии войлочным кругом с пастой ГОИ. Шероховатость поверхности должна соответствовать требованиям чертежей на изделие. Применяют также суперфиниширование, хонингование.

Обезводораживание (удаление водорода с поверхности) назначается после хромирования, кадмирования, цинкования и других видов покрытий для уменьшения вредного влияния водорода на установочную прочность металла. Выполняется этот процесс путем загрузки деталей в масляную ванну при температуре 100°C и выдержке при температуре 200—130°C в течение 3 ч. Допускается подвергать детали обезводораживанию в воздушной печи при таком же режиме, как в масляной ванне.

Методы контроля покрытий. В авиаремонтном производстве приемочному контролю подлежат каждая деталь единичного производства или образцы-свидетели, которые подвергались покрытию одновременно с крупными или тяжелыми деталями. Из партии контролируют не менее трех деталей.

Правила приемки и методы контроля установлены ГОСТ 9.302—79 и соответствующей нормативно-технической документацией на изделие. Покрытия контролируют по внешнему виду, толщине, прочности сцепления с основным металлом, пористости, защитным и другим специальным свойствам, а покрытия сплавами — по их химсоставу на соответствие требованиям ГОСТ 9.301—78.

Контроль внешнего вида покрытий заключается в осмотре деталей или сравнении с эталоном для выявления неравномерности окраски, шелушений, вздутий, отслоений и других недопускаемых дефектов.

Толщина покрытия определяется неразрушающими и разрушающими методами. За результат измерения принимают среднее арифметическое трех измерений. Неразрушающими методами являются такие, как магнитный, вихретоковый, гравиметрический. Последний основан на взвешивании детали до и после покрытия или до и после снятия покрытия для определения его массы. К разрушающим методам относятся: метод растворения участка покрытия и измерения уступа между краем покрытия и основным металлом с помощью оптических микроскопов; металлографический, при котором для измерения толщины покрытий изготавливается шлиф; метод струи и метод капли, которые основаны на растворении покрытия раствором. При методе струи раствор подается с определенной скоростью в виде струи, а при методе капли последовательно наносится в виде капли через определенные промежутки времени и выдерживается до обнажения основного металла. Толщину местного покрытия определяют расчетом в соответствии с ГОСТ 9.302—79.

Прочность сцепления покрытия с основным металлом проверяют на контрольных образцах, которые подвергались металлизации одновременно с деталями. Листовые материалы испытывают путем

изгиба образца на 90° в ту и другую сторону до излома. Покрытие не должно при этом отслаиваться и растрескиваться. Пружины контролируют растягиванием, детали — нанесением стальным острием пересекающихся царапин. Отслаиваний и трещин покрытия не должно быть.

Пористость покрытий определяют методами, которые основаны на взаимодействии основного металла с реагентом в местах пор в покрытии, с образованием окрашенных соединений. Для выявления пор в покрытии пользуются методами погружения (для мелких стальных деталей) в жидкий раствор; методом паст, которые наносят кистью на поверхность деталей методом наложения фильтровальной бумаги, пропитанной раствором, на плоские детали. На контролируемой поверхности подсчитывают число окрашенных точек-пор, которое не должно превышать установленное ГОСТ 9.301—78.

Защитные свойства покрытий (анодно-окисных, фосфатных и др.) контролируют также методами погружения, струи или капли, основными на разрушении покрытий под действием испытательных растворов. Защитные свойства считают удовлетворительными, если в течение времени, установленного ГОСТ 9.302—79, не происходит появления точек коррозии основного металла.

Твердость покрытий определяют на приборах Виккерса или на приборе измерения микротвердости и сопоставляют с контрольными определениями металла, твердость которого известна.

Техника безопасности при производстве покрытий. Общие требования безопасности для всех стадий производства покрытий, наносимых способами: электрохимическим, химическим, анодного окисления, горячим и металлизационным — устанавливает ГОСТ 12.3.008—75. При производстве покрытий должны быть обеспечены автомагистраль и герметизация тех процессов, которые являются источниками вредных и опасных производственных факторов; замена токсичных и горючих веществ, механизация и автоматизация ручного труда.

Требования стандарта к технологическим процессам включают условия безопасного выполнения ремонтных работ путем предварительной продувки оборудования, правила приготовления некоторых растворов, выполнение которых предупреждает возможность выбросов, взрывов, загораний.

Помещения для производства покрытий оборудуют системами вентиляции и аспирации, стоки от ванн очищают и обезвреживают перед спуском в канализацию. Некоторые процессы производства покрытий относятся к взрывоопасным: обезжиривание органическими растворителями, электрохимическое обезжиривание, химическое никелирование в щелочных электролитах. К мероприятиям, обеспечивающим безопасность труда относятся: механизация и автоматизация процессов, вентиляция и местные отсосы, применение блокировочных систем, устройство кожухов, ограждений, экранов, акустической защиты, средств индивидуальной защиты.

6.2. МЕТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

К металлизационным относят покрытия, получаемые нанесением на поверхность детали расплавленного или холодного металла или сплава. Существует много материалов и способов их нанесения, позволяющих получать покрытия с целью восстановления изношенных авиадеталей, защиты их от влияния рабочей среды, повышения износостойкости.

Напыление покрытий. В авиаремонтном производстве все более широкое применение находят газотермические покрытия (ГТП), которые получают плазменным, детонационным или газопламенным напылением. В процессе напыления происходит механическое сцепление напыляемого расплавленного металла с материалом детали. В результате образуется металлизированная поверхность, обладающая новыми заданными свойствами. Толщина покрытия напыленными металлами составляет от 0,03 до нескольких миллиметров. Материалы для ГТП применяют в виде порошков, проволоки. Состав порошков существенно влияет на технологию нанесения и свойства покрытия. В зависимости от назначения покрытия и условий работы детали применяют порошки чистых металлов или многокомпонентные смеси, которые можно разделить на плакированные порошки, механические смеси и самофлюсующиеся материалы.

Плакированные порошки получают путем осаждения на одном из компонентов покрытия материала связки. Например, для получения терморегулирующих составов наносят порошки алюминия и никеля, которые, попадая в струю газа с высокой температурой, вступают в реакцию с выделением тепла. Это тепло способствует увеличению адгезии и улучшению формирования покрытия.

Самофлюсующиеся материалы вначале напыляют, а затем подвергают дополнительному оплавлению на поверхности детали для повышения адгезии покрытия. Порошки используют при всех методах напыления. Прутки, проволока могут быть одно- и многокомпонентными. Их применяют в основном при газопламенном напылении.

Технология ГТП включает подготовку поверхности к напылению, подготовку материалов, нанесение покрытий. При необходимости после нанесения покрытий выполняют механическую обработку «в размер» (точение, шлифование) и термообработку деталей (оплавление, отжиг, пропитку другими материалами и др.). Затем проводят контроль качества покрытия.

Подготовка поверхности к напылению заключается в очистке от загрязнений и окислов, создании шероховатости для обеспечения прочности сцепления покрытия с основой. С этой целью чаще всего используют обдувку абразивными материалами. Например, электрокорундом или карбидом кремния.

Подготовка материалов выполняется с целью обеспечения стабильности процесса: непрерывности и равномерности поступления порошков или проволоки в распыляющее устройство. Для этого

порошки сушат и просеивают, а проволоку осматривают и отбраковывают при наличии заусенцев, резких перегибов, нарушений формы поперечного сечения.

Подготовленная к напылению деталь закрепляется в манипуляторе или на стенде. Качество покрытия зависит от угла между обрабатываемой поверхностью и направлением струи и расстояния от среза сопла до напыляемой поверхности. Эти параметры назначаются техническими условиями с учетом необходимой толщины слоя за один переход, температуры нагрева детали, прочности сцепления покрытия и коэффициента использования материала. Метод напыления оказывает существенное влияние на пористость и адгезию покрытия. Высокую адгезию обеспечивают плазменный и диффузионный методы.

В процессе нанесения покрытия частицы порошка окисляются, что ухудшает эксплуатационные свойства покрытия из-за его хрупкости. Специальными мерами по предотвращению окислительных процессов являются напыление в среде защитных газов, отжиг в вакууме или аргоне при газопламенном и плазменном напылении.

Структура покрытий также в большой степени влияет на работоспособность покрытий. Свойства металлизационного слоя определяются материалом покрытия и методом его нанесения. Нанесение одного и того же материала различными методами вызывает изменение адгезии и пористости покрытия. Например, при напылении материалом Х20Н80 газопламенным способом получается пористость 15%, плазменным — 10%, детонационным — 2%. Выбор способа диктуется формой и размерами детали, а также назначением покрытия. Детонационный метод используют в основном для покрытия карбидами. Плазменные покрытия жаропрочными материалами обладают высокими механическими свойствами при повышенных температурах, высокой износостойкостью.

При восстановлении посадочных мест подшипников, валков шестеренных насосов, валов вертолетных редукторов и других деталей, работающих на изнашивание в смазках, целесообразно применять газопламенное напыление Бр. АЖ 10—1,5, а также сталью У7 и 50ХФА. В этом случае большая пористость является благоприятным фактором. В отличие от наплавки при напылении деталь нагревается незначительно и материал ее не претерпевает структурных изменений.

Для получения покрытия *газопламенным напылением* металлическая проволока или порошок подаются в металлизатор, плавятся под действием электрической дуги или горячего газа и распыляются сжатым воздухом или аргонном. Расплавленный металл со скоростью 100—200 м/с и температурой до 3200°С направляется на поверхность изделия, которое может быть металлическим, пластмассовым, деревянным и т. п. Для газопламенного напыления используют установки, горелки, пистолеты и другую оснастку серийного производства.

Плазменное напыление представляет собой метод, основанный на использовании ионизированного плазмообразующего газа (ар-

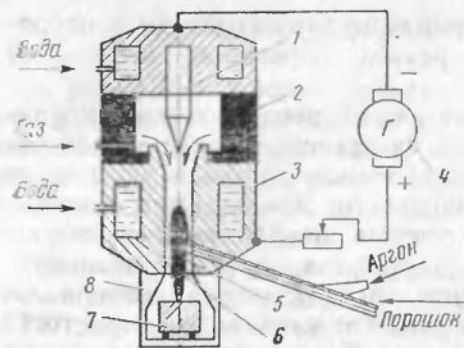


Рис. 6.3. Схема устройства для плазменного напыления металлizationного покрытия

Благодаря интенсивному охлаждению водой 6 стенок сопла охлаждается наружная поверхность столба дуги и происходит обжатие дуги потоком газа в узком канале, где температура повышается до 10 000—20 000°C. Проходя через плазму дуги, газ ионизируется и выходит из сопла 3 в виде ярко светящейся плазменной струи 5, которая и используется для расплавления порошка и нанесения покрытия на деталь 7, находящуюся в герметической камере 8 в среде аргона. Высокая температура плазмы позволяет использовать материалы с любой температурой плавления и получать покрытия для деталей, работающих в сложных температурно-динамических условиях.

При *детонационном напылении* (рис. 6.4) частицы металла 6 с огромной скоростью около 2000 м/с летят под действием тепловой волны 4 взрыва детонатора 5 к поверхности детали 1 и образуют покрытие 8, глубоко внедряясь в основной материал. Температура в камере 2 достигает 3000°C, а температура напыляемого металла 7 составляет 4000°C, деталь же нагревается при этом всего на 200°C. Циклы взрывов повторяются при зажигании запалом 3 каждые 3,5 с. Покрытие получается плотным и с хорошим качеством сцепления, но требует дополнительной механической обработки из-за образования неравномерного слоя. Детонационное напыле-

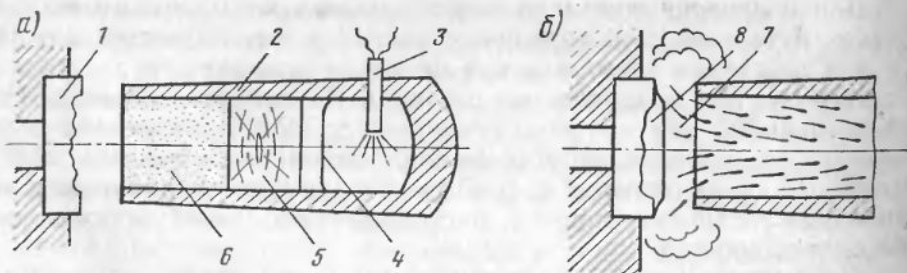


Рис. 6.4. Принцип детонационной металлization

ние используется в основном для получения твердых износостойких покрытий из карбидов с небольшим количеством металлического связующего.

Фрикционная металлization. Это способ нанесения покрытий с помощью трения скольжения наносимого металла по поверхности детали (натирание). Образование адгезии между наносимым и основным металлом достигается посредством пластических деформаций в точках контакта и удаления различных пленок, препятствующих сближению атомов. Фрикционная металлization применяется для улучшения условий трения в подвижных сочленениях за счет избирательного переноса, предупреждения задиров и схватывания на поверхности контактирующих стальных деталей в условиях высоких нагрузок, а также для облегчения монтажа — демонтажа неподвижных соединений деталей из сталей в условиях ремонта.

Фрикционная металлization осуществляется при помощи простых приспособлений на обычном токарном станке (рис. 6.5). Латуняемая деталь 1 устанавливается и зажимается в патроне шпинделя токарного станка, а латунный пруток 2 — в держателе 7 с помощью винта 3 удерживается в подвижном плунжере 4. Необходимое давление создает пружина 5. Перед латунированием деталь обезжиривают и зачищают тонкой шкуркой для удаления загрязнений и окисных пленок.

Натирание латуни ведут с удельным давлением, равным 12—15 МПа.

Поверхность детали покрывается сплошным слоем латуни, прочно удерживающимся на основном металле.

Горячее покрытие окунанием. Сущность процесса заключается в образовании покрытий при окунании детали в ванну с расплавленным металлом, у которого более низкая точка плавления, чем у материала детали.

Этим способом получают надежное защитное покрытие по простой технологической схеме процесса с большой скоростью образования покрытия. Однако неравномерность покрытия по толщине на изделиях сложной формы и ограниченность способа условиями применения металлов с низкой точкой плавления обусловили применение горячего покрытия окунанием при цинковании и лужении деталей.

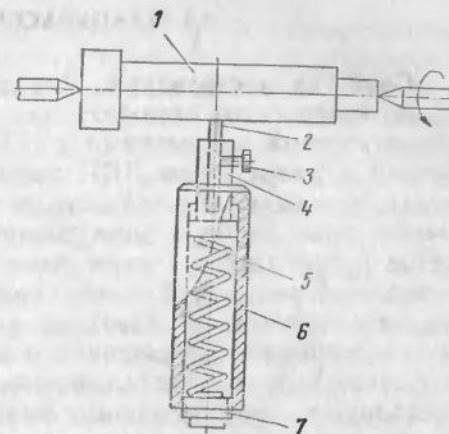


Рис. 6.5. Схема фрикционного латунирования

6.3. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Свойства и структура. Практически все поверхности деталей, узлов и агрегатов самолета или вертолета в целом защищены лакокрасочными покрытиями (ЛКП). Кроме защиты от коррозии, эрозии и разрушения ЛКП выполняют функции декоративной отделки и задачи специального технического характера. Как показывает опыт эксплуатации, защита внутренних поверхностей самолетов и вертолетов внутри фюзеляжа обеспечивается на весь назначенный ресурс с помощью систем ЛКП без ремонта и перекраски, за исключением отдельных участков, подверженных постоянному увлажнению. На внешних поверхностях ЛКП в сочетании с металлическими и неметаллическими неорганическими покрытиями выполняют свои защитные функции без ремонта от 2 до 6 лет. В связи с этим в авиаремонтном производстве вопросы замены, ремонта или восстановления ЛКП имеют первостепенное значение.

Повышение долговечности ЛКП и эффективности их применения зависит от многих факторов, в том числе от свойств и качества лакокрасочных материалов (ЛКМ), структуры покрытия, совершенствования технологии окраски, качества окрасочных работ.

ЛКП относятся к группе органических покрытий и представляют собой сформированную на поверхности детали плотную пленку из ЛКМ. *Лакокрасочные материалы* — это сложные многокомпонентные вещества, основой которых являются полимерные органические соединения, такие как природные высыхающие растительные масла, природные и синтетические смолы. Они обладают свойством под действием света, кислорода, температуры переходить из жидкого в твердое состояние и образовывать пленку (покрытие). Кроме пленкообразователей в рецептуру ЛКМ в зависимости от их назначения вводятся растворители, пластификаторы, сиккативы, пигменты, наполнители, отвердители и другие специальные добавки.

В зависимости от структуры полимера образованная пленка ЛКП под действием органического растворителя может вновь раствориться (это так называемые обратимые пленкообразователи) или оставаться нерастворимой и только набухать (необратимые пленкообразователи).

Основным свойством, которое обеспечивает защитные качества покрытия, является способность прочного сцепления (адгезии) с окрашиваемой поверхностью. Защита от воздействия климатических и эксплуатационных факторов создается за счет высоких изолирующих свойств пленки, ее влагоустойчивости, атмосферостойкости, химической стойкости против агрессивной среды. Устойчивость к механическим повреждениям, деформациям, износу обеспечивается прочностными характеристиками защитного покрытия (эластичность, прочность, твердость пленки).

Однако защита металлов ЛКМ, обладающими только изолирующими свойствами и высокой адгезией, обеспечивается до момента проникновения молекул воды или ионов электролита через плен-

ку лака или краски к поверхности металла. Через самые плотные пленки влага, кислород и электролиты проникают через несколько суток к поверхности металла и вызывают интенсивный коррозионный процесс. Долговечность защитных свойств покрытия можно повысить, придав покрытиям функции антикоррозионного воздействия на металлическую поверхность. Практически в настоящее время не существует ЛКМ способного долговременно выполнять все необходимые функции покрытия. В связи с этим ЛКП представляют собой многослойную систему, которая образована из нескольких лакокрасочных материалов определенного назначения.

Типовое ЛКП металлической поверхности состоит из грунтовочных, промежуточных и наружных слоев. Грунтовочный слой обеспечивает высокую адгезию всего покрытия с окрашиваемой поверхностью и с последующими слоями и антикоррозионную защиту металла. Промежуточный слой должен иметь надежные отражательные свойства против климатических и эксплуатационных факторов, обеспечивать высокие декоративные качества покрытия. Наружные слои предназначены для защиты от механических повреждений, обеспечивают влагонепроницаемость и износостойкость покрытия. ЛКМ, используемые для грунтовочных, промежуточных и наружных слоев покрытия в зависимости от состава и назначения классифицируют на грунты, шпатлевки, лаки, эмали и краски.

Грунты наносят на поверхность изделия в качестве первого, грунтовочного слоя покрытия. Грунты готовят в виде суспензии пигментов и наполнителей в пленкообразующем веществе, растворенном до определенной вязкости растворителем. Увеличение долговечности конструкций достигается снижением электрохимической активности металла путем антикоррозионного действия грунтов, в состав которых введены определенные пигменты. Например, для защиты стальных конструкций и конструкций из алюминиевых сплавов в состав грунтовочных материалов в качестве пигмента вводят хромовокислые соли стронция или цинка (хроматные пигменты, кроны). Вода, проникая через пленку лака и эмали в грунтовочный слой, растворяет частицы хроматного пигмента и в виде раствора попадает на поверхность металла. При этом раствор, обладающий сильными окислительными свойствами, взаимодействует с металлом и образует защитную пленку, которая снижает электрохимическую активность поверхности, т. е. пассивирует ее, переводит металл в пассивное состояние. Стойкость покрытия с пассивирующим грунтом в 4—5 раз выше стойкости покрытия без грунта.

Лаки — представляют собой раствор пленкообразующих в органических растворителях в виде прозрачной твердой пленки на поверхности окраски. Лак используют для образования наружного слоя лакокрасочного покрытия, изолирующего внутренние слои от внешней среды, или для создания лаковой системы покрытия, состоящей из нескольких слоев лаков.

Наибольшее применение в авиационной промышленности нашли эпоксидные лаки, которые отличаются твердостью, атмосферо-

стойкостью, устойчивостью против действия бензина, воды, щелочей, высокими электроизоляционными свойствами, стойкостью к перепадам температуры, теплостойкостью при 200°C. Лаки на полиакриловой основе типа АК-113, АС-82 широко применяются для лаковых покрытий наружной поверхности обшивки, так как обладают высокой свето- и атмосферостойкостью. Для покрытий тканевых обшивок в качестве грунтового слоя применяют нитроцеллюлозный лак, который вызывает усадку ткани, чем обеспечивается необходимое натяжение обшивки. Лаки являются основой для приготовления других ЛКМ: эмалей, грунтовок, шпатлевок.

Эмали — пигментированные лаки, в которых пигмент находится в мелкодисперсном взвешенном состоянии. Основное назначение эмалей в системе ЛКП — придание покрытию декоративных свойств, создание цветного покрытия, защита от воздействия солнечной радиации, светового и теплового облучения. Для создания хорошей укрывистости (непрозрачности) в эмали вводят до 120% пигмента от массы пленкообразующего.

Пигментная часть эмалей определяет такие свойства, как цвет, укрывистость, светостойкость, способность отражать или поглощать световую энергию. Например, для окраски наружных поверхностей самолета широко используются эмали белого, светло-серого, серого цветов, которые отражают световую энергию, понижают температуру поверхности самолета. В качестве пигмента для эмалей наружной окраски широко используется алюминиевая пудра, чешуйчатая форма которой создает надежную защиту от облучения поверхности.

Шпатлевки представляют собой пасты из пигментов и наполнителей на основе пленкообразующих — готовых лаков или олифы (льняного масла с сиккативами). Шпатлевки применяют для заполнения неровностей и изъянов на поверхности окраски, для создания гладкой поверхности покрытия. Их наносят на предварительно загрунтованную поверхность или непосредственно на деталь. После высыхания зашпатлеванная поверхность может быть зашлифована.

Краски масляные представляют собой пасты, состоящие из пигментов и наполнителей, замешанных на олифе, которая является необратимым пленкообразователем. Краски применяют для получения покрытий требуемого цвета с определенными эксплуатационными, декоративными и специальными свойствами. Как правило, краски образуют промежуточные и наружные слои покрытий. Недостатки масляных красок — высокая водонабухаемость и длительное высыхание.

Подготовка поверхности к окраске. Основное назначение подготовительных операций перед окрашиванием — обеспечение прочного сцепления ЛКП с поверхностью детали, так как от этого зависят защитные и декоративные свойства покрытия. Ослабление или отсутствие адгезии на отдельных участках детали ведет к разрушению и потере защитных свойств покрытия с последующим интенсивным коррозионным разрушением металла под действием аг-

рессивной среды. Необходимое условие для возникновения адгезионного воздействия между молекулами полимера и металлом (при условии правильного выбора ЛКМ) — отсутствие на поверхности даже следов загрязнений, влаги, масляных пятен, продуктов коррозии.

В авиаремонтном производстве окраске подвергают поверхности с металлическими или неметаллическими неорганическими покрытиями, которые благодаря наличию микропористой поверхности обеспечивают высокую адгезию ЛКП. Например, стойкость к коррозии алюминиевых сплавов при одновременной защите окисными покрытиями и ЛКП увеличивается в 4—5 раз.

Подготовка поверхности к окраске может включать в различных сочетаниях следующие операции: удаление загрязнений, обезжиривание, удаление старых ЛКП.

Технические требования к качеству поверхности и технология подготовки поверхности изделий перед окрашиванием установлены ГОСТ 9.402—80. Способы удаления загрязнений с поверхности конструкций описаны в гл. 2.

Обезжиривание деталей перед окрашиванием при наличии на поверхности консервирующей смазки, смазочно-охлаждающих эмульсий, шлифовальных и полировальных паст, масел производят в соответствии с ГОСТ 9.402—80 обработкой горячей водой, растворителями или щелочным раствором. При ремонтной подготовке отдельные участки поверхности обезжиривают с помощью протирочных материалов, смоченных бензином. Для удаления окислов детали обрабатывают в растворах кислот и солей или травильной пастой. Продукты коррозии удаляют с поверхности абразивной очисткой механическим или ручным инструментом в зависимости от степени поражения коррозией и типа изделий.

Обшивку самолета из плакированного дюралюминия очищают от продуктов коррозии волосяными или щетиными щетками, так как более грубые средства зачистки могут повредить поверхность обшивки. Детали из магниевых сплавов, стальные детали зачищают от продуктов коррозии жесткими волосяными щетками, стеклянными шлифовальными шкурками, шабером с плавным переходом мест зачистки без заусенцев и острых краев.

Перед ремонтным окрашиванием ЛКП удаляют с поверхности деталей и конструкций полностью или частично в основном химическим способом, который основан на набухании, растворении или химическом разрушении пленки под действием специальных веществ, с последующим легким снятием ее с поверхности механическим путем неметаллическим инструментом или смывом струей горячей воды.

Для воздействия на ЛКП применяют неорганические и органические *смывки*, которые представляют собой жидкие или пастообразные составы на основе щелочей, кислот, солей и органических растворителей. Смывку подбирают в зависимости от типа и состава ЛКП и наносят на поверхность детали или конструкции кистью или пульверизатором. Мелкие детали обрабатывают окунанием в

ванну со смывкой с последующей обработкой паром для снятия ЛКП. Широкое распространение для малогабаритных деталей нашёл также пневмомеханический способ удаления ЛКП с помощью подачи косточковой крошки под давлением сжатого воздуха на поверхность детали.

Для удаления ЛКП с изделий в сборе применяют смывки марок СД, СП-7, АФТ-1, СБН-9, СПС-2 и др.

ЛКП подлежит полному удалению в следующих случаях: покрытие отслаивается от поверхности; по всей поверхности имеется сетка трещин; покрытие разрушено до металла; покрытие мешает производить дефектацию конструкции.

Если на окрашенной поверхности обнаружены только повреждения пигментированного слоя без повреждения грунтовки горячей заводской сушки, то грунтовочный слой не удаляют, а только подготавливают для нанесения последующих слоев покрытия.

Технология окраски самолетов и вертолетов на авиаремонтных предприятиях отличается от принятой на заводах-изготовителях. Это объясняется тем, что на заводах-изготовителях основная часть элементов конструкции окрашивается в заготовках, т. е. до сборки. Массовость однотипных деталей и заготовок позволяет применять на заводах-изготовителях горячую сушку, механизированные линии окраски. В условиях ремонта только часть элементов конструкции демонтируется, а окрашивание самолета или вертолета осуществляется в собранном виде, когда невозможно применить горячую сушку.

Кроме того, при ремонтном окрашивании выполняется дефектация ЛКП и назначаются следующие виды ремонтной окраски в соответствии с обнаруженными дефектами: восстановление путем нанесения нового покрытия без удаления старого, восстановление путем нанесения нового покрытия на сохранившийся грунт горячей заводской сушки; нанесение покрытия на отдельные оголенные участки поверхности; нанесение нового покрытия после удаления старого на всей поверхности; нанесение покрытия на вновь изготовленные детали.

Нанесение покрытий. В технологическом процессе получения покрытий операция нанесения ЛКМ — одна из самых ответственных. При нанесении отдельных слоев необходимо добиться получения равномерной по толщине, без подтеков и пропусков пленки. В местах утолщений пленки образуются трещины при сушке. Тонкая пленка пропускает газы, влагу и не обеспечивает защиту изделия. Цветовая равномерность сказывается на декоративных качествах покрытия и защитных свойствах от воздействия световых и тепловых излучений.

Качество нанесения покрытий зависит, в частности, и от метода нанесения покрытия, который выбирается для конкретного изделия в зависимости от габаритных размеров, формы изделия, сложности окрашиваемой поверхности, материала изделия, применяемо-

го вида ЛКМ. Способ окраски выбирается с учетом условий производства и экономической целесообразности.

Известны следующие основные способы нанесения ЛКМ на поверхность: распыление, окунание, облив, контактный перенос (кистью).

Сущность окраски распылением заключается в том, что жидкий лакокрасочный материал диспергируется (дробится) на мельчайшие капли, которые под воздействием внешних сил (сжатого воздуха, давления, электрического поля и т. д.) переносятся от диспергирующего (распыляющего) устройства к окрашиваемой поверхности и образуют покрытие.

Преимущественно при ремонте самолетов и вертолетов применяют окраску распылением сжатым воздухом — *пневматическое распыление*. Для этого используют пневматические краскораспылители, основной рабочий орган которых — распылительная головка. В комплект аппаратуры кроме краскораспылителя входят: красконагнетательный бак, являющийся аппаратом для подачи ЛКМ под давлением сжатого воздуха к краскораспылителю; масловодоотделитель, служащий для очистки сжатого воздуха от твердых включений, воды и масла перед поступлением его в краскораспылитель, так как попадание загрязнений в ЛКМ приводит к появлению дефектов покрытия; регулятор давления для реулирования и поддержания постоянного и требуемого давления сжатого воздуха (в пределах 0,3—0,4 МПа).

Воздух от централизованной сети или от компрессора поступает через масловодоотделитель к распылительной головке и в красконагнетательный бак. Под действием давления сжатого воздуха ЛКМ из бака поступает по шлангу к распылительной головке с постоянной подачей. На выходе из каналов распылительной головки сжатый воздух и ЛКМ встречаются с резко различающимися скоростями (v воздуха ≤ 450 м/с, v краски $\leq 0,1$ м/с), вследствие чего воздушный поток срывает с поверхности струи отдельные микроструйки, которые разрываются с образованием капель (диспергируют). На некотором удалении от головки струя воздуха содержит весь материал в диспергированном состоянии и в виде факела достигает окрашиваемой поверхности. Наиболее мелкие капли уносятся уходящими потоками воздуха, образуя «красочный туман».

Использование способа пневматического распыления обеспечивает высокую производительность, достигающую 500 м² поверхности в 1 ч, позволяет применять все типы ЛКМ. Этим способом можно окрашивать наружную поверхность самолета и вертолета в сборе, отдельные изделия различной группы сложности как единичные, так и на конвейере. Непрерывность процесса окраски, простота и надежность применяемого окрасочного оборудования гарантируют высокое качество покрытий.

Однако для получения диспергированного ЛКМ пневматическим распылением требуется разбавить материал до определенной вязкости (13—35 с по вискозиметру ВЗ-4), что ведет к увеличенному расходу растворителей, а образование «красочного тумана»,

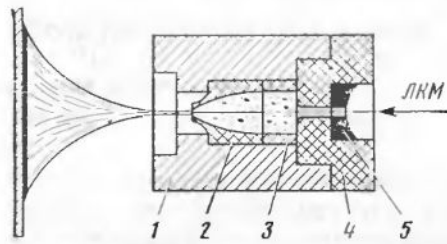


Рис. 6.6. Схема устройства для безвоздушного распыления ЛКМ

который уносится уходящими потоками воздуха, вызывает непроизводительные потери ЛКМ (от 20 до 55%). Особенно велики потери материала при окраске пневматическим распылением труднодоступных мест, деталей с отверстиями, решеток, сеток, мелких деталей.

Уменьшение потерь достигается при применении *безвоздушного распыления жидких ЛКМ*, ис-

пользуя принцип перехода энергии одного вида в энергию другого вида. Сжатый до давления 10—20 МПа ЛКМ выходит из отверстия сопла с большой скоростью. За счет резкого понижения давления происходит расширение и дробление струи материала на мелкие капли. Для подачи материала к краскораспылителем безвоздушного распыления используют насосы высокого давления.

Распыляющее устройство (рис. 6.6) для безвоздушного распыления состоит из корпуса 1, в котором закреплено сопло 2, расширительной камеры 3, держателя 4 и часового камня 5. Этот способ обеспечивает большую производительность и снижение расхода растворителя за счет возможности нанесения более вязких материалов и уменьшения числа наносимых слоев, получение покрытий высокого качества, уменьшение потерь ЛКМ на 8—15%. Его применяют при окраске крупных деталей в авиаремонтном производстве на стационарных окрасочных постах. К недостаткам способа относится большая сложность получения покрытий высокого класса по внешнему виду для мелких деталей, большая трудоемкость ухода за оборудованием из-за необходимости промывки и очистки системы, быстрое изнашивание шлангов и распылителей.

Самый экономичный способ нанесения ЛКП, при котором достигаются наименьшие потери материала — окраска в электрическом поле высокого напряжения. Способ заключается в том, что краскораспыляющее устройство подсоединяют к отрицательному полюсу источника тока высокого напряжения (80—120 кВ), а окрашиваемое изделие заземляют. Между этими электродами образуется электрическое поле, вдоль силовых линий которого могут перемещаться заряженные частицы. Головка распыляющего устройства имеет острую кромку, около которой при определенном напряжении происходит «свечение» заряжающихся молекул воздуха (коронные разряды). ЛКМ поступает на коронирующую кромку краскораспылительного устройства, где приобретает отрицательный заряд и распыляется под действием электрических сил, после чего направляется к заземленному изделию и осаждается на его поверхности, создавая равномерное покрытие.

Хорошо распыляются в электрическом поле только те ЛКМ, которые обладают определенными электрическими свойствами. Для электрокраски применяют стационарные установки и ручные пере-

носные с различными видами распыления материала: электрическим, электромеханическим (вращающийся диск, чаша) и пневматическим (сжатый воздух). Этот способ в авиаремонтном производстве применяется при окраске трубопроводов, решетчатых конструкций, сеток, где за счет отсутствия потерь материала и равномерности окраски достигается наибольший экономический эффект.

Определенные требования по безопасности производства окрасочных работ вызывает использование высокого электрического напряжения. Окраска проводится в остекленных камерах, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией.

Окраска *окунанием* изделия отличается простотой и высокой производительностью, но не обеспечивает высоких декоративных свойств и равномерного по толщине покрытия. Этот способ используют для нанесения грунтовок с последующей окраской изделия другими способами.

Сушка. Покрытие приобретает требуемые свойства после завершения последнего этапа окрашивания — превращения жидкого ЛКМ в твердое покрытие. Процесс образования твердого покрытия (высыхание) для ЛКМ с обратимыми пленкообразователями заключается в испарении растворителей и других летучих продуктов. Сушку обратимых ЛКМ проводят в помещении при температуре окружающего воздуха, которая должна быть в пределах 15—30°C. На первой стадии высыхания происходит интенсивное испарение летучих веществ с поверхности и образование поверхностной плотной пленки. Дальнейшее испарение затруднено сопротивлением пленки и вязкого ЛКМ и протекает медленнее.

На процесс высыхания и качество полученного покрытия оказывает влияние температура и влажность окружающего воздуха, концентрация паров растворителя над поверхностью, свойства растворителей. Повышение температуры способствует ускорению процесса, но может привести к образованию дефектов в виде пузырей, неровностей, кратеров на поверхности из-за нарушения верхней твердеющей пленки парами растворителя из нижних слоев эмали. Необходимым условием равномерного высыхания и ускорения испарения растворителя из нижних слоев является своевременное удаление продуктов испарения с помощью вытяжной вентиляции, так как большая их концентрация замедляет высыхание.

Для получения равномерной пленки и создания условий постепенного роста вязкости материала в состав ЛКМ вводят труднелетучие растворители. При этом снижается скорость высыхания верхнего слоя лака и создаются условия для удаления растворителя с нижних слоев. Повышенная влажность окружающего воздуха может привести к конденсации влаги на поверхности непросохшей пленки и вызвать коагуляцию полимера, т. е. получение матового пятнистого покрытия.

При высыхании лакокрасочных покрытий, изготовленных на основе необратимых пленкообразующих, происходят два процесса: улетучивание растворителей и химические превращения — окислительные, полимеризация, поликонденсация и т. д. Сушка таких матери-

алов в зависимости от вида ЛКП может быть естественной или искусственной. Для ряда покрытий сушка при повышенной температуре повышает их защитные и эксплуатационные свойства, так как процесс полимеризации проходит полнее при повышенных температурах. При искусственной сушке, кроме того, увеличивается скорость высыхания, уменьшаются площади окрасочных участков.

В авиаремонтном производстве наибольшее распространение получили конвекционный, терморadiационный и конвективно-терморadiационный способы искусственной сушки.

При конвекционном способе тепло нагретым воздухом переносится к поверхности окрашенного изделия. Теплопередача происходит от наружного слоя ЛКМ через покрытие к телу изделия. Конвективные камерные или туннельные сушилки снабжены системой подачи нагретого калориферами воздуха и отбора смеси паров растворителей и охлажденного воздуха. Теплоноситель подается в нижнюю часть камеры, что обеспечивает равномерное высыхание изделий.

В терморadiационных сушилках используется принцип передачи тепловой энергии нагревателя излучением (невидимыми инфракрасными лучами). Инфракрасное излучение, проникая на некоторую глубину, разогревает слой покрытия и тело детали. Благодаря этому начинается удаление растворителей с нижних слоев покрытия, что способствует ускорению процесса сушки и улучшению качества покрытия. В конвекционной сушилке алкидные материалы, например, при 100—150°C высыхают за 1—1,5 ч, а в терморadiационной — за 15—20 мин. В качестве источников излучения используют тепловые электрические нагреватели (ТЭНы), электроламповые нагреватели.

Применяются и сушилки с комбинированным нагревом — терморadiационно-конвективные, где кроме нагревателей используется поток горячего воздуха для сушки окрашенных деталей.

При сушке инфракрасным излучением поверхность изделия нагревается до сравнительно высокой температуры. Применяется для сушки ультрафиолетовое излучение, которое не нагревает деталь. Под действием ультрафиолетового излучения происходит отверждение ЛКП и резко увеличивается скорость химических преобразований (до нескольких секунд), но этот способ применяется в настоящее время только для сушки плоских поверхностей.

Некоторые ЛКМ на основе необратимых пленкообразующих, например эпоксидных, полиуретановых смол, подвергаются естественной сушке. Пленкообразование (отверждение) таких покрытий может происходить при комнатной температуре в результате реакции с отвердителями, в качестве которых используют полиуретановые смолы, изоцианаты и др. Каждый слой ЛКМ сушат при оптимальных для данного материала условиях, в соответствии с принятой на производстве технологией.

В условиях авиаремонтного производства технологические возможности позволяют применять искусственную сушку только для

съёмных окрашиваемых деталей, поступающих на восстановление, или вновь изготовленных деталей.

Техника безопасности и охрана труда. ЛКМ, смывки, растворители относят к категории легковоспламеняющихся и горючих материалов. Они вредно действуют на организм человека. При подготовке и производстве окрасочных работ имеют место вредные производственные факторы: повышенный шум и запыленность при механической очистке поверхности, повышенная загазованность, повышенная напряженность электрического поля, возникающая при окраске в электростатическом поле, токсичные компоненты в лакокрасочных материалах.

Производство подготовительных и окрасочных работ, включая приготовление ЛКМ, относятся к категории пожаровзрывоопасных. Общие требования безопасности при подготовке и выполнении окрасочных работ установлены стандартом (ГОСТ 12.3.005—75).

Для предупреждения пожара в окрасочных производствах осветительные приборы должны быть герметичны и взрывобезопасны, электрорубильники и выключатели установлены в закрытых шкафах вне помещения для окрасочных работ. Во избежание появления искры для открывания металлической тары с лаками, красками, алюминиевой пудрой и другими материалами применяется не дающий искры медный и латунный инструмент, для чистки оборудования — скребки из цветных металлов. Воздуховоды вентиляционных систем, в которых оседают лакокрасочные материалы, могут явиться источником взрыва или пожара, поэтому их систематически требуется очищать. Во избежание пожара от статического электричества в бензин при обезжиривании поверхности добавляют специальный препарат, самолет и его агрегаты перед окраской заземляют.

Окрасочные работы должны выполняться только в окрасочных цехах, участках, камерах, оборудованных принудительной вентиляцией как местной, так и общей приточно-вытяжной, которая обеспечивает удаление вредных паров, газов, выделений, пыли и приток свежего воздуха в помещение. При окраске внутри самолетов вредными и пожаро-, взрывоопасными материалами следует подключать передвижную вентиляционную установку. Помещения оборудуются средствами противопожарной техники: пенными огнетушителями, автоматической пожарной сигнализацией.

Если допускается наружная окраска самолета на месте сборки без специальной вентиляции, то эта работа должна выполняться, когда другие работы не производятся, при включенной принудительной общеобменной вентиляции. Маляры используют средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, оборудование должно быть заземлено, освещение выполнено во взрыво-, пожаро-безопасном исполнении.

Для защиты маляров и мойщиков от вредного действия на здоровье применяемых материалов и выполняемых процессов используются средства индивидуальной защиты (спецодежда, очки, респираторы, перчатки, специальные защитные пасты для рук);

бытовые помещения оборудуются душевыми, умывальниками с горячей водой; работающие проходят периодические медосмотры, обеспечиваются спецпитанием, обучаются безопасным методам производства работ, изучают инструкции по технике безопасности и охране труда.

6.4. РЕМОНТ СВАРКОЙ

Виды сварки. Сваркой получают неразъемные соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми элементами деталей. Для установления таких связей необходимо использовать какой-то вид энергии для сближения атомов свариваемых поверхностей. По виду используемой энергии сварка может относиться к термическому, термомеханическому или механическому классу по классификации, которая устанавливается ГОСТ 19521—74. К *термическому классу* относятся все виды сварки, при которых соединение получается за счет плавления тепловой энергией свариваемых поверхностей: электродуговая, электрошлаковая, электролучевая, плазменно-лучевая, газовая, световая, литейная и др. К *термомеханическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые пластическим деформированием металла с использованием тепловой энергии и давления: контактная, диффузионная, газопрессовая, печная и др. *Механический класс* объединяет виды сварки, получаемые с использованием механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.

Все виды сварки классифицированы, кроме того, по способу защиты металла от действия среды, по непрерывности процесса, по степени механизации производства сварочных работ. Конструктивные элементы и размеры кромок и сварного шва устанавливаются стандартами для определенного материала, типа сварного соединения, вида сварки и толщины стенок деталей.

По взаимному расположению свариваемых элементов различают (рис. 6.7) стыковые с условным обозначением С1, С2 ..., угловые — У1, У2 ..., тавровые Т1, Т2 ... и нахлесточные Н1, Н2 ... типы соединений. Форма и размеры элементов, подготовленных кромок деталей отличаются большим разнообразием и устанавливаются из условий обеспечения наименьшей концентрации напряжений и получения заданной прочности шва. В зависимости от толщины и типа сварки детали свариваются с отбортовкой кромок, без скоса, со скосом одной или двух кромок и т. д.

Наиболее распространенными видами сварки в условиях АРЗ

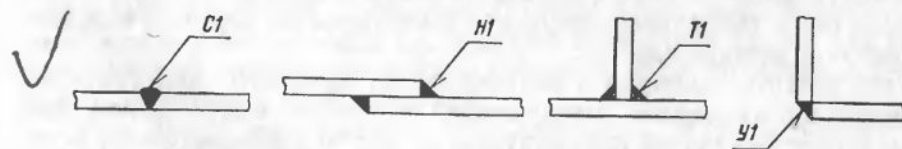


Рис. 6.7. Типы сварных соединений

являются ручная электродуговая сварка в среде аргона и газовая сварка под слоем флюса, что обусловлено единичным характером производства сварочных работ и необходимостью производить сварку на готовом изделии, на собранном самолете или вертолете.

Влияние сварки на физико-механические свойства ремонтируемых деталей. При всех видах сварки плавлением свариваемые поверхности нагреваются до температуры плавления для получения сварочной ванны. Подвергается нагреву и околошовная зона свариваемых элементов.

Размер зоны «А», где тепловое воздействие вызывает изменение структуры и механических свойств металла, а также степень структурных изменений зависит от марки металла и вида сварки. В зоне теплового воздействия (рис. 6.8) различают участки: плавления (шов) 1, неполного плавления 2, перегрева 3, отпуска 4, нагрева 5, 6, 7. При сварке открытой дугой размер зоны теплового воздействия достигает 30 мм, при сварке дугой под флюсом — 15 мм, а при сварке электронным лучом — 2 мм.

Чем медленнее протекает процесс сварки, тем значительнее изменения свойств металла и шире зона теплового воздействия. Свойства сварного соединения зависят от структуры и свойств материала шва и остальной зоны теплового воздействия. Задачей технологического процесса ремонта сваркой является получение соединения, равнопрочного с основным металлом, т. е. чтобы, например, разрушающее усилие на разрыв основного металла было равно разрушающему усилию сварного соединения. Для большинства сталей удается получить шов, прочность которого близка к прочности основного металла. Это достигается правильным подбором типа электродов, введением легирующих добавок при сварке под флюсом, термической обработкой и другими методами.

Свойства зоны теплового воздействия при сварке зависят от реакции основного металла на термический цикл сварки. Так, для деформируемых алюминиевых сплавов предел прочности сварных соединений приближается к пределу прочности основного металла (АМг, АД, АМц). При сварке упрочненной холодной прокаткой алюминиевых сплавов (АМг6) нагрев до высоких температур снимает наклеп, разупрочняет металл в зоне перегрева, временное сопротивление и предел текучести в этих зонах оказываются значительно ниже, чем у основного металла. Для восстановления прочности применяют методы пластической деформации после сварки, например прокатку роликами. В алюминиевых сплавах, ко-

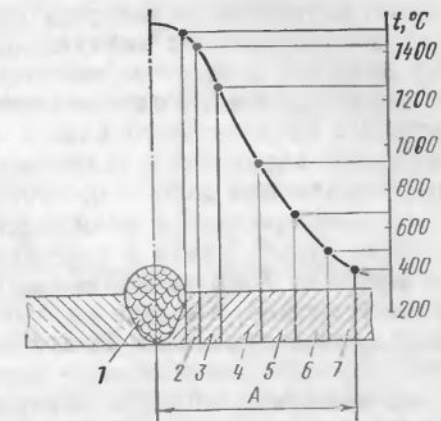


Рис. 6.8. Зона теплового воздействия сварки

торые упрочнены термически (например, в сплавах Д16АТ, Д20), сварные соединения значительно уступают по прочности основному металлу, в сварном шве образуется литейная структура, прочность которой в 2 раза ниже прочности основного металла. Для некоторых сплавов этого класса (Д20) определенными видами термической обработки и старением удается повысить прочность сварных соединений до 90% прочности основного металла.

Высокопрочные и сложнелегированные термически обработанные до сварки стали в зоне перегрева в процессе охлаждения закаляются и имеют более высокую твердость и прочность, чем основной металл, а в зоне высокого отпуска наблюдается наибольшая потеря прочности. После охлаждения шва в околошовных зонах образуются остаточные напряжения с резким нарастанием в зоне перегрева, которые значительно снижают усталостную прочность сварных соединений и могут быть причиной появления трещин при динамических и знакопеременных нагрузках.

Повышению усталостной прочности сварных соединений способствуют: рациональная конструкция соединения с минимальной концентрацией напряжений; плавные сопряжения наплавленного и основного металла; термическая обработка сварного соединения для снятия остаточных напряжений и повышения прочности изделия; механическая зачистка с уменьшением высоты усиления шва, которая снижает концентрацию напряжений в сварных соединениях; обработка швов методами поверхностного пластического деформирования — прокаткой или обдувкой дробью; применение стыковых швов для соединения ответственных элементов конструкций, обладающих повышенной прочностью по сравнению с другими видами швов благодаря наименьшей концентрации напряжений.

Методы ремонта сваркой. Сварка при ремонте самолетов и вертолетов — весьма сложная и ответственная операция, при которой сохранение первоначальной прочности элемента конструкции возможно только при учете всех факторов, влияющих на свойства соединения, и при тщательном выполнении технологического процесса.

Наиболее распространенным дефектом сварных конструкций является появление трещин, возможны случаи прогаров, пробоев сварных патрубков выхлопного коллектора, дефекты и разрушения сварных швов и т. д.

При ремонте сваркой поврежденных элементов конструкции применяются следующие методы:

1. Устранение дефекта без постановки дополнительных деталей, не предусмотренных конструкцией. К этому методу относятся заварка трещин допустимой длины в соответствии с браковочными признаками. Например, трещину длиной менее 100 мм на масляных баках разрешается заварить с предварительной засверловкой концов; трещину в сварных узлах шасси, изготовленных из стали 30ХГСА или 30ХГСНА, допускается подварить, если трещина расположена поперек шва длиной менее 15 мм или вдоль шва глубиной не более 50% толщины стенки детали.

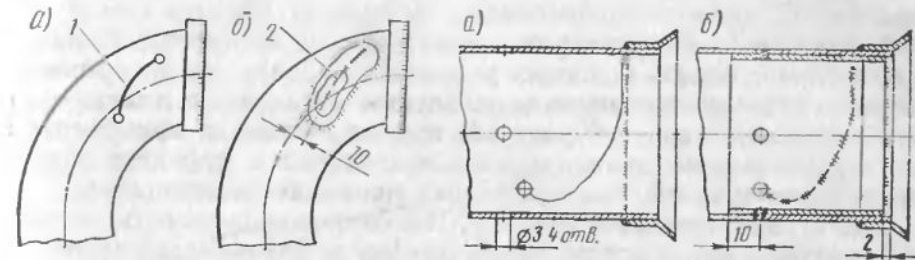


Рис. 6.9. Установка накладки при ремонте сваркой:
а — до ремонта; б — после ремонта

Рис. 6.10. Установка бужа при ремонте сваркой:
а — до ремонта; б — после ремонта

2. Наложение усиливающих накладок на поврежденный участок. В этом случае ремонт сваркой выполняется после конструктивных разработок и расчетов, определяющих размеры усиления, их вид, материал и вид сварки. Установка ремонтных элементов выполняется по чертежам. Этот метод может быть применен при наличии трещин, пробоев, прогаров. Примером может быть ремонт патрубка выхлопного коллектора вертолета. При появлении трещины 1 на поверхности выходной части патрубка (рис. 6.9) в зависимости от ее длины и расположения после засверловки концов и заварки трещины назначается установка накладки 2 с перекрытием трещины не менее 10 мм. На рис. 6.10 показан ремонт патрубка с трещиной установкой бужа. Буж вставляется внутрь патрубка после заварки трещины и закрепляется четырьмя пробковыми швами.

3. Полная или частичная замена поврежденного элемента с усилением или без усиления ремонтируемого участка. Этот метод ремонта также выполняется по чертежам. Дефектный участок удаляют при наличии, например, пробоев, трещин, которые развиваются от торца изделия (рис. 6.11) или распространились на большую длину (рис. 6.12), при замене арматуры сварных емкостей. На ри-

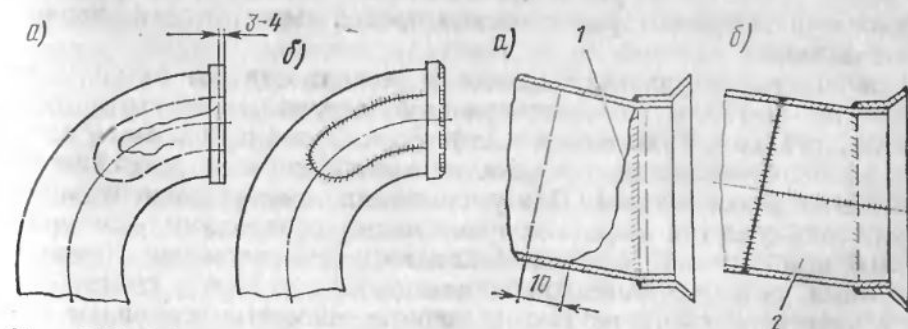


Рис. 6.11. Поврежденный участок:
а — до ремонта; б — после ремонта

Рис. 6.12. Замена дефектной части патрубка:
а — до ремонта; б — после ремонта

в растворе хромового ангидрида, промывка в горячей воде, сушка. Шлак и флюс с магниевых сплавов удаляют только механическим путем — стальными мягкими щетками или обдувкой.

Ремонт сваркой изделий из титановых сплавов. Титановые сплавы (BT1, BT2, BT4, BT5 и т. д.), характеризуясь высокой коррозионной стойкостью при нормальной температуре, при нагреве свыше 600—850° С очень быстро соединяются с кислородом, азотом, водородом. Азот и кислород резко повышают прочность и снижают пластичность титана, а водород влияет на склонность к хрупкому разрушению. Для предотвращения воздействия атмосферы на сварное соединение применяют сварку в среде защитных газов, АрДЭС, электроконтактную электронно-лучевую, сварку световым лучом.

Защита от окисления нужна не только для зоны шва и околошовной зоны, но даже для обратной стороны тонкостенных деталей. В качестве присадочных материалов применяют проволоку из материала, близкого по составу к основному металлу. Пластичность шва повышают соответствующей термической обработкой: отжигом, закалкой со старением, неполным отжигом для снятия остаточных напряжений. Механические характеристики зоны теплового воздействия зависят от структуры сплава. Сплавы BT1, BT5, например, не меняют структуру при сварке, а титановые сплавы типа BT6, BT14 после сварки имеют низкую пластичность и подвергаются отжигу.

Перспективные виды сварки. *Микроплазменная сварка* нашла применение для тонкостенных деталей. Это новый вид сварки, при которой детали нагреваются плазменной струей — сжатой электрической дугой. В качестве плазмообразующих газов используют аргон, гелий, азот, водород и смеси этих газов. Для получения микроплазменной струи используют специальные горелки или плазмотроны (рис. 6.13). Принцип действия плазмотронов заключается в том, что вольфрамовый электрод 4 диаметром 0,8—2,0 мм с острозаточенным концом выставляется по оси водоохлаждаемого сопла 3. Между электродом и соплом подается плазмообразующий газ. Электрод подключен к отрицательному полюсу вспомогательного источника питания 6, а сопло — к положительному.

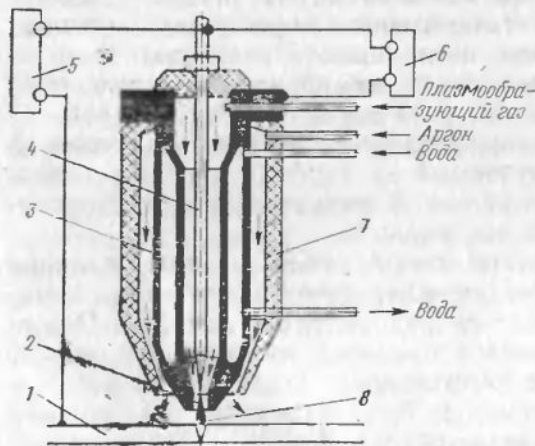


Рис. 6.13. Схема работы плазмотрона при микроплазменной сварке

рит непрерывно. Поток плазмообразующего газа выдувает из выходного отверстия в сопле плазменную струю 8, сжимая ее и тем самым концентрируя энергию нагрева. При поднесении плазмотрона на расстояние 1—2 мм к изделию 1, которое подключается к основному источнику питания 5, между изделием 1 и электродом 4 возбуждается рабочая дуга 8, расплавляющая свариваемые кромки изделия. Для защиты места сварки от окисления и повышения устойчивости столба дуги малого диаметра по зазору между соплом 2 и керамическим мундштуком 7 подается защитный нейтральный газ, например аргон.

При микроплазменной сварке вследствие концентрации энергии на малой площади контакта с деталью и высокой температуры дуги скорость сварки больше, чем при АрДЭС, а зона температурного влияния значительно меньше, что повышает качество сварного соединения. Микроплазменной сваркой соединяют детали толщиной 0,1 мм—2 мм из различных металлов (титана, меди, стали, сплава АМг и т. д.), выполняя стыковые, угловые, тавровые и другие соединения. Режим микроплазменной сварки определяется током и напряжением рабочей дуги, составом и расходом газов, скоростью сварки и расстоянием от сопла до поверхности изделия. Сварку можно выполнять вручную и автоматически. Благодаря особым технологическим возможностям микроплазменная сварка позволяет получать соединения из разнообразных материалов, сваривать диэлектрики, керамику, металлы и неметаллические материалы. Вследствие практически незначительной зоны теплового воздействия при микроплазменной сварке расширяется область применения сварных соединений из трудносвариваемых материалов, прочность которых снижалась при традиционных видах сварки.

Диффузионная сварка — один из перспективных видов термомеханического класса. Этот вид сварки позволяет соединять различные металлы между собой и металлы с неметаллическими материалами.

Формирование сварного соединения (рис. 6.14) происходит путем последовательного образования физического контакта между поверхностями толщиной δ (а), химического взаимодействия молекул (б) и развития диффузионных процессов, т. е.

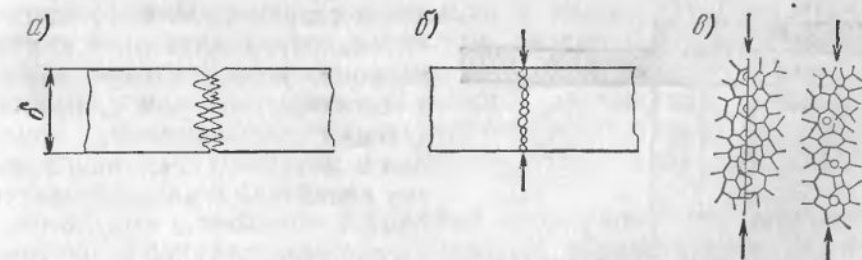


Рис. 6.14. Формирование соединения при диффузионной сварке

взаимного проникновения атомов и образования твердых растворов (σ). Если металлы взаимно нерастворимы, то диффузионное взаимодействие не имеет места, например в паре медь-молибден. Сварка производится в специальных вакуумных камерах при сжатии соединяемых элементов с помощью гидродомкрата после индукционного их нагрева. Давление при сварке принимается равным 0,9 предела текучести свариваемых металлов при температуре сварки в пределах 0,5—0,7 температуры плавления более легкоплавкого материала. Выполнение сварки в вакууме обеспечивает защиту металлов от окисления, а нагрев уменьшает сопротивление деформации и приводит к удалению жировых пленок, паров воды и газов.

Преимущества диффузионной сварки — обеспечение высокой размерной точности соединений, исключение механической и термической обработок, отсутствие влияния на свойства основного металла, полная механизация и автоматизация процесса. В авиационной промышленности перспективной областью применения диффузионной сварки может быть изготовление силовых узлов взамен сборных, что дает возможность значительно облегчить конструкцию.

Одним из прогрессивных способов соединения пластмассовых деталей является *ультразвуковая сварка*. Ультразвуком можно сваривать тонкие пленки, детали толщиной в несколько миллиметров из различных материалов: полиэтилена, полистирола,

винилпласта, стеклотекстолитов и т. д. Сущность ультразвуковой сварки состоит в том, что неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на детали упругих колебаний ультразвуковой частоты и давления. При этом нагрев контактирующих поверхностей до температуры размягчения происходит благодаря превращению энергии колебаний ультразвуковой частоты в тепловую в результате трения молекул.

Оборудование для ультразвуковой сварки (рис. 6.15) включает: генератор электрических колебаний, колебательную систему с магнитостриктором 1, преобразующим электрические колебания в механические, трансформатор колебаний 2, волновод-инструмент 3, устройство для установки и крепления деталей 4, механизм, создающий усилие сжатия P , ме-

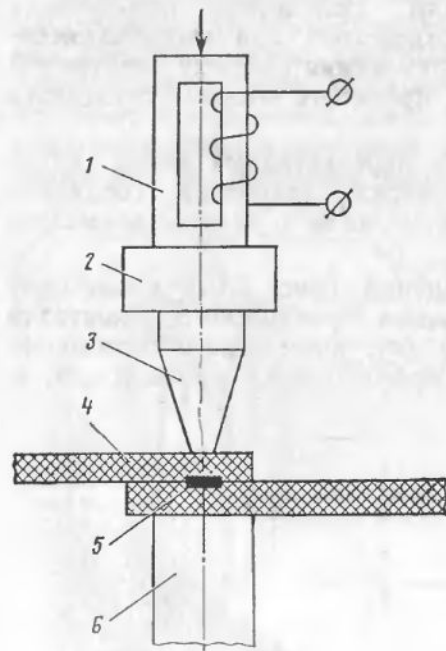


Рис. 6.15. Схема ультразвуковой сварки пластмасс

ханизм передвижения волновода-инструмента, приборы наблюдения и реле регулирования времени сварки. Свариваемые детали 4 соединяются внахлестку точечным или непрерывным швом 5. Параметры сварки ультразвуком — амплитуда и частота колебаний, давление и продолжительность — зависят от свариваемого материала. Так, при сварке оргстекла давление принимается 6—10 МПа, частота 20 кГц, амплитуда 24 мкм, продолжительность 1—5 с.

При сварке пластмасс почти полностью или полностью исчезает граница раздела между элементами и прочность соединения становится равной прочности основного материала. Применяют также химическую сварку с помощью растворителей для деталей из полиуретана, полиамида и тепловую сварку — нагретым инструментом, нагретым газом или пламенем, нагретым присадочным материалом, ультразвуком, токами высокой частоты, трением. Выбор типа сварки зависит от конструкции детали, материала и толщины элементов, технологических возможностей и условий производства.

Контроль качества сварки и дефекты сварного соединения. Качество сварки обеспечивается бездефектным выполнением всех технологических операций, качеством электродов, флюсов, проволоки, обмазки, материала свариваемых деталей, работой сварочного оборудования. Подготовку деталей перед сваркой контролируют для обеспечения требуемой обработки кромок, поверхностей, взаимного расположения и фиксирования свариваемых элементов.

Качество сварных соединений проверяют на готовом изделии методами, которые указаны в технической документации в соответствии с ГОСТ 3242—79. Основные виды контроля сварки: визуально-оптический, неразрушающие методы контроля (капиллярный, радиационный, акустический, магнитный, течеиспытание). Выбор вида контроля зависит от назначения сварной конструкции и предъявляемых к ней требований.

Дефекты сварных соединений оказывают различное влияние на физико-механические свойства в зависимости от условий эксплуатации конструкции, свойств материала, характера и размеров дефекта.

Технической документацией устанавливаются браковочные признаки недопустимых для определенных изделий размеров и местоположений трещин, деформаций и других дефектов сварки. Детали с недопустимыми дефектами сварки бракуют. Наиболее распространенными видами дефектов сварки являются холодные и горячие трещины в зоне теплового воздействия, искажение формы и размеров элементов сварной конструкции, непровары, прожоги, поры, шлаковые включения, отклонения по размерам шва (длине, ширине) и т. д.

Допустимые трещины устраняют подваркой (по технологии ремонта) с последующим контролем обработанного участка. Дефекты швов устраняют механической обработкой и повторной

сваркой, но не более двух раз для ответственных силовых швов и трех раз для соединительных швов. Деформации устраняют горячей или холодной правкой в зависимости от материала и конструкции детали.

Причинами дефектов могут быть неправильный порядок выполнения швов, нарушения режимов сварки, нерациональная конструкция сварочного соединения и т. д.

6.5. РЕМОНТ ПАЙКОЙ

Способы пайки. Пайка нашла применение в авиаремонтном производстве при монтаже и ремонте коммуникаций бортовых систем самолетов и вертолетов, радио- и электропроводок, приборов, при восстановлении целостности и герметичности паяных конструкций, изготовлении паяных трубопроводов и т. д.

Пайка — процесс соединения материалов в твердом состоянии припоями, которые в расплавленном виде затекают в зазор, смачивают нагретые поверхности и при кристаллизации образуют паяный шов. В результате пайки образуется соединение (рис. 6.16), в котором между основным металлом 2 и швом 1 находятся зоны диффузии 3, т. е. взаимного проникновения элементов припоя и основного металла. В отличие от сварки плавлением пайка осуществляется всегда при температурах, ниже температуры плавления основного металла, что позволяет значительно уменьшить влияние этого процесса на форму и размеры изделия, свойства и структуру соединяемых материалов. В отличие от склеивания при пайке образуется металлическая связь, обеспечивающая большую долговечность конструкции.

При пайке применяются различные виды соединений (рис. 6.17), среди которых самыми распространенными можно считать нахлесточные (а), телескопические (б), в замок (в). Благодаря незначительной концентрации напряжений паяное нахлесточное соединение не снижает усталостную прочность изделий и обеспечивает более высокую надежность, чем нахлесточ-

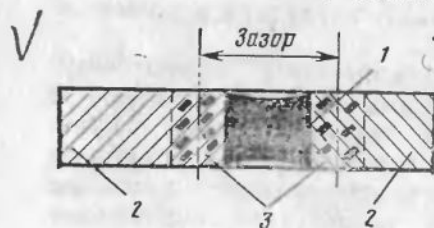


Рис. 6.16. Схема структуры паяного соединения

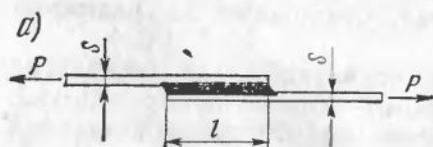
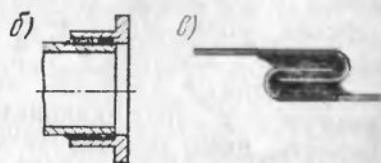


Рис. 6.17. Виды паяных соединений



ное сварное соединение. Равнопрочность нахлесточного и телескопического паяного соединения и основного металла при работе на срез от сил P может быть достигнута за счет определенной нахлестки l , которую принимают равной $3-5S$.

Технологический процесс пайки включает подготовку поверхности деталей к пайке, сборку и фиксацию элементов, подготовку материалов и оборудования в зависимости от способа пайки, нагрев деталей и припоя, удаление остатков флюса и шлаков, контроль качества паяного соединения. В промышленности применяется множество разновидностей пайки. Классификация способов пайки по нескольким независимым признакам, в том числе: по способу удаления окисной пленки с поверхности деталей при подготовке к пайке, по методу получения припоя, по источникам нагрева, по заполнению зазора припоем и другим установлена ГОСТ 17349—79.

Подготовка поверхности. Подготовка деталей к пайке заключается в промывке и удалении с поверхности загрязнений и покрытий, а также придании требуемой чертежом формы соединяемым элементам. Кроме того, необходимо обеспечить условия взаимодействия атомов легкоплавкого жидкого металла (припоя) и атомов твердого основного металла путем удаления окисной пленки с поверхности паяемых элементов. Окисная пленка удаляется под действием флюса, пайкой в газовой защитной или активной среде, в вакууме, путем абразивной или ультразвуковой обработки. В авиаремонтном производстве чаще всего применяется флюсование, при котором происходит смачивание металла и припоя, растворение окисной пленки и защита места пайки от окисления при нагреве. В качестве флюсов применяют вещества, состав которых зависит от температуры пайки и материала паяной конструкции. Например, при пайке трубопроводов из стали 12X18H10T используют флюс № 200, состоящий из борной кислоты (70%), буры (21%), фтористого кальция (9%). Для удаления стойких окисных пленок с поверхности титановых, алюминиевых или магниевых сплавов используют флюсы повышенной активности, например хлориды щелочных металлов. При низкотемпературной пайке чаще всего рекомендуются флюсы на основе канифоли или неорганических соединений типа смеси хлористого цинка и хлористого аммония.

При пайке в среде защитных нейтральных газов (аргона, азота, гелия) окисные пленки удаляются благодаря их способности разлагаться при определенной температуре. Такой способ используется при ремонте трехслойных паяных панелей. На рис. 6.18 показана схема пайки обшивки 2 из титанового сплава толщиной 0,15 мм к сотовому заполнителю 3 из этого же материала с применением припоя в виде фольги 1 в герметичной камере в среде аргона 4.

Для низкотемпературной пайки алюминия и его сплавов применяют бесфлюсовый способ разрушения и удаления окисной пленки с помощью ультразвука. Ультразвуковые колебания при

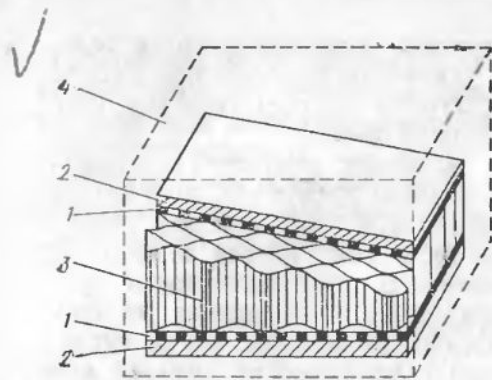


Рис. 6.18. Схема пайки трехслойной сотовой панели с припоем в виде фольги

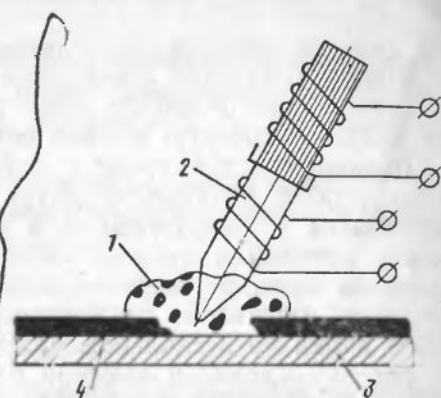


Рис. 6.19. Схема удаления окисной пленки ультразвуковым паяльником

прохождении через жидкости и расплавы металлов вызывают в них явления кавитации, разрушающие окисную пленку. На рис. 6.19 представлена схема удаления окисной пленки 4 с поверхности алюминиевого сплава 3 ультразвуковым паяльником 2 под слоем расплавленного припоя 1.

Сборка под пайку должна обеспечить фиксацию заданного чертежами взаимного расположения деталей, или соединение деталей, фиксация которых определена их конструкцией. Фиксация выполняется с помощью сварки, чеканки, кернения, специальных приспособлений.

Зазор при пайке влияет на свойства и прочность шва и зависит от капиллярных свойств припоя и паяемых материалов. Для алюминия и его сплавов при пайке припоями на основе алюминия зазор принимают 0,15—0,25 мм, при пайке медных трубопроводов серебряными припоями зазор между ниппелем и трубкой назначают 0,05—0,15 мм.

Готовые, заранее изготовленные припои 1 (рис. 6.20) в виде фольги, прутиков, проволоки, прокладок укладывают при сборке в зазор между деталями. Порошковые припои и флюсы в пастообразном состоянии наносят на поверхность деталей. При ремонте пользуются трубчатыми припоями, наполненными флюсом, которые вводят в расплавленном виде в зазор между элементами детали. Пайку можно произвести и без введения готового припоя.

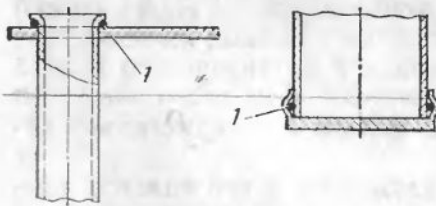


Рис. 6.20. Примеры сборки паяных конструкций

Для этого на поверхность деталей предварительно наносят металлическое покрытие легкоплавким сплавом. Луженые детали с таким технологическим покрытием спаивают совместным нагревом в собранном виде. Припой здесь образуется в результа-

те перехода в жидкое состояние твердых разнородных веществ при температуре ниже точек их плавления. Примером такой *контактно-реактивной пайки* может быть бесфлюсовый метод пайки алюминия и его сплавов с покрытиями медью или серебром.

Собранные в приспособлении с поджатием (усилие $P = 7,0$ МПа) детали нагревают до температуры плавления эвтектики Ag—Al (558°C).

Паяное соединение может быть получено и в результате образования припоя за счет реакции между паяемым металлом и компонентами, входящими в состав флюса. Такой способ называется *реактивно-флюсовой пайкой*. Например, собранный в приспособлении радиатор после окунания в ванну с флюсом нагревают до температур 260—343° С. При взаимодействии флюса с паяемым металлом происходит образование припоя. При этом объединяются два процесса — удаление окисной пленки и пайка.

Состав и свойства припоя оказывают значительное влияние на физико-механические характеристики паяного соединения. Для получения соединений, в которых зона шва по свойствам максимально приближается к свойствам паяемых металлов, используют *композиционные припои*, состоящие из легкоплавкой основы, армированной упрочняющими тугоплавкими материалами, например токодисперсным керамическим порошком, металлическим волокном и т. д.

Температурные условия процесса пайки назначаются с учетом того, что температура пайки T_p должна быть ниже температуры плавления основного металла детали T_d , но выше рабочей температуры эксплуатации детали T_z , т. е.: $T_d > T_p > T_z$. Превышение температуры пайки над температурой эксплуатации обеспечивает необходимый температурный запас работоспособности припоя. Условно пайку разделяют на низкотемпературную ($T_p = 400^\circ\text{C}$) и высокотемпературную ($T_p = 400 \div 1250^\circ\text{C}$). В авиаремонтном производстве низкотемпературную пайку применяют для пайки нетеплостойких проводов, медных трубок масляных радиаторов и других деталей с незначительными эксплуатационными нагрузками.

Высокотемпературная пайка позволяет получать более прочные соединения и применяется для конструкций из коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сплавов, тугоплавких материалов. Для такой пайки используют припои на основе никеля, меди, марганца, серебра и т. д.

В производстве паяных изделий применяют разнообразные источники нагрева и оборудование для пайки. В условиях массового производства целесообразно производить пайку в печах, оборудованных средствами механизации и автоматизации. Высокую производительность процесса обеспечивает индукционная пайка в специальных установках с нагревом токами высокой частоты. Пайка концентрированными источниками энергии — электронным лучом, лазером применяется для соединения тончайших деталей с более массивными. В условиях ремонта нашли

6.6. РЕМОНТ СКЛЕИВАНИЕМ

распространение универсальные способы пайки: горелками, паяльниками периодического нагрева и электрическими, с постоянным регулируемым нагревом, с автоматической подачей трубчатого припоя и т. д.

Примеры применения ремонта пайкой. В процессе эксплуатации масляных радиаторов могут возникнуть разрушения трубок в сотах, трещины по паяным швам, вмятины, забоины на обечайке и т. д. После очистки, промывки и сушки радиатора некоторые дефекты ремонтируют пайкой.

Одиночные бракованные трубки глушат запайкой. Внутреннюю поверхность поврежденной трубки флюсуют 25%-ным раствором хлористого цинка, в торцы трубок с обеих сторон закладывают облуженные медные заглушки, а затем при нагреве паяльником производят пайку оловянисто-свинцовым припоем ПОС-40.

Бракованные участки сот заменяют распайкой трубок путем поочередного их нагрева разогретыми штырями, которые на 1—2 мин вставляют с обеих сторон каждой трубки.

Ремонтируемые по браковочным признакам трещины зачищают, засверливают их концы, забоины или вмятины зачищают. Затем место пайки обезжиривают, флюсуют 25%-ным раствором хлористого цинка и запаивают припоем ПОС-40 или ПСр-45 (на основе серебра) при нагреве паяльником.

Накладки после обезжиривания и флюсования места установки фиксируют в заданном положении с помощью прихватки в трех точках сваркой и припаивают. После пайки остатки флюса обязательно удаляют с поверхности деталей для предотвращения коррозии. Контроль пайки радиатора проводится испытанием на герметичность.

Паяные соединения контролируют на всех этапах технологического процесса. Проверяют качество подготовки к пайке, работу оборудования и качество материалов, а также соответствие чертежам и техническим требованиям полученного соединения. Методы контроля качества паяных соединений с целью обнаружения поверхностных, внутренних и сквозных дефектов установлены ГОСТ 24715—81. Для каждого конкретного паяного изделия они указаны в технической документации на его изготовление.

Наиболее характерные поверхностные дефекты паяного соединения — пористость, непропай, окисление — обнаруживают при визуальном осмотре. Методами неразрушающего контроля определяют наличие трещин, флюсовых, металлических и шлаковых включений, раковин, паяльных напряжений и т. д. Сквозные дефекты обнаруживаются газовыми и жидкостными способами течеиспытания. В случаях, оговоренных в технической документации, испытывают отремонтированные изделия под нагрузкой на герметичность или на прочность.

Клеевые соединения. В авиационном производстве все шире применяется склеивание для создания неразъемных соединений. В последние годы разработаны различные клеевые композиции, обеспечивающие высокую прочность, надежность и долговечность клеевых соединений. Современные синтетические клеи склеивают практически все однородные и разнородные материалы: металлы, пластмассы, резины, древесину, керамику, композиционные материалы.

Клеевые соединения обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами неразъемных соединений. Они лучше выдерживают усталостные напряжения. Известно, например, что отверстия под болты и заклепки, а также сварные швы снижают прочность соединяемых деталей. Клеи незаменимы при изготовлении конструкций с сотовыми и другими заполнителями. Масса конструкции клеевого соединения ниже, поскольку нет крепежных элементов.

Однако клеевые соединения обладают и рядом недостатков, к которым следует отнести малую прочность при неравномерном отрыве и необходимость в ряде случаев применять нагревание при склеивании. До недавнего времени сдерживающим фактором в применении склеивания было отсутствие надежных способов контроля качества такого соединения. В настоящее время разработаны разрушающие и неразрушающие методы контроля, позволяющие определить качество склеивания с достаточной достоверностью.

В авиационных конструкциях склеивание применяется для крепления подшипников, для соединения листов во многослойных обшивках, в панелях с сотовыми заполнителями, для соединения деталей из неметаллических и композиционных материалов и т. д. В некоторых конструкциях соединение деталей выполняется комбинированным способом: существуют, например, клееболтовые, клееклепаные, клеесварные соединения.

Необходимость ремонта элементов конструкции с применением склеивания возникает в тех случаях, когда механические, коррозионные, эрозионные повреждения, трещины, расслоения, непроклеи не выходят за пределы, установленные браковочными признаками, при превышении которых поврежденные детали заменяют.

Технологический процесс склеивания разделяется на следующие этапы: техническое диагностирование ремонтируемой зоны, подготовка ее к ремонту, изготовление ремонтных деталей, подготовка поверхности к нанесению клея, приготовление клеевой массы и ее нанесение, открытая выдержка, приклеивание деталей, выдержка под давлением, контроль качества клеевого соединения.

При техническом диагностировании проводят оценку дефекта: размер механического повреждения (глубину и площадь пробои-

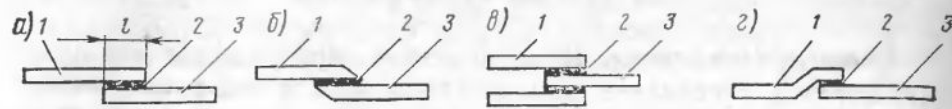


Рис. 6.21. Клеевые соединения листов обшивки

ны, забоины, вмятины), длину трещины, вид, площадь и глубину эрозионных, коррозионных повреждений, площадь непрочности и т. п. При техническом диагностировании клеесварных соединений обращают внимание на концы нахлесточных соединений, так как здесь может иметь место ослабление за счет действия отрывающих усилий, особенно при утолщении клеевого слоя в этих местах. Для диагностирования применяют неразрушающие методы контроля: оптико-визуальный, акустический, тепловой, вихретоковый и др. По результатам диагностирования определяют вид ремонта, размеры накладок, вставок в сотовый наполнитель и т. п.

Способы ремонта. Размеры ремонтных накладок определяют исходя из условий равнопрочности [см. формулу (5.3)]. При этом прочность клеевого соединения на сдвиг принимают равной 30% от данной в справочной литературе. Это делается для того, чтобы обеспечить запас прочности с учетом возможных технологических неточностей и вариации свойств клеевой массы. Форма усиливающей накладки зависит от конкретной конструкции, но всегда должна отвечать требованиям постепенного перепада жесткости. В клеевых соединениях наиболее распространены нахлесточные, в которых действуют сдвиговые силы, так как на отрыв, особенно неравномерный, клеевые соединения работают плохо. Примеры таких соединений приведены на рис. 6.21. Самый простой тип соединения — обычная нахлестка (а) и нахлестка со скошенными кромками (б). Хорошо работает также двойное нахлесточное соединение (в) и с подсечкой (г).

Исследования показали, что наилучших прочностных характеристик клеевого соединения можно добиться, когда соединение является достаточно жестким. Поэтому склеивание нежестких обшивок, например, не даст высокой прочности. Существенную роль в прочности клеевого соединения играет длина нахлестки l (см. рис. 6.21). При большой длине нахлестки и малой толщине склеиваемых деталей прочность клеевого соединения падает.

В соответствии с определенным по результатам технического диагностирования способом ремонта зону подготавливают для выполнения ремонтных работ. Это может быть зачистка забоины до получения плавных переходов, удаление поврежденного участка сотового наполнителя или обшивки и др.

Примеры ремонта панелей с сотовыми наполнителями приведены на рис. 6.22. При неглубокой пробойне в панели 1 (рис. 6.22, а) ее заполняют клеевой массой 3 и устанавливают накладку 2. В случае сквозной пробойны (рис. 6.22, б) в панели 1 делают вставку 2, перекрывая сверху и снизу стыки накладками 3 и 5, заполняя места склеивания клеевой массой 4.

Для зачистки применяют механизированный инструмент. Поврежденный участок панели может быть удален с применением центробора 1 (рис. 6.23). Участок обшивки 2 и сотового наполнителя 3 фрезерованием удаляют на глубину повреждения. Если повреждение (например, пробойна или вмятина) привело к выходу из строя сотовой конструкции по всей высоте, деформированный участок вырезают полностью, делая затем соответствующую вставку. При подготовке зоны, после фрезерования удаляют заусенцы, выпрямляют с помощью пинцета деформированные участки сот и приступают к подготовке поверхности к склеиванию: удаляют лакокрасочные покрытия, зачищают поверхности, тщательно обезжиривают.

Хорошая адгезия клеев с металлами и другими материалами может быть обеспечена только в случае взаимодействия клея со склеиваемой поверхностью. При загрязнении, а особенно замасливание, нарушается контакт между клеем и склеиваемым материалом, что приводит к резкому снижению прочности соединения. Зачистка увеличивает контактную площадь, покрываемую клеевой массой и поэтому входит в перечень обязательных работ по подготовке поверхности к склеиванию. Обезжиривание производится в несколько приемов чистым бензином и ацетоном с выдержкой после каждой операции около 3 мин.

При установке накладок в процессе подготовки производят разметку зоны. Для предотвращения сдвига накладки при приклеивании устанавливают ограничители по периметру. Наиболее простой ограничитель — лавсановая лента с клеевым слоем, которая после приклейки легко удаляется с поверхности.

Клеи, применяемые при ремонте. Параллельно с подготовкой поверхности приготавливают клеевую массу. Клеи могут быть горячего и холодного отверждения. При ремонте чаще всего применяют последние. Клей представляет собой композицию, состоящую из нескольких веществ. Марка клея определяется чертежами и технологией ремонта.

В настоящее время при ремонте широко применяются клеи: на основе эпоксидных смол для склеивания металлических и пластмассовых деталей, например клеи ВК-9, ВК-11, ВК-27; на основе синтетических каучуков для склеивания резин и приклеивания их к различным металлическим и неметаллическим материалам, например 88НП, КР-5-18р, 4НБув. Для склеивания композиционных материалов применяют эпоксидные клеи ВК-31, ВК-41.

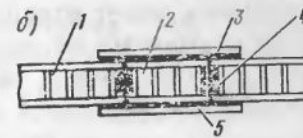
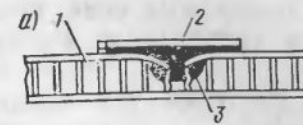


Рис. 6.22. Типовые схемы ремонта панелей с сотовым наполнителем

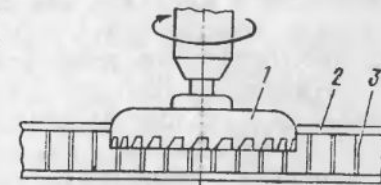


Рис. 6.23. Вырезка поврежденной обшивки клесной панели

Эпоксидные клеи, применяющиеся при ремонте, состоят из основы (эпоксидной смолы различных марок) с добавлением отвердителей, наполнителей, модификаторов и других веществ, которые поставляются отдельно. Клеевую массу готовят смешиванием различных компонентов перед употреблением, поскольку она имеет ограниченную жизнеспособность. *Жизнеспособностью* называется период, в течение которого клей не теряет своих свойств. По истечении срока жизнеспособности его применять не разрешается, поскольку прочность соединения не будет обеспечена.

Приготавливают клей в лабораторных условиях, обеспечивая последовательность смешивания входящих компонентов и однородность всей массы. Вручную разрешают готовить не более 300 г клея, так как большее количество перемешать до получения однородной массы вручную невозможно. Инструкциями по приготовлению клея устанавливается время перемешивания. Приготовление большой массы клея требует механизации перемешивания и осуществляется с помощью клеешалок. Перед началом приготовления клея тщательно проверяют соответствие составляющих компонентов техническими условиями, ГОСТам, ОСТАм. На каждую партию приготовленной клеевой массы выдают паспорт с указанием марки, а также срока жизнеспособности.

Качество клеевого соединения зависит от многих факторов: точности выдерживания рецептуры клея, качества подготовки поверхности для склеивания, температуры и влажности окружающей среды, времени выдержки, толщины клеевого слоя, равномерности прижатия при выдержке под давлением и др. Малейшее нарушение установленных требований может привести к недопустимому снижению качества клеевого соединения. В связи с этим одновременно со склеиванием ремонтируемой конструкции изготавливают образцы-свидетели, разрушающие испытания которых позволяют определять прочность выполненного по идентичной технологии основного соединения.

Способы нанесения клеев. Нанесение клеевой массы — ответственная операция, от качества выполнения которой зависит в значительной степени прочность соединения. Исследования показали, что значительное утолщение клеевого слоя, его пористость в несколько раз снижают прочность соединения. Тонкая пленка клея может привести к образованию непроклеев, что также недопустимо. Поэтому расход клея строго регламентируется производственными инструкциями и устанавливается таким, чтобы по всем торцам площади склеивания выдавливались небольшие полоски клея без пропусков и избыточных подтеков.

Способы нанесения клеевой массы могут быть различными, их применение зависит от состояния клея в момент нанесения: жидкого или пастообразного. Клей наносят при ремонте, как правило, кистью или шпателем. При большой поверхности склеивания массу наносят роликами на клеевых вальцах, распылением в

электростатическом поле, пульверизацией и другими способами. В зависимости от марки клея и способа его нанесения покрывают одну или обе склеиваемые поверхности, что нормируется производственными инструкциями.

Жидкие и пастообразные клеи, применяемые при ремонте самолетных конструкций, во многих случаях содержат значительное количество растворителей. Присутствие растворителей в клеевой пленке приводит к вспениванию клея, образованию пористой структуры, что снижает прочность и теплостойкость соединения. В связи с этим после нанесения клеевой пленки производят открытую выдержку, при которой удаляются растворители и повышается вязкость клея. Среднее время открытой выдержки для различных клеев колеблется в пределах от 5 до 40 мин.

Немаловажное значение при нанесении клеев имеют температура окружающего воздуха и его влажность. Верхний предел температуры рекомендуется ограничивать, так как жизнеспособность клеев сокращается с повышением температуры. Температура помещения в связи с этим не должна превышать 30°C. Нижний предел рекомендуется устанавливать в 15°C, поскольку при более низких температурах отверждение клеев происходит крайне медленно и клеевые соединения будут обладать пониженной прочностью. Повышенная влажность может вызвать коррозию склеиваемых поверхностей после их зачистки, а также повлиять на состав некоторых клеев. Рекомендуемая относительная влажность в помещениях, где производится склеивание, 70—75%.

Выдержка склеиваемых деталей. По истечении времени открытой выдержки склеиваемые детали собирают и выдерживают под давлением. Назначение этого процесса — приведение в тесное соприкосновение покрытых клеем поверхностей для получения равномерной, заданной толщины уплотненной клеевой прослойки без пустот и непроклеев. Удельное давление при этом выбирается таким, чтобы обеспечить плотность прилегания и равномерную толщину клея, не деформируя при этом основную конструкцию. При повышенном давлении может произойти излишнее выдавливание клея. Поэтому выбирают оптимальное удельное давление. Для разных клеев с различной вязкостью удельное давление колеблется от 0,1 до 1,5 МПа.

Создание давления и выдержка в таком положении съемных узлов в цеховых условиях выполняется на обычных прессах с подогревом или в холодном состоянии. При использовании клеев холодного отверждения для приклейки накладок на каркасе планера давление может создаваться по одной из схем, приведенных на рис. 6.24. Способ, показанный на рис. 6.24, а, заключается в том, что к поверхности конструктивного элемента (например, обшивке) 1 приклеивается изготовленный из прорезиненной ткани присос 4 по контуру 2 вокруг накладки 3. Через штуцер выкачивается воздух, ткань прижимается атмосферным давлением к накладке, создавая равномерное усилие прижатия по всей ее поверхности. Этот способ применяют при необходимости создания

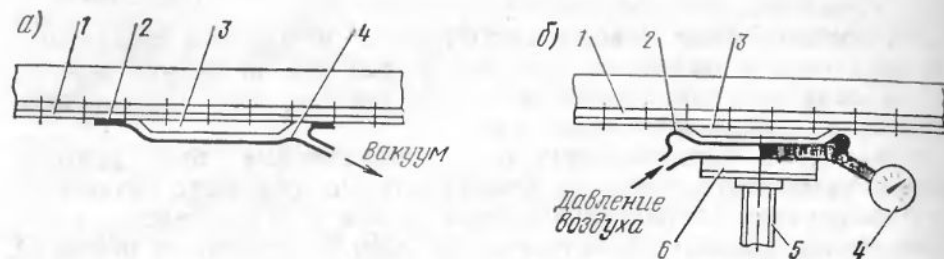


Рис. 6.24. Способы создания давления для приклейки накладок

невысоких удельных давлений. Более значительное давление может быть создано при способе, показанном на рис. 6.24, б. Приклеенная накладка 3 к поверхности 1 прижимается с помощью мягкого, изготовленного из прорезиненной ткани баллона 2. Баллон устанавливается на ложемент (один или несколько) 6 домкрата 5. Во внутреннюю полость баллона подается давление воздуха, которое контролируется манометром 4. Воздух раздувает мягкий баллон, прижимая накладку к поверхности. Сжатый воздух подается от стандартного баллона через редуктор. Использовать технологическую воздушную сеть сжатого воздуха не рекомендуется, так как в ней давление колеблется в значительных пределах, что ухудшает условия прижатия. Время выдержки под давлением клеевого соединения устанавливается из расчета полного отверждения клеевого слоя. Это время зависит от температуры и свойств клея, что оговаривается в каждом конкретном случае и может колебаться от 1 до 5 ч.

На последнем этапе выдерживают клеевое соединение без давления для приобретения клеевой пленкой окончательных эксплуатационных свойств, после чего контролируют качество склеивания. Если были изготовлены образцы-свидетели, их нагружают до разрушения, получая данные, по которым судят о прочности клеевого соединения. Наличие непрочности контролируют с помощью импедансных акустических дефектоскопов (типа ИАД), наиболее чувствительных, простых и удобных в эксплуатации. В последние годы проводятся работы по совершенствованию методов определения прочности клеевого соединения неразрушающими методами контроля. Разработан, например, прибор, действие которого основано на возбуждении в клеевых соединениях импульсов высокочастотных вибраций. По характеру акустической реакции на эти импульсы судят о наличии дефектов в соединении. При наличии непрочности появляется ультразвуковой «шум», характеризующийся определенной амплитудой и фазой колебаний. Эти «шумы» автоматически сравнивают с эталоном. При любом отклонении появляются звуковой и световой сигналы, свидетельствующие о наличии дефекта в соединении.

После окончания операций контроля заполняют соответствующую документацию (например, карту выполненных работ). Качество выполнения работ по склеиванию на всех этапах контро-

лирует ОТК. При пооперационном контроле проверяют подготовку поверхности, ремонтные детали, фиксацию времени выдержки и другие операции.

6.7. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Способы поверхностного упрочнения. Усталостная прочность многих деталей в значительной степени зависит от состояния их поверхности. Грубая обработка (наличие больших микронеровностей), структурная неравномерность и другие поверхностные дефекты резко снижают предел выносливости. Различные виды механической обработки, особенно затупленным инструментом, вызывают появление в поверхностных слоях растягивающих напряжений. То же можно отметить и для некоторых видов гальванических покрытий. Исследования показали, что растягивающие напряжения в поверхностных слоях во много раз снижают усталостную прочность деталей.

В настоящее время получили широкое распространение различные способы поверхностного упрочнения за счет создания на поверхности деталей снимающих напряжений. На рис. 6.25 показаны кривые, характеризующие рост долговечности деталей после упрочнения поверхности. Кривая 1 показывает изменение предела выносливости σ_{-1} с ростом числа циклов нагружения для неупрочненных деталей, кривая 2 — для упрочненных. Например в точке σ'_{-1} деталь выдерживала N_1 циклов нагружения до ее разрушения и N_2 циклов после упрочнения, т. е. деталь будет работать без усталостного разрушения значительно дольше. Практика показала, что с помощью поверхностного упрочнения можно добиться увеличения долговечности в 2—5 раз. При этом повышается также износостойкость и коррозионная стойкость. Применяются различные способы упрочнения деформированием поверхностных слоев металла с помощью роликов, шариков, дроби, а также с применением дорнов (дорнированием).

Упрочнение роликами и шариками. Ролики и шарики применя-

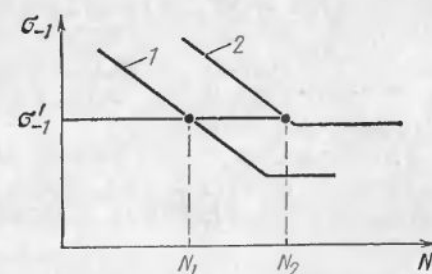


Рис. 6.25. Зависимость предела выносливости от циклов нагружения для неупрочненных и упрочненных деталей

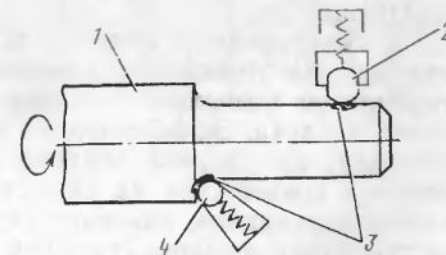


Рис. 6.26. Схема упрочнения поверхности обкатной шариком или роликом

ются для обкатки поверхности детали, как правило, на станках токарной группы (для обработки наружных поверхностей), фрезерной или сверлильной группы (для обработки внутренних поверхностей) и строгальной группы (для обработки плоских поверхностей). Большое значение для увеличения долговечности деталей имеет обкатка галтелей, что снижает влияние на предел выносливости концентрации напряжений. На рис. 6.26 показана схема обкатки поверхности детали 1 роликом 2 и шариком 4. В результате прижатия рабочего инструмента к обрабатываемой поверхности прилегающий слой металла 3 пластически деформируется, что и создает напряжения сжатия. В результате обкатки исходная шероховатость поверхности от $R_z=80\div 10$ мкм может быть повышена до $R_a=1,25\div 0,16$ мкм. Глубина деформированного слоя колеблется в пределах 0,1—0,05 мм и выше.

В самолето- и вертолетостроении широко распространено упрочнение с применением дроби. Оно может производиться виброударными способами или с использованием динамического потока с дробью. В первом случае обрабатываемую деталь помещают в контейнер с дробью (например, стальными шариками) и направляют на виброплатформу. Этот способ носит название *виброгалтовки*. Шарик, ударяясь о поверхность детали, упрочняет ее. Так может быть обработан, например, трубчатый лонжерон вертолета. Во втором случае шарики помещаются в струю жидкости или воздуха и за счет соударения с поверхностью упрочняют ее. Например, потоком трансформаторного масла со стальными шариками уплотняют галтели зубчатых колес, трубопроводы, лопатки компрессора и др. Этот способ носит название *гидродробеструйного упрочнения*.

Поверхности тонкостенных деталей могут упрочняться микрошариками (стеклянными, фарфоровыми и др.), которые специальными дробеметами направляются на обрабатываемую поверхность.

Применяют также *алмазное выглаживание*, при котором упрочнение достигается за счет скольжения по поверхности детали рабочих инструментов (инденторов), изготовленных из монокристалла синтетического алмаза (карбида бора, карбида кремния и др.) в виде сферы или цилиндра. Алмаз крепится к пружинящей державке.

В авиаремонтном производстве все более широкое применение находит *пневмодинамическое упрочнение*. Оно основано на упрочнении поверхности стальными шариками, увлекаемыми потоком воздуха. Эффективность этого способа зависит от размера шариков, их ударной энергии, создаваемой потоком воздуха, и времени воздействия на обрабатываемую поверхность. Диаметр стальных шариков, давление струи воздуха оговаривается в соответствующих производственных инструкциях и технологиях. При определении времени обработки упрочняемой поверхности следует иметь в виду, что при значительной длительности обработки эффект упрочнения снижается. Всегда необходимо знать опти-

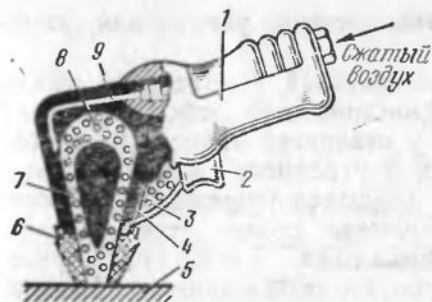


Рис. 6.27. Схема пневмопистолета для пневмодинамического упрочнения

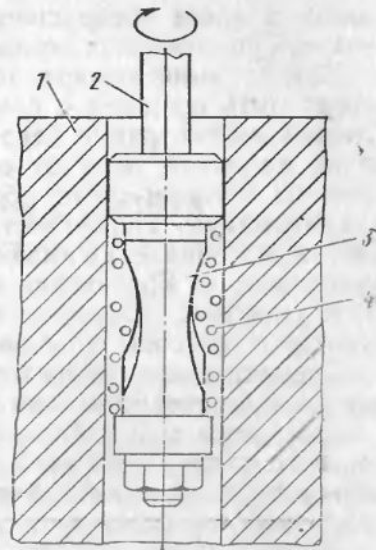


Рис. 6.28. Способ упрочнения внутренних поверхностей деталей с помощью стеклошариков

мальное время обработки, которое указывается в соответствующих технологических документах. Основным инструментом для пневмодинамического упрочнения — пневмопистолет, конструкция которого схематически изображена на рис. 6.27. Сжатый воздух по трубопроводу 9 попадает в профилированный канал 7, прижатый к обрабатываемой поверхности через резиновый наконечник 6. Доступ сжатого воздуха регулируется гашеткой 2. При открытии заслонки 4 шарики из ловушки 3 попадают также в профилированный канал, где с силой ударяются об обрабатываемую поверхность 5. Отработанный воздух выходит через отверстия 8 в боковой стенке пистолета. С помощью описанного приспособления при ремонте обрабатывают материал у вершины образовавшейся трещины. Исследования показали, что такая обработка концов трещин, а также материала вокруг отверстий, создающих концентрацию напряжений, значительно уменьшает, а

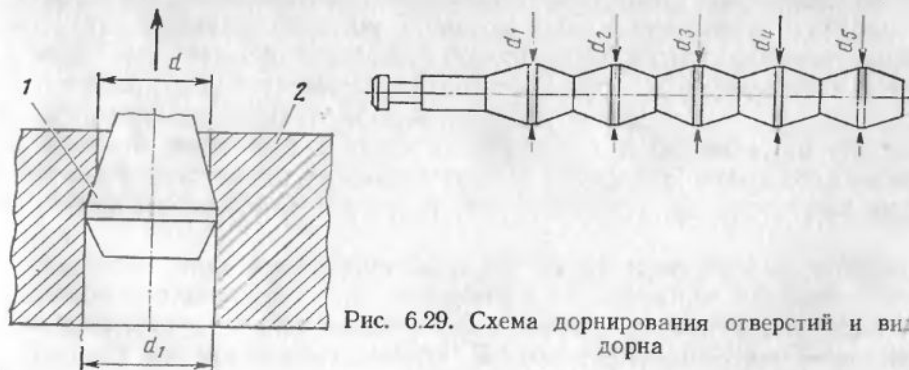


Рис. 6.29. Схема дорнирования отверстий и вид дорна

иногда и вовсе прекращает развитие трещин, увеличивая долговечность упрочненных деталей.

Предел выносливости материала деталей у отверстий также может быть повышен с помощью пластического деформирования. Степень концентрации напряжений у отверстий зависит не только от их диаметра, но и от состояния внутреннего поверхностного слоя, на котором после обработки остаются штрихи, образуются микротрещины. Поверхностное упрочнение стенок отверстия создает в материале сжимающие напряжения, увеличивая предел выносливости. Упрочнение может производиться пневмодинамическим способом, дорнированием или раскатыванием. Рассмотрим некоторые способы упрочнения стенок отверстий.

Схематическое изображение способа обработки внутренних поверхностей отверстий дано на рис. 6.28. Внутри отверстия детали 1 вставляется рабочий инструмент 2, на валу которого закреплена крыльчатка 3. Во время ее вращения шарики 4 будут соударяться с обрабатываемой поверхностью, пластически деформируя поверхностные слои.

Дорнирование. Процесс дорнирования заключается в том, что сжимающие напряжения в поверхностном слое стенок отверстий создаются при протягивании специального инструмента, имеющего диаметр рабочей части больше диаметра отверстия (рис. 6.29). Дорн 1 протягивают через отверстия диаметром d в детали 2. Дорн пластически деформирует сжатием поверхностные слои и диаметр увеличивается до размера d_1 . Дорн сконструирован с таким расчетом, чтобы увеличить диаметр отверстия в несколько переходов, для чего он имеет несколько поясков. Диаметр каждого последующего пояска, от d_1 до d_5 , увеличивается на 0,02—0,05 мм. С помощью такой ступенчатой деформации добиваются высокого класса шероховатости поверхности, стабильности диаметров и отсутствия повреждений материала детали. Скорость протягивания выбирают в пределах 0,2—0,3 м/мин, покрывая отверстие смазкой (например, моторным маслом в смеси с керосином).

Глава 7

ЗАВЕРШАЮЩИЕ ЭТАПЫ РЕМОНТА

7.1. МОНТАЖ

Комплектование в монтаж. При правильно и четко организованном технологическом процессе монтаж непосредственно на самолете или вертолете начинается после окончания комплектования в монтаж. Комплектование производится по графикам в соответствии с последовательностью выполнения монтажных работ, что диктуется двумя положениями: особенностями конструкции и наличием фронта работ.

Известно, например, что монтировать полы, декоративные панели и перегородки можно только после окончания установки агрегатов и коммуникаций (трубопроводов, тяг, тросов). Во многих случаях невозможно смонтировать трубопроводы, если под ними устанавливаются электрожгуты. Невозможно закончить монтаж системы управления, если не установлены рули и элероны. Последовательность выполнения монтажных работ оговаривается технологией ремонта. Однако здесь почти всегда имеется возможность рационализации за счет параллельного выполнения работ, применения узловой сборки, внедрения различных приспособлений, автоматизации и цеховой отработки блоков и узлов, механизации трудоемких процессов. Рассмотрим некоторые пути повышения производительности труда при монтаже.

Зональный метод монтажа. Поскольку обычно монтажные бригады специализируются по функциональным системам (топливной, гидрогазовой, шасси и т. п.), внутри такой бригады вводится более узкая специализация по зонам: хвостовому оперению, фюзеляжу, центроплану. Монтаж по зонам дает возможность выполнять работы параллельно, благодаря совершенствованию навыков рабочего повысить его производительность труда. В совокупности эти мероприятия сокращают общий цикл монтажа.

Узловой монтаж. Он выполняется в цехах ремонта, до его начала непосредственно на самолете или вертолете, резко сокращает весь цикл монтажа. Рассмотрим это положение на некоторых примерах.

Качалка управления устанавливается на кропштейне, который крепится болтами, шайбами, гайками к конструкции планера. Весь этот узел в цехе ремонта может быть собран, проверен, в отверстия вставлены все крепежные детали. В этом случае монтаж будет заключаться только в закреплении. Причем, крепежные детали бу-

дут уже на месте, дополнительного комплектования не требуется. Если в конструкции применяются панели (например, гидравлические), их собирают в цехе ремонта, полностью испытывают и при монтаже только закрепляют и присоединяют. Если при ремонте была снята отъемная часть крыла, весь монтаж внутри целесообразно выполнить в цехе ремонта, чтобы при монтаже выполнялись только присоединительные операции.

Узловая сборка всегда более производительна, чем монтаж непосредственно на планере. Дело в том, что в цеховых условиях имеется возможность рационально организовать стационарное рабочее место, автоматизировать испытания, механизировать трудоемкие процессы, что в условиях ограниченных объемов на планере сделать невозможно. Отсюда — чем больший объем узловой сборки, тем короче цикл монтажа. Важно учитывать также, что при большом количестве соединений в коммуникациях (трубопроводных, электропроводных, кинематических) трудоемкость монтажных работ сократится, если эти соединения будут выполнены в цеховых условиях. Поэтому у монтажных станций, перед установкой в систему, часто устанавливают трубопроводы, качалки, т. е. проводят предмонтажную узловую сборку. Это делают в тех случаях, когда детали поступают из разных цехов. Например, трубопроводы — из одного цеха, а агрегаты — из другого.

Важное средство повышения производительности труда на монтаже — узловое комплектование. Это означает, что входящие в комплект детали подбирают по признаку принадлежности к данному узлу, укладывают их в узловой сортовик и подают в таком виде к месту монтажа, например к монтажному участку силовой установки, хвостового оперения или в кабину. Здесь имеет важное значение механизация транспортирования комплектов. На высокоорганизованных предприятиях комплекты подаются на участки монтажа средствами межцехового транспорта, верхним подъемно-транспортным оборудованием (например, кранами-балками). Монтажники не затрачивают времени на поиски и переноску комплектов. Основные монтажные работы выполняются, как правило, квалифицированными рабочими, и их труд на завершающем этапе ремонта имеет большое значение для обеспечения высокого качества ремонта. Поэтому высокопроизводительный труд на монтаже, учитывая его особенности, должен быть обеспечен всеми доступными средствами. Здесь важно учитывать, что монтажи в определенной зоне, как правило, являются зависимыми от работ в соседних зонах и последовательности их выполнения. Любая задержка на каком-либо участке вызывает задержку последующих и параллельных работ.

Один из путей снижения трудоемкости монтажных работ — их механизация. Известно, что в конструкции планера применяется большое количество разъемных болтовых и винтовых соединений для крепления различных панелей, заливов, лент, крышек. В этих соединениях момент затяжки строго не регламентируется. Установка крепежных деталей механизмуется с помощью пневмовер-

тов или электровертов. Их конструкция аналогична дрели, в головку которой вставлен сменный инструмент — отвертка или торцевой ключ. Такой инструмент может иметь ограничитель момента затяжки.

Самолет на монтаже находится в цехе, как правило, представляющем собой ангар, занимающий значительную площадь. Чем больше времени занимает монтаж, тем менее производительно используется такая большая площадь, тем больше растет себестоимость ремонта. Для сокращения цикла монтажа применяют двухсменную работу. Однако здесь возникают трудности, связанные с передачей незаконченных работ. Их избегают, применяя зональный монтаж, что значительно увеличивает фронт работ.

Технологический процесс монтажа разделяется на несколько этапов. Рассмотрим эти этапы.

Подготовительные работы. Они включают в себя: очистку и промывку всего планера и каждого участка монтажа; проверку документации об окончании ремонтных работ; подготовку рабочих мест, инструмента, приспособлений, стандового оборудования. От полноты и качества подготовительных работ в значительной степени зависит производительность труда на монтаже.

Монтажные работы при любых условиях не могут начинаться пока не закончены промывка и очистка, поскольку наличие загрязнений, посторонних предметов создает опасность проникновения их в монтируемые системы. В связи с этим категорически запрещается выполнять одновременно монтажные и ремонтные работы. Остатки стопорной проволоки, стружка, другие посторонние предметы могут попасть в трубопроводы, разъемы, закрытые полости, что вызовет опасность возникновения отказов. Причем, посторонний предмет может вызвать нарушение работоспособности системы не сразу, а через некоторое время после выхода изделия из ремонта. Особенно такой отказ опасен при его возникновении в полете. Известны случаи, когда посторонний предмет попадал в топливную систему и проникал через некоторое время в регулирующие давление и расход агрегаты, что вызывало в воздухе отказ и приводило к аварийной ситуации. Посторонние предметы могут вызвать разгерметизацию кабины, заедание в системе управления. Вот почему подготовительные работы по очистке и промывке — необходимый этап работ, выполняемый перед началом монтажа.

На этом этапе проводится промывка внутренней полости несъемных трубопроводов топливных и гидрогазовых систем. Оставшиеся на самолете или вертолете трубопроводы соединяются между собой (закольцовываются) шлангами или трубами, специально предназначенными для этой цели. Затем через такую систему прокачивают рабочую жидкость, и ее чистота свидетельствует о качестве промывки. Контроль осуществляется по чистоте фильтра промывочной установки, а также при проверке в химлаборатории. Одновременное выполнение промывочных и монтажных работ должно быть исключено, так как при промывке могут применяться пожароопасные вещества.

После очистки и промывки проверяют документацию об окончании ремонтных работ. Только оформленный документ свидетельствует о том, что после монтажных работ не потребуется выполнять ремонт на этом участке. На многих предприятиях оформляют карту предъявления под монтаж, после оформления которой мастером ОТК приступают к монтажу.

Монтажные работы. Технологический процесс предусматривает установку и закрепление агрегатов, монтажных узлов, прокладку и закрепление коммуникаций, соединение всех элементов, обработку и регулировку всех систем. Монтажные работы выполняются в соответствии с технологией ремонта, чертежами и техническими условиями.

Перед началом монтажных работ самолет подготавливают: проверяют наличие энергоисточников (электротока, сжатого воздуха), устанавливают светильники, обеспечивающие достаточное освещение зон монтажа, устанавливают емкости для сбора отходов, покрывают пол рабочими (обычно деревянными) панелями. Здесь важно учитывать, что высококвалифицированному специалисту по монтажу нецелесообразно заниматься такелажными работами. На предприятиях с большой программой выпуска эту работу поручают специальной такелажной бригаде, которая выполняет подготовку в нерабочее время или между сменами. По условиям охраны труда и техники безопасности на монтаже можно работать только с источниками тока низкого напряжения. Это имеет особо важное значение при выполнении монтажных работ внутри конструкции в связи с ограниченным пространством, небольшим фронтом работ.

Объем монтажных работ зависит от типа авиационной конструкции, объема демонтажных работ и проведенных конструктивных доработок. Не всегда при монтаже необходимо установить, смонтировать те же детали, агрегаты и узлы, что были сняты с самолета или вертолета. В процессе ремонта некоторые агрегаты, детали и узлы заменяют новыми, модифицированными, отличающимися часто не только по внутреннему конструктивному исполнению, но и по установочным геометрическим параметрам. В отдельных случаях могут изменяться присоединительные детали, устанавливаются новые узлы, изменяются требования технических условий на монтаж. Например, установка нового гидронасоса может повлечь за собой изменение длины гибких шлангов, отбортовка которых изменится, потребуется введение новых точек крепления, не предусмотренных серийными чертежами.

Часто требуется изменить трассу прокладки трубопроводов, если ранее обнаруживались неисправности. Это повлечет за собой изменение зазоров, введение новых точек крепления. Установка нового агрегата, прибора может потребовать доработку посадочных мест или рядом расположенных конструктивных элементов. Введение не предусмотренных серийными чертежами разъемов трубопроводов, ремонтных накладок потребует введения новых точек контроля герметичности.

Монтаж каждого экземпляра может отличаться в связи с серийными изменениями конструкции. Учитывая, что в конструкции применяются нежесткие детали, всегда выполняют некоторое количество подгоночных работ. Так что технологические процессы монтажа, как правило, не идентичны для каждого самолета или вертолета.

Монтаж самолетов и вертолетов имеет такие особенности: высокая плотность монтируемых элементов конструкции в ограниченном пространстве; большое число устанавливаемых деталей, узлов и агрегатов; различие в их способах крепления и присоединения; недостаточная технологичность, затрудняющая механизацию и автоматизацию технологического процесса монтажа и вызывающая применение большого количества ручного труда; частая смена объекта монтажа вследствие серийных модификаций и изменения типа авиационной техники.

Рассмотрим основные условия, соблюдение которых при выполнении монтажных работ обязательно.

1. Перед началом установки агрегата, детали или узла непременно осуществляется входной контроль путем внешнего осмотра. При этом проверяется отсутствие механических повреждений, целостность стопорения, соответствие типа монтируемого элемента конструкции чертежу. Такой контроль исключает установку элемента, получившего повреждения в процессе хранения, транспортировки и комплектования. Проверяется также качество консервации, удаление консервирующей смазки, а также материалов, применявшихся для глушения отверстий.

Уже упоминалось, что все трубопроводы глушатся специальными заглушками. Очевидно, что при монтаже заглушки снимаются. Однако здесь непременно должно соблюдаться одно важное правило: заглушку допускается снимать только перед соединением с ответной деталью. Совершенно недопустимо даже на короткое время оставить трубопровод незаглушенным, поскольку при этом не исключается попадание посторонних предметов.

2. Монтаж не должен приводить к появлению дополнительных (монтажных) напряжений. Рассмотрим некоторые возможные деформации трубопроводов при неточности монтажа (рис. 7.1). Деформация трубопровода при несоосности показана на этом рисунке по типу а, перекос осей приведет к деформации типа б, перекос торцов в месте соединения приведет к деформации по типу в. Такие напряжения

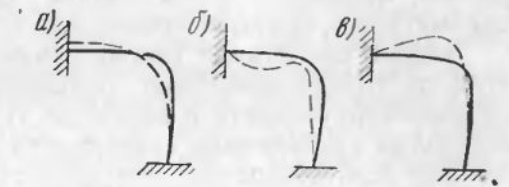


Рис. 7.1. Возможные деформации трубопроводов при нарушении условий монтажа

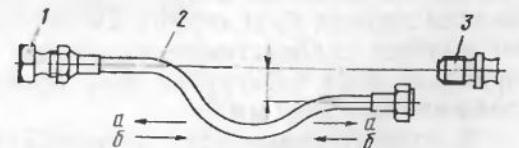


Рис. 7.2. Подгибка трубопровода при монтаже

могут возникнуть при соединении деталей в случаях перекоса, несоосности, перетяжки, плохого прилегания базовых поверхностей. Допустимый перекос (угловая неточность), несоосность (линейная неточность) оговариваются в технологиях ремонта для определенного типа соединений.

Рассмотрим конкретный пример (рис. 7.2). Пусть необходимо соединить штуцера 1 и 3 трубопроводом 2. Закрепляя накладной гайкой трубопровод у штуцера 1, определяем размер C у штуцера 3. Если этот размер будет больше допускового, трубопровод придется подгибать, возникнут дополнительные напряжения на другом конце. Подгибка трубопровода по стрелкам *a* вызовет растяжение в сжатой зоне, образовавшейся при изготовлении, и сжатие в растянутой зоне. Этот способ подгибки не вызовет увеличения напряжений в стенках трубопровода. Подгибка по стрелкам *б* увеличит напряжения сжатия и растяжения в стенках трубопровода. Поэтому такой способ монтажа недопустим. Аналогичное положение возникает, если оси штуцера 3 и трубопровода 2 будут расположены под значительным углом. Монтажные напряжения могут привести к возникновению их концентрации и снижению предела выносливости. Аналогичное положение может возникнуть при прокладке тяг управления, соединения кронштейнов, фитингов.

Перетяжка опасна тем, что в соединении возникнут дополнительные неравномерные напряжения. В месте перетяжки появятся нерасчетные удельные давления, отдельные сечения соединяемых деталей окажутся перегруженными, их надежность снизится. Технология ремонта для некоторых соединений устанавливает определенные моменты затяжки. Однако во многих случаях соединение выполняется с помощью нормализованного инструмента, и здесь затяжку нужно выполнять с осторожностью, прилагая нормальные усилия одной руки. Вот почему при монтаже категорически запрещается применение удлинителей для ключей. Если ощутимый момент при затяжке очень велик, выясняют причину: повреждение резьбы, попадание в соединение загрязнений или постороннего предмета, деформации крепежных или соединяемых деталей и др.

Плохое прилегание базовых поверхностей опасно тем, что при этом не только возникают дополнительные напряжения, но и появляются несоосности и перекосы. На рис. 7.3 изображено положение, когда привалочные поверхности кронштейна 2 и базового уголка 1 по всей поверхности не прилегают. В таких случаях устанавливают выравнивающую прокладку 3. Если этого не сделать, болты в правой части крепления утянут кронштейн и появятся дополнительные изгибные напряжения. Однако размер клиновидной прокладки должен быть ограничен, поскольку значительное утолщение ее вызовет недопустимое удлинение крепежных болтов, которое приведет к их перегрузке. Как правило, утолщенная часть клина должна быть 2—3 мм.

В ответственных соединениях, где прилегание имеет большое значение для передачи усилий, проверяют площадь прилегания по краске. Рассмотрим это на примере соединения, приведенного на

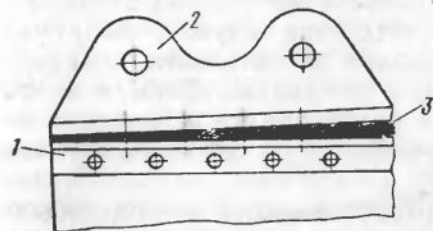


Рис. 7.3. Установка клиновидной прокладки для соблюдения базовых размеров

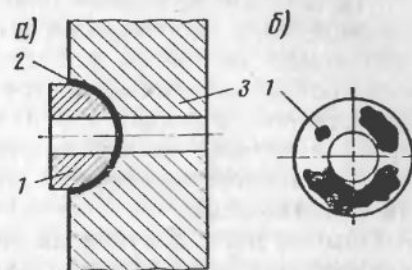


Рис. 7.4. Проверка по краске прилегания шаровой шайбы

рис. 7.4, *a*. Здесь стягивающее усилие передается фитингу 3 сферической шайбой 1. Если площадь прилегания 2 будет недостаточной, на ее отдельных участках возникнут большие удельные давления, что вызовет концентрацию напряжений и снизит предел выносливости. Один из возможных вариантов распределения площади прилегания показан на рис. 7.5, *б*. На участке 1, имеющем сравнительно малую площадь, удельное давление будет высоким. Поэтому такое малое пятно прилегания недопустимо. Увеличения площади прилегания добиваются с помощью притирки.

Прилегание в соединении трубопроводов обеспечивается, в первую очередь, соблюдением заданной геометрической формы. На рис. 7.5 показан случай, когда углы развальцовки трубопровода и конуса штуцера не совпадают. В случаях *a* и *б* под давлением стягивающих усилий T возникнут на малом участке силы N , приводящие к увеличению удельного давления, местным пластическим деформациям, нарушению герметичности соединений.

3. Авиационные конструкции являются достаточно гибкими, что отмечалось ранее. Крыло, фюзеляж, хвостовое оперение в полете перемещаются в пределах упругости. Кроме того, в различных частях конструкции возникают вибрационные перемещения. Все это вызывает необходимость обращать серьезное внимание на зазоры между элементами конструкции. Между подвижными и неподвижными элементами зазоры могут быть разными. Однако всегда допускаемые зазоры устанавливаются с учетом подвижности конструктивных элементов. Зазоры между подвижными и неподвижными деталями должны быть больше, чем между неподвижными. Это очевидно, так как неподвижные детали будут иметь меньшие относительные перемещения.

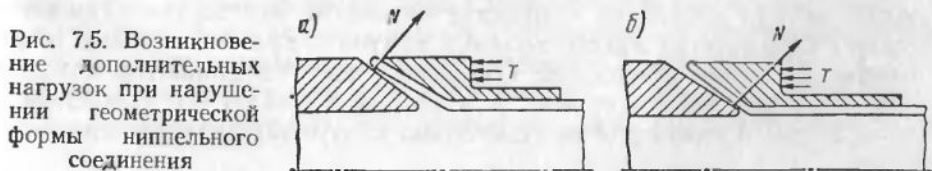


Рис. 7.5. Возникновение дополнительных нагрузок при нарушении геометрической формы ниппельного соединения

Малые зазоры весьма опасны, поскольку могут привести к непредвиденным, неконтролируемым потерностям и даже заеданиям подвижных элементов конструкции. Нередки случаи, например, потертостей неподвижных трубопроводов об элементы конструкции планера, которые возникают при вибрациях. Термин «неподвижная деталь» не всегда отвечает фактическому положению дела. Он означает только, что конструкторами такая деталь создана, как неподвижная.

Обычно поле допуска на зазор рассчитывают с учетом гибкого перемещения конструкции, например упругих колебаний крыла. Если на его лонжероне имеется жесткая проводка управления, малые зазоры могут не обеспечить свободного хода тяг и возможно заедание. С другой стороны, большие зазоры приведут к свободным колебаниям тяг, могут возникнуть механические повреждения. На этом примере видно, что в каждом конкретном случае допуск на зазоры может быть индивидуальным.

Учитывая неполную взаимозаменяемость по внутренним монтажам, выполнение различных видов ремонтных работ, проведение конструктивных доработок, модификацию конструкции, осуществляемые в процессе ремонта, на каждом ремонтируемом экземпляре самолета или вертолета необходимо строго контролировать зазоры. Необходимых зазоров добиваются перетрассировкой трубопроводов, выпилкой (если это допустимо по условиям прочности) элемента конструкции планера, перестановкой кронштейнов и другими способами. В отдельных случаях, когда невозможно изменить монтажные размеры, вводят дополнительную отбортовку и вставляют в зазор прокладку из какого-либо мягкого материала (например, резины). Такой способ может быть применен только для обеспечения зазора между неподвижными элементами.

4. Планер современного самолета или вертолета по электрической схеме должен представлять собой единую систему. Электроизоляция отдельных частей (тяг, трубопроводов, люков, дверей и т. п.) может вызвать наводку в них самостоятельных магнитных полей, приводящих к помехам в работе радио- и электроприборного оборудования. Поэтому имеет большое значение металлизация. Это означает, что должно быть обеспечено надежное электрическое соединение всех металлических конструкций. Достигается такой контакт установкой гибких перемычек металлизации подвижных деталей или прокладкой металлизующих лент в неподвижных соединениях системы. Например, участок трубопровода, помещающийся под любой резиновой прокладкой, зачищается до металлического блеска в этом месте, прокладывается тонкая лента из алюминиевого сплава, что обеспечивает надежный электрический контакт. Лента соединяется с хомутом или колодкой и через крепежные детали создается контакт с планером. Места зачистки покрывают бесцветным лаком, головки винтов — красной эмалью для обозначения места крепления. Отдельные тяги соединяются между собой гибкими перемычками, и затем вся трасса — с планером. При монтаже в связи с этим тщательно контролируют качество ме-

таллизации на всех участках монтажа: при установке кронштейнов, фитингов, трубопроводов, тяг и других элементов конструкции.

5. Заправляемые в системы жидкости и газы, а также применяемые смазки должны строго соответствовать требованиям ГОСТов. Отступления здесь недопустимы, так как загрязнения, несоответствие по составу не только снижают надежность системы, но и могут прямо угрожать жизни человека, например в кислородной системе. Загрязнение гидрожидкости может привести к отказу агрегатов, несоответствие смазки приведет к заеданию. Перед заправкой проверяют техническую документацию поставщика и паспорт входного контроля.

Пользоваться сосудами высокого давления (например, баллонами сжатого воздуха, азота, нейтрального газа и т. п.) можно только в пределах сроков, установленных Госгортехнадзором. Заправочные средства должны иметь паспорта с соответствующими отметками о проверках и сроках годности. На все виды заправок имеются инструкции, отражающие особенности работы с теми или иными заправляемыми газами и жидкостями.

6. Применяемые в монтаже силовые крепежные детали не могут быть обезличены, ибо их назначенный ресурс соответствует назначенному ресурсу планера, переработка здесь недопустима. В связи с этим болты, гайки, шайбы должны устанавливаться только при наличии соответствующих документов (например, маршрутных карт дефектации и ремонта). Их подают на монтаж в скомплектованном виде для конкретного экземпляра самолета или вертолета.

7. Надежность любого вида резьбового соединения не обеспечивается без стопорения, поскольку под действием колебаний температуры, вибраций, статических и знакопеременных нагрузок затяжка соединения с течением времени может ослабляться. Это происходит вследствие деформирования микронеровностей, уплотнения контактирующих поверхностей в резьбовом соединении. Существуют различные виды стопорения: кернением, шплинтами, штифтами, проволокой, с помощью стопорных шайб, пластин, прорезных и корончатых гаек. Все стопорные детали применяются только один раз. При вторичном употреблении могут возникнуть невидимые глазом трещины и стопорение окажется ненадежным. Строгий контроль качества стопорения — непременное условие надежности резьбового соединения. Применение непредусмотренного конструктором типа стопорения, его самовольная замена, крайне опасны, ибо могут привести к ослаблению соединения.

8. Монтаж крупногабаритных агрегатов (крыла и его частей, киля, стабилизатора, силовой установки) должен производиться при полной разгрузке от действия собственного веса. Если, например, стык отъемной части крыла монтировать без полной разгрузки, то первый же установленный в стыковое соединение болт окажется перегруженным, что вызовет износ отверстия и болта. Кроме того, без разгрузки точно совместить отверстия соединяемых агрегатов невозможно, ибо смещения под действием веса неиз-

бежны. Поэтому при полной разгрузке совмещают отверстия, устанавливают крепежные детали, производят затяжку, чтобы исключить влияние веса агрегата на отдельные крепежные детали. Только после этого разгружающие приспособления (кран-балки, подъемные краны, специальные транспортно-подъемные приспособления и т. п.) могут быть сняты.

9. Особое место во всем процессе монтажа занимает установка оборудования пассажирских кабин и отделка интерьера. Наиболее важное значение это имеет для пассажирских воздушных судов. Облицовочные панели, пассажирские кресла устанавливают на заключительном этапе монтажа. Окантовка, крепежные детали, павиоловые, ковровые ткани должны иметь хороший вид, соответствовать утвержденным эталонам расцветки, которые разработаны конструкторами и приняты в процессе эксплуатационных испытаний. Отступления здесь могут привести к ухудшению внешнего вида. Пассажир оценивает качество воздушного судна не только по скорости полета, но и по уюту и удобству интерьера, что является важным показателем качества ремонта.

С целью предохранения оборудования интерьера от повреждения при регулировках, устранении дефектов пассажирские кресла, столики салонов, ковры, покрывающие пол кабины, предохраняют от повреждений рабочими чехлами. При монтаже облицовок, окантовок, панелей следят за тем, чтобы недотяжка или перетяжка не испортили внешних ободов, не привели к появлению вмятин. Рабочий инструмент не должен привести к повреждению декоративных покрытий. Его заточка, чистота имеют в этом случае большое значение.

Заключительная отделка интерьера выполняется после окончания всех монтажных и испытательных работ бригадой специалистов, устраняющих механические повреждения лакокрасочных покрытий. Значительные повреждения тканей, покрытия (разрывы, пробоины), как правило, не ремонтируются. Детали с повреждениями заменяют. Если такая замена трудоемка, устранение дефектов производят частичной заменой покрытия. Местные наклейки, заплатки ухудшают внешний вид и, как правило, не должны применяться.

Поскольку самолеты нашей страны осуществляют международные перевозки, отделка интерьера должна соответствовать мировым стандартам, ибо она является первым свидетельством, первой внешней характеристикой качества ремонта.

10. В авиаремонтных и эксплуатационных предприятиях с четкой организацией труда и высокой культурой производства придадут большое значение сведению к минимуму попадания в конструкцию посторонних предметов. Выше описаны неприятные последствия этого явления. Основные мероприятия, направленные на его устранение: наличие сборников отходов, применение портативных пылесосов, установка предохранительных щитов, чехлов, периодическая промежуточная (в процессе монтажа) очистка зон монтажа, тщательный контроль чистоты конструкции, строгий учет и клей-

мение инструмента. Последнее мероприятие имеет особо важное значение, так как личное клеймо повышает ответственность рабочих всех специальностей за сохранность инструмента и позволяет легко обнаружить ответственное лицо за попадание в конструкцию инструмента.

Проверка работоспособности, регулировка и отработка систем. После окончания монтажных работ, контроля качества их выполнения приступают к определению работоспособности систем — проверке факта функционирования. В механических системах управления такая проверка осуществляется заданием движения командного рычага и контролем движения исполнительного органа. Например, двигая штурвал, следят за отклонением руля высоты. По согласованному движению педалей и руля направления судят о работоспособности системы его управления. При этом контроле проверяют легкость и плавность хода, отсутствие рывков, заеданий. В трубопроводных системах на этом этапе проверяют герметичность — основное свойство, обеспечивающее работоспособность. Допускаемые нормы утечек устанавливаются в зависимости от функционального назначения системы. Например, для топливной и гидрогазовой систем утечки не допускаются. Для системы кондиционирования могут быть установлены нормы на утечку.

Обычно такой контроль сводится к созданию в системе повышенного давления газа и к измерению давления в начале и конце установленного промежутка времени. Изменение первоначального значения давления свидетельствует о негерметичности системы. Создание давления и контроль его падения осуществляются с помощью простейших установок (стационарных или передвижных). В качестве газа для заполнения системы используют воздух, азот или его смесь с фреоном или гелием. При обнаружении негерметичности поиск неисправностей проводят с помощью мыльной пены или течеискателей. Работоспособность систем, управляемых электрооборудованием, проверяют только после окончания всего монтажа электропроводки и подачи электрического напряжения в общую систему.

После проверки работоспособности наступает этап регулировки и отработки систем. На этом этапе предварительно контролируют основные параметры. Окончательный контроль выполняют при наземных и летных испытаниях. На этом этапе контроль необходим для выполнения регулировочных работ (отработки). На рис. 7.6 показаны виды контролируемых параметров. Рассмотрим примеры проверки геометрических параметров.

На рис. 7.7 показаны схемы проверки зазоров управляющих поверхностей: рулей, элеронов. Зазоры здесь обозначены буквой δ . Соблюдение этих зазоров необходимо контролировать в связи с тем, что при упругих деформациях крыла, стабилизатора, киля зазоры меняются. Если они будут меньше допустимых, может произойти затирание, что вызовет опасность потери работоспособности системы управления.



Рис. 7.6. Классификация контролируемых параметров

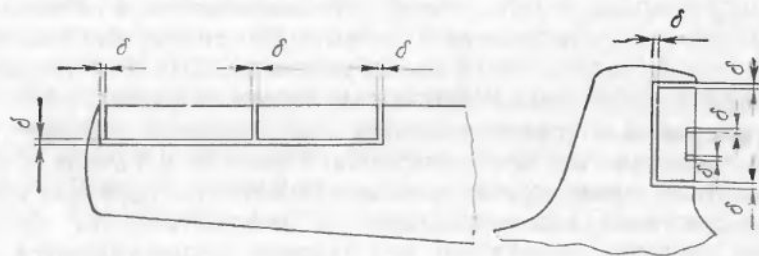


Рис. 7.7. Проверяемые зазоры при монтаже управляющих поверхностей

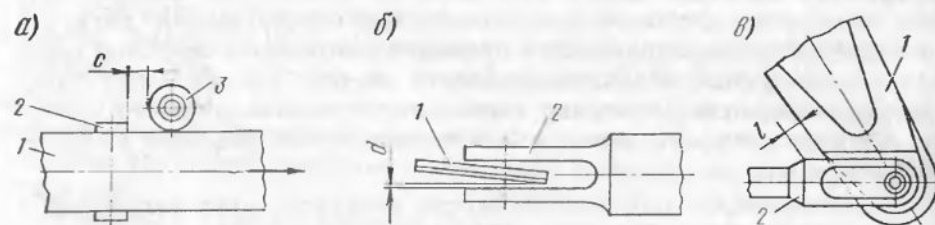


Рис. 7.8. Примеры контролируемых зазоров в системе управления

В системе управления проверяют также ряд зазоров, влияющих на надежность. На рис. 7.8 приведены примеры таких проверок. На рис. 7.8, а при движении тяги 1 по стрелке ролик 3 не должен доходить до заклепки 2 на размер c , в противном случае может произойти заедание, разрушение заклепки. На рис. 7.8, б зазор в крайнем повернутом положении проушины 1 относительно вилки 2 должен быть равен d . Если он будет меньше допустимого, произойдет контакт вилки и проушины, возникнут нерасчетные нагрузки, появится износ в месте контакта. На рис. 7.8, в зазор e между качалкой 1 и тягой 2 предотвратит соударение этих деталей. В зави-

симости от конкретной конструкции число контролируемых зазоров может меняться. Однако в любой системе зазоры должны обеспечивать свободу перемещения, отсутствие нежелательных контактирований, которые могут в процессе эксплуатации вызывать износ конструктивных элементов.

Физические параметры контролируют после окончания монтажа, при наземных испытаниях и в процессе летных испытаний. В настоящем подразделе рассмотрена проверка физических параметров после окончания монтажа. Герметичность гидрогазовых систем контролируют после заправки рабочей жидкости и создания рабочего давления в газовой полости. Чистоту емкостей проверяют по осадку на фильтрах промывочных установок, когда вся система смонтирована. Герметичность гермокабины после окончания монтажа проверяют по времени падения давления, которое устанавливается для каждого типа самолета или вертолета.

Контроль качества функционирования включает в себя различные операции (рис. 7.6). Время выполнения определенных функций (время уборки — выпуска шасси, закрылков, интерцепторов и т. п.) измеряют при функционировании систем: гидрогазовых, механических, электромеханических. С этой целью системы приводят в рабочее состояние от наземных энергетических установок. Например, к бортовым клапанам присоединяют шланги от наземной гидравлической установки, создающей заданное рабочее давление. При контроле физических параметров проверяют также ту часть геометрических параметров, которая может быть оценена в процессе движения агрегатов: шасси, закрылков, интерцепторов и т. п. Например, контролируют зазоры между движущимися агрегатами и неподвижными элементами конструкции. Время функционирования контролируют также на отдельных агрегатах типа заслонок (время открытия — закрытия) включением приводных устройств.

При контроле времени функционирования проверяют давление в системе не только по приборам наземной установки, но и по рабочим приборам систем. Силовые характеристики систем проверяют по заданным параметрам для конкретного типа самолета или вертолета. Например, проверяют усилие перемещения штурвальной колонки с помощью динамометра.

По усилиям перемещения кинематических элементов системы управления определяют усилия трения. Если в каком-либо узле усилие трения велико, это означает, что здесь имеется дефект: перекося, трение без смазки, отсутствие зазора, попадание постороннего предмета и т. п. На рис. 7.9 дана схема такой проверки. Динамометр 1 присоединяют к головке штурвальной колонки 2 и измеряют усилие по всей траектории перемещения от крайнего

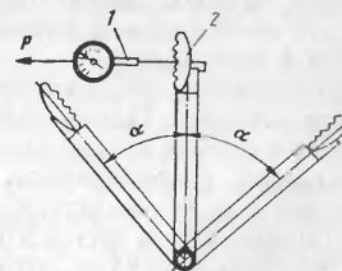


Рис. 7.9. Измерение усилий перемещения штурвальной колонки

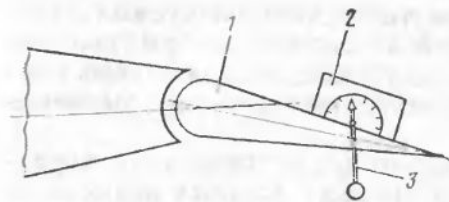


Рис. 7.10. Схема прибора для измерения углов отклонения управляющей поверхности

положения «на себя» до крайнего положения «от себя». При этом усилия не будут постоянными, так как в системе при угловых перемещениях качалок изменяются моменты сил. Конкретные значения усилий устанавливаются руководящими по ремонту и технологией. Усилия перемещения педалей управления рулем направления контролируют подобным же образом. В технологии ремонта оговаривается место подсоединения динамометра и его положение.

Перемещение элементов кинематических схем (например, рулей, элеронов, тяг, штоков и винтов подъемников) задается в линейных или угловых единицах измерения. Важным параметром являются углы отклонения управляющих поверхностей. Их измеряют с помощью оптических квадрантов или дистанционно, по прибору (рис. 7.10). На руль (элерон) 1 установлен прибор 2, закрепляемый струбциной. В приборе стрелка 3 с противовесом на оси располагается вертикально. При отклонении руля лимб прибора также отклонится, а стрелка, оставшись в вертикальном положении, покажет угол отклонения. Если лимб выполнить в виде намоточного потенциометра и подвести к нему электрический ток, движение стрелки преобразуется в электрический сигнал, который дистанционно регистрируется и может быть записан.

Контролируемые параметры на полностью смонтированном самолете (вертолете) до передачи на летно-испытательную станцию (ЛИС) оценивают с помощью специализированных стендов, управляемых оператором.

Автоматизация комплексных проверок. В передовых ремонтных предприятиях широко применяют автоматизированную обработку самолетных электроприборных систем. Так, комплект блоков пилотажно-навигационного комплекса конкретного самолета монтируется на полностью автоматизированной установке, управляемой ЭВМ. В нее заложена полетная программа, например заход на посадку. ЭВМ управляет системой по программе, в результате чего рулевые машины автопилота получают команду на отклонение того или иного органа управления. ЭВМ сравнивает результаты с нормой и дает оценку.

Применяется автоматическая прозвонка различных электрощитков, панелей. При необходимости в процессе отработки гидрозавозных и других систем выполнить некоторое число переключений (перекладка стабилизатора, подъем — выпуск шасси и др.) эти операции можно автоматизировать. Один из способов автоматизации с применением шагового искателя показан на рис. 7.11. Шаговый искатель управляет обработкой, включая и выключая испытательный стенд. При нажатии кнопки «пуск» произойдет соединение рычага шагового искателя 2 с одной из панелей 1. Сигнал по-

дает в электронный блок 3, от которого подается команда (например, на открытие крана) рабочему органу 4 и начинается цикл отработки. После выполнения цикла (например, уборки шасси) концевые выключатели 5 передадут сигнал в электронный блок. Цикл закончен. Реле времени электронного блока через определенный промежуток времени передвигает рычаг шагового искателя и шасси будут выпущены. Число циклов учитывается специальным счетчиком, и после выполнения заданной программы стенд автоматически отключается. В эту схему часто вводят датчики, измеряющие различные параметры: давление, температуру и др. Например, при недопустимом росте давления или температуры, стенд отключается, загорается табло: «давление велико», «температура велика». Если весь цикл отработки прошел без отклонений, загорится зеленая лампа — сигнал окончания испытаний.

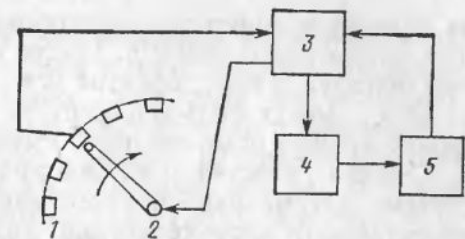


Рис. 7.11. Схема автоматизированного устройства для контроля параметров с помощью шагового искателя

Автоматизация комплексных проверок после окончания монтажных работ находит все большее применение. По мере появления новых типов самолетов и вертолетов, созданных с учетом эксплуатации и ремонта по техническому состоянию, такой контроль собранных бортовых систем станет основным. Применение монтажных панелей, крупных узлов позволит еще до окончания монтажа выполнить контрольные операции, значительно сократив объем монтажных работ. Встроенные диагностические устройства дадут возможность свести к минимуму объем демонтажных работ, а следовательно, и монтажных.

Автоматизация комплексных проверок — один из путей повышения качества ремонта, поскольку субъективные оценки оператора (отработчика) заменяются объективными показателями приборов. Одновременно автоматизация значительно повышает производительность труда при комплексных проверках.

Комплексный осмотр после окончания монтажа. Комплексный, одновременный для всей конструкции осмотр после окончания монтажа осуществляется группой специалистов ОТК. Эта работа выполняется после оформления соответствующего предъявления — карты, где имеются подписи мастеров ОТК всех групп. До окончания комплексного осмотра не закрываются проходные полы в кабинах, люки, лючки, некоторые перекрывные ленты, чтобы обеспечить доступ для осмотра бортовых систем, особенно — управления.

Задача комплексного осмотра — выявить все неточности и дефекты монтажа, наличие внесенных при монтаже повреждений, проверить чистоту и отсутствие посторонних предметов в конструкции. На некоторых предприятиях для повышения ответственности

за чистоту и отсутствие посторонних предметов вводят специальные карты предъявлений. После комплексного осмотра и устранения обнаруженных дефектов все люки, поля, лючки, ленты закрываются и могут быть вновь открыты только с разрешения руководителя группы комплексного осмотра.

Оценка качества монтажа при комплексном осмотре входит в систему автоматизированного управления качеством ремонта. Количественные характеристики, даваемые при этом, имеют решающее значение в оценке качества выполнения работ рабочими, участками, цехами и всем предприятием. Анализ обнаруживаемых при комплексном осмотре дефектов играет значительную роль в обратной связи комплексной системы управления качеством ремонта и служит основанием для разработки мероприятий по повышению качества ремонта.

7.2. НИВЕЛИРОВКА

Монтаж считается полностью окончательным, когда проведена нивелировка. *Нивелировкой* называется операция по определению геометрических параметров, характеризующих взаимное расположение частей самолета (вертолета). Например, крыла относительно фюзеляжа, правой части крыла относительно левой, шасси относительно фюзеляжа, хвостового оперения относительно киля, гондолы двигателей относительно фюзеляжа. Задача нивелировки — определить наличие недопустимых остаточных деформаций, правильность монтажа.

После выпуска изготовителем различные части самолета могут иметь приработочные отклонения нивелировочных точек в пределах, установленных разработчиком. Выход за эти пределы означает наличие недопустимых остаточных деформаций, которые могли возникнуть в результате грубой посадки, перегрузки в полете, удара о препятствие. Нивелировочные данные являются основанием в некоторых случаях для прекращения эксплуатации и списания самолета или вертолета. Иногда изменение параметров нивелировки не сопровождается видимыми на глаз деформациями фюзеляжа, крыла или хвостового оперения. Поэтому нивелировку производят также в процессе эксплуатации, при возникших подозрениях на недопустимые перегрузки. Иногда это делается по данным бортовой записывающей аппаратуры, регистрирующей перегрузки.

При стыковке съемных частей крыла, хвостового оперения, при навеске шасси за счет зазоров или выполнения ремонтных работ могут возникнуть отклонения нивелировочных точек. Двигатели часто навешиваются с помощью регулируемых тяг, что может привести к отклонению заданного положения, а следовательно, к изменению направления тяги. Для оценки влияния перечисленных факторов на геометрические параметры также проводится нивелировка.

Самолет нивелируют в полностью смонтированном виде с выпущенным шасси. Нивелировка крыла с неустановленным элероном, например, даст неверные данные, поскольку вес его влияет на провисание консоли. Такое же положение может возникнуть и на хвостовом оперении. Кроме того, самолет не должен быть заправлен топливом, если имеются кессоны-баки, так как исходные геометрические параметры определены для пустого самолета. В самолете не должны находиться люди, так как их вес и перемещение также вызовут отклонения при измерениях.

Нивелировка выполняется либо в ангаре, либо на открытой площадке. В первом случае получают более точные данные, поскольку отсутствует влияние ветра и солнечной радиации. Ветер, поднимая или опуская консоль крыла самолета или хвостовую балку вертолета, не дает возможности получить данные о геометрических параметрах с необходимой точностью. Влияние солнечной радиации сказывается при неравномерном нагреве различных частей самолета. Например, если одна консоль крыла нагрета, а вторая в тени, данные нивелировки будут искажены. У освещенной солнцем консоли нагреется верхняя поверхность, консоль провиснет. Это даст ощутимую асимметрию при измерениях.

Процесс нивелировки начинается с установки самолета в линию полета, для чего он поднимается на гидropодъемники до отрыва колес шасси. Непременным условием для нивелировки является наличие площадки с твердым покрытием, воспринимающим удельное давление не менее 0,5 МПа. В противном случае возможно погружение в грунт опор нивелируемого самолета и нивелира. Поэтому на открытом грунте точные нивелировочные данные получить невозможно.

Нивелировка выполняется по базовым точкам, называемым *реперными*. Их расположение обозначается красным цветом в виде точки. Координаты реперных точек придают к каждому самолету или вертолету. На рис. 7.12 показан вид самолета снизу и сбоку. Процесс нивелировки крыла, например, заключается в том, что сравнивают превышение точек L_{2-4} над L'_{2-4} и P_{2-4} над P'_{2-4} . Это дает характеристику угла установки крыла. По превышению

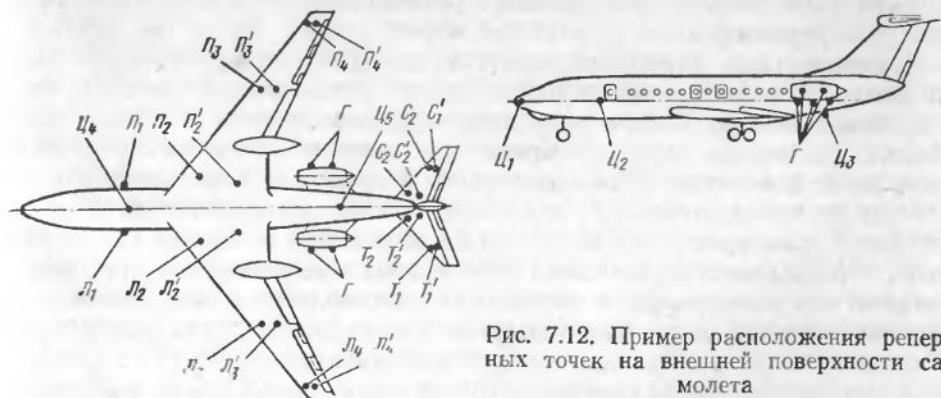


Рис. 7.12. Пример расположения реперных точек на внешней поверхности самолета



Рис. 7.13. Нивелировочная линейка

точек P_{2-4} и P'_{2-4} над точками L_{2-4} и L'_{2-4} соответственно можно судить о поперечном V крыла. Аналогично определяются угол установки и поперечное V стабилизатора по точкам C_{1-2} , C'_{1-2} и T_{1-2} , T'_{1-2} . Точки $Ц_{1-5}$ используются для установки самолета в линию полета — базовое положение, при котором начинается отсчет. Точки $П_1$ и $Л_1$ дают возможность установить самолет в горизонтальное положение относительно продольной оси фюзеляжа. Точки $Г$ служат для нивелировки гондол силовых установок.

Оборудование для нивелировки — нивелир и мерная линейка с отвесом. Нивелир — оптическое устройство для регистрации точки измерения с визирными линиями. Тубус нивелира имеет фиксирующую линзу для наводки резкости. Мерная линейка (рис. 7.13) обычно представляет собой трубу 3 с нанесенными делениями, которая снабжена отвесом 4 для установки ее в вертикальное положение. Отклонение линейки от вертикали исказит измеряемый размер. В верхней части линейки имеются упоры 2, фиксируемые на реперной точке. Обычно в этом месте ставят заклепку и засверливают головку, куда помещается острие упора. Тубус 1 нивелира наводят на линейку и фиксируют размер по визирной линии. Нивелир устанавливается на треноге в горизонтальном положении, что определяется по устройству у основания трубы. В настоящее время выпускаются нивелиры, у которых горизонтальное положение устанавливается автоматически. Расстояние от нивелира до линейки должно быть таким, чтобы через него можно было наблюдать линейку, устанавливаемую в разных точках конструкции.

Нивелировка вертолета имеет некоторые особенности: ее выполняют без лопастей несущего винта, с хвостовым винтом, без топлива и масла. У вертолета нивелируются хвостовые и концевые балки, установки главного промежуточного и хвостового редукторов, шасси, а также отдельные части фюзеляжа. Вертолеты также имеют реперные точки, по положению которых судят о геометрических характеристиках взаимного расположения частей конструкции. Правильность установки редукторов проверяется с помощью оптических квадрантов в продольном и поперечном направлениях. Таким образом, например, измеряют угол наклона вала редуктора. В отдельных случаях (например, при нивелировке шасси вертолета) расстояния между реперными точками могут быть измерены

с помощью отвесов. Их опускают из каждой реперной точки, фиксируют их положение (например, на листе фанеры) и измеряют расстояние между ними.

Каждый тип самолета или вертолета имеет допустимые пределы относительного расположения реперных точек. В этих пределах нивелировочные данные каждого экземпляра могут отличаться друг от друга. По нивелировочным данным полной взаимозаменяемости практически добиться невозможно. Поэтому на борту каждого воздушного судна хранится нивелировочный паспорт, куда занесены данные, полученные заводом-изготовителем.

Данные, полученные в процессе эксплуатации или ремонта, заносят в нивелировочную карту, которая прикладывается к нивелировочному паспорту и хранится в течение всего назначенного ресурса воздушного судна.

7.3. ВЗВЕШИВАНИЕ

Вследствие отсутствия полной взаимозаменяемости самолетов и вертолетов не только между сериями, но и внутри серии каждый экземпляр заводом-изготовителем выпускается с индивидуальным значением сухой массы (пустой конструкции). Пустым самолет или вертолет называют в том случае, когда он полностью снаряжен, но жидкостные системы не заправлены. Перечень снаряжения устанавливается инструкцией по эксплуатации. Сюда могут входить складные лестницы, ковры и занавески, комплекты запасных радиоламп и предохранителей, оборудование аварийного покидания, оборудование буфетов (кофеварки, электроплитки), кислородные маски со шлангами и другое оборудование.

В процессе эксплуатации конструкция становится тяжелее. Масса ее возрастает за счет накопления загрязнений (особенно при плохом уходе), подкрасок и выполнения других ремонтных работ при техническом обслуживании. Масса также увеличивается за счет проведения доработок конструкции по бюллетеням промышленности, установки более тяжелых модифицированных агрегатов.

Известно, что каждый тип воздушного судна имеет строго ограниченные значения взлетной и посадочной массы, которая складывается из: сухой массы, массы топлива и коммерческой загрузки. Таким образом, чем больше масса конструкции, тем меньше коммерческая загрузка, тем ниже, следовательно, эффективность, ниже прибыль от перевозок пассажиров и груза. В авиации борьба за экономию массы — одна из важнейших задач.

Однако недостаточно знать массу, необходимо еще вычислить ее распределение по всему объекту, которое определяет положение центра тяжести — *центровку*. Для самолетов центровка определяется в процентах от средней аэродинамической хорды (САХ). Для каждого типа самолета или вертолета устанавливаются пределы изменения центровок: допустимые передняя и задняя. Выход значения центровки из установленных пределов может привести к ухудшению устойчивости и управляемости, затруднениям в управ-

лении. Вся система управления рассчитана на создание с помощью управляющих поверхностей силовых моментов вокруг центра тяжести, которые будут изменяться при его перемещении. Таким образом, контроль за значением массы и положением центра тяжести — необходимые операции, имеющие принципиальное значение для обеспечения безопасности полетов.

При ремонте самолетов и вертолетов масса конструкции увеличивается за счет модификаций, проведения доработок, выполнения ремонтных работ (ремонтные болты, накладки, усиления и т. п.) за счет подкраски. Внутренняя поверхность конструкции имеет настолько сложную форму, что часто полностью удалить лакокрасочное покрытие не удается и наносится дополнительный слой покрытия. Практика показала, что масса самолета, например, за весь период назначенного ресурса увеличивается на величину, измеряемую сотнями килограмм, а центровка перемещается вперед или назад до 1,0—1,5% САХ. Встречаются случаи, когда для введения центровки в установленные пределы устанавливают балластный груз.

Взвешивание производится на весах различного типа: рычажных, тензометрических, специальных динамометрических и др. Процесс взвешивания состоит из подготовки, установки на весах, расчета массы и центровки. Взвешивание может производиться в закрытом помещении или на открытой площадке. На открытой площадке можно выполнить эту работу только при отсутствии сильного ветра, особенно его порывов, и атмосферных осадков, которые могут значительно исказить истинное значение массы. Поэтому для взвешивания каждого типа самолета и вертолета техническими условиями устанавливается допустимая при этом скорость ветра. Например, для легких вертолетов разрешается взвешивание при скорости ветра не более 1,5 м/с, для средних магистральных самолетов — до 3 м/с.

Перед началом каждой операции взвешивания проверяют документацию на весы — паспорт с указанием срока годности, которое

делается представителями Государственного комитета СССР по стандартам. Каждый тип весов имеет допуск на измерительную ошибку, которая зависит от типа и конструкции весов. Весы перед началом работы устанавливают в нулевое положение. Установленный на весы самолет (вертолет) должен быть отnivelирован в горизонтальное положение, которое определяется по реперным точкам. Если применяются рычажные весы, т. е.

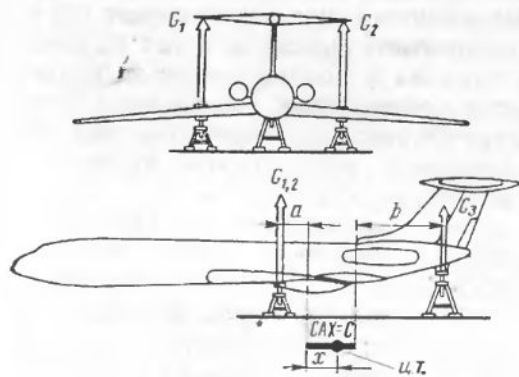


Рис. 7.14. Схема к расчету расположения центра тяжести самолета

три платформы под каждую опору шасси, регулировка горизонтального положения производится стравливанием газа из амортизационных стоек шасси.

На специальных динамометрических весах регулировку выполняют гидравлическими подъемниками. На примере применения этого типа весов рассмотрим расчет центровки. После установки на подъемники самолет вывешивают и снимают показания индикаторов. Общая масса определяется как сумма реакций трех опор (рис. 7.14):

$$G_{\text{общ}} = G_1 + G_2 + G_3.$$

Обозначим величину САХ через C . Положение центра тяжести (ц. т.) определяется из условия равновесия моментов реакций опор. Это условие запишем в виде уравнения

$$(G_1 + G_2)(a + x) = G_3[b + (c - x)],$$

Заметим, что величины a и b известны из конструктивных размеров самолета. При необходимости они могут быть уточнены по реперным точкам, из которых опускают отвесы и по расстоянию между ними определяют либо сразу положение САХ, либо базовую линию, например ось лонжерона, от которой затем отсчитывают по теоретическому чертежу начало САХ.

Проведем несложные преобразования последнего уравнения и решим его, определив неизвестное x :

$$x = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{G_3(b + c) - (G_1 + G_2)} = \frac{G_{\text{общ}}}{G_3(b + c) - (G_1 + G_2)}.$$

Значение положения центра тяжести в процентах от САХ

$$x_0 = (x/c) 100\%.$$

Результаты взвешивания заносят в протокол установленной формы. В практике встречаются случаи, когда самолет не полностью экипирован или когда в нем установлено не предусмотренное перечнем снаряжение, дополнительное оборудование (например, в самолетах специального назначения). При этих условиях для каждого отсутствующего или излишнего груза определяют координату, т. е. свое значение расстояний до начала или конца САХ. После этого вычисляют моменты. Если груз излишний, знак момента будет положительным, если груза недостает, знак момента будет отрицательным.

7.4. НАЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Наземные испытания производятся на ЛИС после окончания комплексного осмотра с устранением всех дефектов и оформления установленной формы карты предъявления.

Персонал ЛИС — группа специально подготовленных высококвалифицированных специалистов — выполняет работы по техно-

логии наземных испытаний, составленной на основе технических условий на данный тип самолета или вертолета. Задача наземных испытаний: проверить качество ремонта и оценить работу всех бортовых систем с необходимой регулировкой параметров для доведения их значений до требуемых техническими условиями. Наземные испытания делятся на две части: предварительную и основную. Предварительная проводится до запуска двигателей, основная — при работающих двигателях.

Персонал ЛИС до начала испытаний проводит полный осмотр монтажей бортовых систем, планера, шасси, АиРЭО. С этой целью открываются люки, лючки, некоторые панели и полы. После осмотра и устранения обнаруженных неисправностей, приступают к выполнению программы наземных испытаний. Рассмотрим несколько примеров.

По шасси проверяют давление в амортизационных стойках и шинах колес, при запрошенной гидросистеме от стенда производят контрольную уборку — выпуск с регистрацией показаний манометров и времени выполнения этой работы, проверяют сигнализацию убранного и выпущенного положений, давление в тормозной системе.

По гидравлической системе проверяют заправку с определением чистоты рабочей жидкости путем отбора проб. Если чистота не соответствует техническим условиям, рабочую жидкость полностью заменяют.

По управлению самолетом и двигателями проверяют работоспособность всех систем, определяют время функционирования (время уборки — выпуска закрылков, интерцепторов и т. п.) с регистрацией показаний приборов и систем сигнализации. Эти работы выполняются дважды — от наземного энергоисточника и от бортового, при работающих двигателях.

По топливной системе проверяют соответствие показаний бортовых указателей наличия топлива фактическим данным, полученным от наземных заправщиков, оценивают работу насосов и кранов, сигнализацию минимального остатка топлива и другие параметры. При наземных испытаниях полностью заправляют топливную систему и проверяют наличие течей или отпотевания.

По силовым установкам проверяют систему управления двигателями, производят их запуск с проверкой пусковой аппаратуры (при автоматизации запуска оценивают время запуска и выхода двигателей на режим), фиксируют все параметры работы двигателей (частоту вращения, температуру и др.). Если устанавливаются новые двигатели, их расконсервируют по соответствующим инструкциям. Проверка всех систем при работающих двигателях имеет важное значение, так как при этом выявляются взаимные влияния систем. Это очень важно для радиоэлектронного, радиолокационного оборудования, где могут возникнуть электромагнитные помехи.

По остальным бортовым системам проверяют работу регулирующей аппаратуры и агрегатов, фиксируют время функциониро-

вания и другие параметры. По АиРЭО проверяют работоспособность, отсутствие помех, качество приема и передачи сигналов и т. п.

В процессе наземных испытаний может потребоваться регулировка давлений, напряжения тока, расходов, времени срабатывания и других параметров. После регулировки и контроля ее качества работниками ОТК производят промывку и очистку всех зон, где проводились работы, закрывают все люки, лючки, панели, устанавливают полы. После этого оформляют весь комплект ПКД по наземным испытаниям. И только после этого самолет считается готовым к летным испытаниям.

Качество выполнения наземных испытаний имеет решающее значение для обеспечения безопасности испытательных полетов и надежности всего дальнейшего периода эксплуатации в течение установленных ресурсов. Наземные испытания — последний этап непосредственного выполнения ремонтных работ на конструкции. В дальнейшем проводятся только регламентные работы. Отсюда следует, что наземные испытания в системе управления качеством ремонта должны занимать ведущее место. При наземных испытаниях могут быть обнаружены дефекты, пропущенные на предыдущих этапах. Такие случаи должны расцениваться, как недопустимые, требующие специальных, срочных мер для предотвращения их появления впредь.

Важнейшим мероприятием по повышению качества наземных испытаний и отработок является автоматизация их на основе применения техники с программным управлением. Это могут быть универсальные или специализированные стенды, автоматизированные приставки. В авиационной промышленности эта техника внедряется все более широко.

7.5. ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Летные испытания — заключительный этап ремонта самолета или вертолета. На этой стадии определяется окончательная оценка качества ремонта и дается заключение о возможности дальнейшей эксплуатации отремонтированного самолета или вертолета.

Летные испытания выполняют летчики-испытатели, штурманы-испытатели, бортиженеры-испытатели, бортрадисты-испытатели. Работа испытателей в значительной мере отличается от работы обычного летчика, выполняющего рейсовые полеты. Испытатели не просто взлетают, а в этот момент оценивают работу систем, отмечают в протоколах испытаний необходимые параметры, меняют режимы полета с целью их определения и уточнения. В течение всего полета оценки даются непрерывно, принимаются решения о тех или других действиях в процессе испытательной работы, фиксируется время выполнения каждой операции по программе испытаний. При этом в любой момент экипаж испытателей должен быть готов к действиям в особых условиях. Учитывая сложность

полетов и необходимость специфических знаний и навыков, испытатели проходят специальную подготовку, где им присваивается соответствующая квалификация. Правильно считают, что в руках испытателей находится судьба всего ремонтного предприятия. Работа испытателя в авиаремонтном предприятии подобна такой же работе при серийном выпуске самолетов и вертолетов на заводах авиационной промышленности.

Экипаж может приступить к выполнению программы летных испытаний только при утверждении соответствующими руководителями задания на полет.

Вся летно-испытательная работа регламентируется «Воздушным кодексом СССР», «Наставлением по производству полетов», «Наставлением по штурманской службе», «Основными правилами полетов над территорией СССР», «Наставлением по технической эксплуатации воздушных судов». Специфика выполнения испытательных полетов отражена в «Инструкции по организации испытаний воздушных судов в ремонтных предприятиях», «Руководстве по производству испытательных полетов» и других документах.

Работа по наземным и летным испытаниям строится на основе соответствующих программ, согласованных и утвержденных научными организациями и руководящими органами. Программы — это укрупненный перечень работ, выполняемых при испытаниях. Технологический процесс описан в соответствующих технологиях ремонта.

Летные испытания начинаются с осмотра командиром корабля и другими членами экипажа испытателей воздушного судна, который проводится по определенному маршруту. Затем проверяется работоспособность системы управления, запускаются двигатели, проверяется АиРЭО и начинаются непосредственные летные испытания. Перед началом полетов производится девиация — внесение поправок на магнитные отклонения в навигационных приборах. Затем выполняется руление самолетом для проверки эффективности работы тормозов. При этом траекторию движения, как правило, выбирают не прямолинейно, а с поворотами для более всесторонней проверки. После этого приступают к выполнению испытательных полетов. Самолет или вертолет загружают в соответствии с графиком загрузки, располагая груз так, чтобы это соответствовало рабочим условиям эксплуатации. Испытательные полеты разрешают только в дневное время и при хорошем состоянии погоды. Это позволяет обеспечить безопасность полета и посадки при необходимости срочного прекращения испытаний.

Число испытательных полетов предусматривается программой летных испытаний и определяется сложностью бортового оборудования, временем, потребным на выполнение программы, возможностями наземного обеспечения, полнотой и качеством выполнения наземного обеспечения, полнотой и качеством выполнения наземных испытаний.

Поскольку современные самолеты и вертолеты снабжаются сложнейшим оборудованием, обеспечивающим контроль и управле-

ние полетом по всем параметрам, автоматизацию захода на посадку при наихудших погодных условиях и решение других сложных задач, число проверяемых параметров и время на их контроль могут оказаться настолько велики, что в одном полете эту работу выполнить невозможно. При этом следует учесть работу по проверке бортовых систем: управления, топливной, гидравлической, кондиционирования, антиобледенения и т. п. Оборудование может требовать соответствующей работы с наземными станциями, которых в месте проведения летных испытаний нет. Качество и полнота наземных испытаний с регулировкой оборудования оказывают существенное влияние на время проведения летных испытаний. Если авиаремонтное предприятие имеет соответствующие имитаторы и испытания функциональных систем АиРЭО выполняются комплексно в условиях, близких к натурным, время летных испытаний будет существенно сокращено. Если при ремонте были установлены новые или модификационные системы, а также если до ремонта самолет или вертолет имел значительные повреждения, программа полета дополняется и его время увеличивается.

Если качество наземных испытаний было низким, не выявлены были существенные дефекты, которые проявились в воздухе, испытательный полет может быть прекращен и затем назначен вновь. При этом программа испытаний полностью выполняется уже в другом полете.

В период освоения, как это принято в авиационной промышленности, для самолетов назначают три испытательных полета. В первом кратковременном полете проверяют работоспособность систем, затем после осмотра выполняют основной испытательный полет по программе и после этого — третий для проверки всего АиРЭО. Часто первый и второй полеты совмещают, причем решение о таком совмещении принимает в воздухе командир корабля — старший летчик-испытатель. Если в первой части испытаний замечаний не было, полет продолжается по основной программе.

Рассмотрим на примерах задачи летных испытаний. На рис. 7.15 изображен график совмещенного испытательного полета среднего магистрального самолета с двумя газотурбинными двигателями. На рулении к исполнительному старту проверяют работу основного и аварийного торможения. На взлете до точки 1 проверяют устойчивость и управляемость самолета при выпущенных шасси, закрылках, сигнализацию работы шасси. Затем контролируют работоспособность энергетических систем постоянного и переменного тока, проверяют устойчивость и управляемость

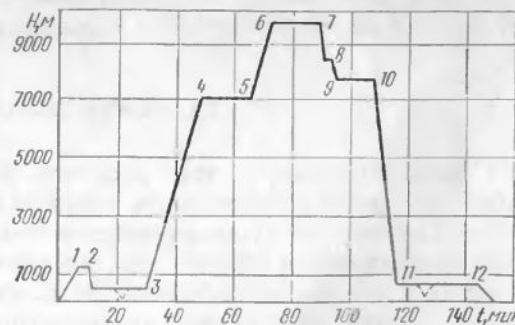


Рис. 7.15. Профиль испытательного полета самолета

с убранный и выпущенной механизацией, работу радиовысотометров, бортовой записывающей аппаратуры, радиоконпасов, связной и командной радиоаппаратуры всех пилотажно-навигационных приборов.

После точки 2 производят снижение до уровня круга (400—600 м), имитацию посадки (показано штриховой линией) с выпуском механизации. Если при этом никаких отклонений от технических условий нет, от точки 3 до точки 4 производят набор высоты до 7000 м. В наборе высоты до 7000 м (точка 4) проверяют скороподъемность, устойчивость и управляемость, контролируют работу двигателей на номинальном режиме. В горизонтальном полете на участке 4—5 проверяют по всем параметрам работу автопилота, систему кондиционирования и другие системы. После этого производят набор высоты до 10 000 м (участок 6—7), где самолет разгоняется до максимальной скорости (в пределах максимально допустимого числа М). При этом контролируют устойчивость и управляемость самолета, систему управления, системы АиРЭО, оценивают работу двигателей. Затем производят снижение (точки 7—10), на этом режиме проверяют работу двигателей. При этом поочередно каждый из двигателей выключают и контролируют высотный запуск. Проверяют поведение самолета с одним выключенным двигателем. После снижения (точки 10—11) на участке горизонтального полета (точки 11—12) оценивают систему регулирования давления в кабинах, производят уборку и выпуск шасси от основной, а затем от аварийной системы, проверяют систему вентиляции на малых высотах. Система обеспечения давления в кабине должна обеспечить до высоты 6000 м нулевое отклонение от давления на уровне земли. Температура в кабине поддерживается на уровне 20—25°C.

Выше перечислены укрупненно основные работы, выполняемые при испытательном полете. Подробно действия членов экипажа испытателей описаны в соответствующих инструкциях. Если не требуется второй испытательный полет, на этом летные испытания заканчиваются. После окончания каждого полета производят послеполетное техническое обслуживание, устраняют обнаруженные неисправности. После окончательного комплексного осмотра самолет готов к сдаче заказчику.

7.6. СДАЧА ЗАКАЗЧИКУ

Сдача заказчику — этап ремонта, на котором непосредственных работ на отремонтированном самолете или вертолете не производится. Однако по существующему положению время сдачи заказчику включается в общий срок простоя при ремонте. Поэтому правильная и четкая организация этой работы влияет на сокращение общего срока пребывания отремонтированного воздушного судна на земле, что увеличивает эффективность его эксплуатации.

Заказчик прибывает на авиаремонтное предприятие по спе-

циальному вызову. Сроки приемки оговариваются специальными руководящими документами вышестоящих организаций. Обычно заказчик направляет для приемки рабочий экипаж, который вначале проверяет документацию:

удостоверение воздушного судна, где указаны бортовой и заводской номера и другие данные регистрации в Госавиарегистре (государственной организации, регистрирующей все воздушные суда, принадлежащие СССР);

формуляр самолета, в котором указываются установленные ресурсы, дата выпуска и учитываются каждый полет, все виды проведенных работ, включая регламентное обслуживание, ремонт, выполненные доработки конструкции по бюллетеням промышленности, номера установленных агрегатов;

паспорта и аттестаты на агрегаты с отметкой о проведенном ремонте;

формуляры авиадвигателей, в которых указываются ресурсы, дата выпуска и учитываются наработка в воздухе и на земле, выполненные доработки конструкции, виды технического обслуживания, номера установленных агрегатов, ремонтные работы;

альбом силовых элементов, в котором в эскизной форме записываются все ремонтные работы, выполненные на силовых элементах — обшивке, лонжеронах, нервюрах, шпангоутах и т. п.;

нивелировочный паспорт с приложением карты нивелировки после последнего ремонта;

протокол взвешивания;

альбом формулярных схем — сборник принципиальных и полумонтажных электросхем, куда внесены изменения, выполненные при ремонте.

После проверки документов заказчик осматривает предъявленную технику. В некоторых случаях производится короткий контрольный полет (облет), выполняемый экипажем заказчика. На многих передовых предприятиях, где обеспечивается высокое качество ремонта, этот полет не производится, и самолет уходит в коммерческий рейс из АРЗ.

Датой сдачи заказчику считается дата подписания им приемосдаточного акта — документа, отражающего факт передачи воздушного судна основному владельцу.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвинтовкин И. Ф., Стояненко О. М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. М.: Транспорт, 1977. 312 с.
2. Горбунов И. С. Эффективность воздушного транспорта. М.: Транспорт, 1982. 230 с.
3. Григорьев В. П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
4. Контроль технической исправности самолетов и вертолетов: Справочник/Под ред. В. Г. Александрова. М.: Транспорт, 1976. 360 с.
5. Неразрушающий контроль металлов и изделий: Справочник/Под ред. Г. С. Самойловича. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.
6. Ремонт летательных аппаратов: Учебник для вузов гражданской авиации/Под ред. Н. Л. Голего. М.: Транспорт, 1977. 424 с.
7. Приборы для неразрушающего контроля. Справочник/Под ред. В. В. Клюева. В 2-х т. М.: Машиностроение, 1976. Т. 1. 391 с.; т. 2. 327 с.
8. Трение, изнашивание и смазка: Справочник/Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. В 2-х т. М.: Машиностроение, 1978—1979. Т. 1. 400 с., т. 2. 358 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**
- Автоматизация 28, 276
 - Агрегаты системы 173
 - Алитирование 220
 - Альбом основных сочленений и ремонтных допусков 20, 153
 - Анодирование 218
 - Антифрикционные материалы 120
 - свойства 119
- Б**
- Балансировка 189, 199, 206
 - Безотказность 5
 - Бронзирование 216
- В**
- Восстановление работоспособности 65
 - Вписываемость 61
 - Выветривание 128
- Г**
- Гальванизация 212
 - Герметизация 163
 - Герметичность 60, 61
 - Гермоузлы 188
 - Гидрофобизирование 221
 - Голография 72
 - Грунты 230
- Д**
- Дело ремонта 23
 - Деструкция 130
 - Дефектация 58, 59, 62
 - объемная 59, 61
- съемного и несъемного оборудования 59, 62
- Дефектовщик 59, 63
 - Дефектоскопия 69
 - Дефекты 6, 106, 107
 - Деформация 129
 - Деформирование пластическое 66, 115
 - Диспетчеризация 30
 - ДОК 25, 27
 - Документация техническая 68
 - Долговечность 5
- Ж**
- Жесткость 129
 - Живучесть 110
 - Жизнеспособность герметиков 163
 - клеев 256
- З**
- Зазоры 62
 - Заклепочные соединения 132, 141
- И**
- Изнашивание 64, 108, 117, 131
 - Износ 115, 117
 - Износостойкость 117
 - Информация диагностическая 59, 60
- К**
- Кавитация 108, 126
 - Кадмирование 215
 - Качество ремонта 34—38
 - Контактирование 116
 - Контроль:
 - входной 35

покрытий 222
 операционный 69
 выборочный 699
 сплошной 69
 качества сварки 247
 Концентрация напряжений 111
 Коррозия 108, 121, 128, 135
 Краски 230

Л

Лазер 96, 97
 Лаки 230
 Лужение 216
 Люминесценция 74, 80

М

Магнитострикция 87
 Маршрут дефектации 133
 Материалы:
 композиционные 67
 лакокрасочные 228, 229
 самофлюсующиеся 224
 Меднение 215
 Меление 129
 Металлизация фрикционная 227
 Методы ремонта:
 поточно-стендовый 29
 поточный 29
 Метрология 36
 Микроскопы 72, 73
 Мятие масла 181

Н

Наводораживание 213
 Нагрузки ударные 44
 Надежность 5, 59
 Накопление повреждений 105
 Намагничивание 78
 — полюсное 788
 — циркулярное 79
 Напряжение 114
 Напыление:
 детонационное 226
 плазменное 225
 газопламенное 225
 Нарботка 6
 Нивелировка 98, 278

Никелирование 216, 219

О

Обезводораживание 222
 Обезжиривание 221, 231
 Обработка механическая 66
 Обшивка 153
 — ремонт 155
 Окраска:
 в электрическом поле 234
 окувание 235
 распыление 232, 233
 Оксидирование 218
 Осветление 221
 Отказ 6
 Отслаивание 128

П

Пайка
 — реактивно-флюсовая 251
 Пассивирование 221
 Паяльник ультразвуковой 250
 Перемычки 152
 Перенос избирательный 120
 Плазмотрон 244
 Планирование сетевое 31
 Повреждаемость безопасная 15
 Повреждения 6, 107
 Погрешности измерения 29
 Подшипники:
 дефекты 138
 замена 185
 Ползучесть 114
 Порошки плакированные 224
 Предел выносливости 110
 Признаки браковочные 64, 108
 Припой 251
 Проводка тросовая:
 дефекты 139
 ремонт 183
 Процесс производственный 18
 — технологический 18

Р

Работоспособность 4
 Развертывание 148
 Разрушение 105
 Резьбовые соединения:

дефекты 135
 затяжка 161
 ремонт 147
 Ремонт:
 определение 7, 8, 9
 система 13, 14, 15
 Ресурс 8
 — межремонтный 8
 — назначенный 64
 Ритм 30
 Роботы 28
 Руководство по ремонту 20

С

Сварка:
 применение 67
 классы 243
 зона теплового воздействия 243
 микроплазменная 244
 титановых сплавов 244
 диффузионная 245
 пластмасс 246
 ультразвуковая 246
 газовая 243
 виды 238
 Свойства и состояние изделий 4, 5
 Склеивание 67, 187, 253
 Смазка 119, 189
 Смывка 231
 Соединения 65
 Сортовики 57
 Состояние предельное 5
 Соосность 149
 Стандартизация 34
 Сушка ЛКП 236
 Схватывание 118
 Съёмники 45

Т

Теченскатели 90, 95, 101
 Толщиномеры 81, 85
 Трещины 61, 63, 64, 105, 108, 110, 154
 Трубопроводы:
 дефекты 137
 изготовление 172
 монтаж 267
 ремонт 167

У

Удаление покрытий 220, 231
 Упрочнение поверхности 50
 Усиление 67, 154
 Условия технические 29

Ф

Формуляр 289
 Фосфатирование 217
 Фреттинг-коррозия 117
 Фронт работ 30

Х

Хромирование 214

Ш

Шероховатость поверхности 113, 121, 131
 Шпатлевка 230

Ц

Центровка 281
 Цинкование 216

Э

Эрозия 108, 125

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Авиаремонтное производство	11
1.1. Техническое обслуживание и ремонт	11
1.2. Системы ремонтов самолетов и вертолетов	12
1.3. Авиаремонтный завод	15
1.4. Производственный процесс ремонта	18
1.5. Технология ремонта	19
1.6. Производственно-контрольная документация	22
1.7. Оснащение авиаремонтного производства	24
1.8. Организация производственного процесса ремонта	28
1.9. Управление производственным процессом ремонта и его автоматизация	32
1.10. Управление качеством ремонта	34
Глава 2. Подготовительные этапы ремонта	39
2.1. Приемка в ремонт	39
2.2. Разборка	42
2.3. Очистка и промывка	45
2.4. Комплектование	56
Глава 3. Техническое диагностирование при ремонте	58
3.1. Задачи технического диагностирования	58
3.2. Дефектация	59
3.3. Дефектоскопия	69
3.4. Визуально-оптический контроль	70
3.5. Капиллярная дефектоскопия	73
3.6. Магнитные методы контроля	77
3.7. Контроль методом вихревых токов	82
3.8. Акустические методы контроля	86
3.9. Контроль изделий просвечиванием	90
3.10. Теченскание	94
3.11. Другие методы неразрушающего контроля	96
3.12. Особенности измерений	99
3.13. Техническое диагностирование вне авиаремонтного предприятия	100
Глава 4. Причины и виды неисправностей и дефектов	103
4.1. Причины возникновения неисправностей	103
4.2. Классификация дефектов	106
4.3. Усталость металлов	109
4.4. Изнашивание контактирующих поверхностей	115
4.5. Коррозия	121
4.6. Эрозия и кавитационные разрушения	125
4.7. Разрушение лакокрасочных покрытий	127
4.8. Влияние жесткости на возникновение дефектов	129
4.9. Старение и изнашивание неметаллических материалов	130
4.10. Некоторые характерные дефекты и особенности их выявления	132

Глава 5. Ремонт деталей, узлов и агрегатов самолетов и вертолетов	141
5.1. Ремонт заклепочных соединений	141
5.2. Ремонт резьбовых соединений	147
5.3. Ремонт конструктивных элементов планера	153
5.4. Ремонт трубопроводов и арматуры	167
5.5. Ремонт агрегатов систем	173
5.6. Ремонт системы управления	182
5.7. Ремонт шасси	191
5.8. Ремонт воздушных винтов	196
5.9. Особенности ремонта вертолетов	200
Глава 6. Восстановление деталей при ремонте	212
6.1. Металлические и неметаллические неорганические покрытия	212
6.2. Металлизационные покрытия	224
6.3. Лакокрасочные покрытия	228
6.4. Ремонт сваркой	238
6.5. Ремонт пайкой	248
6.6. Ремонт склеиванием	253
6.7. Упрочнение деталей методами пластического деформирования поверхности	259
Глава 7. Завершающие этапы ремонта	263
7.1. Монтаж	263
7.2. Нивелировка	278
7.3. Взвешивание	281
7.4. Наземные испытания	283
7.5. Летные испытания	285
7.6. Сдача заказчику	288
Список рекомендуемой литературы	290
Предметный указатель	291

В
Г.

Г

Г

Ким Яковлевич Орлов
Виктор Антонович Пархимович

РЕМОНТ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Предметный указатель составили *К. Я. Орлов* и *В. А. Пархимович*

Переплет художника *В. ТЭ*
Технический редактор *Т. А. Захарова*
Корректор-вычитчик *С. Б. Назарова*
Корректор *Н. В. Каткова*

ИБ № 3454

Сдано в набор 05.11.85. Подписано в печать 27.01.86. Т-01666.
Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Высокая печать.
Усл. печ. л 18,5 Усл. кр.-отт. 18,5. Уч.-изд. л. 21,89. Тираж 9.500 экз. Заказ 1960.
Цена 1 руб. Изд. № 1-1-2/17 № 3584

Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 103064, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7