

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**КАФЕДРА МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

словарь терминов и определений

НОВОСИБИРСК 2023

Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции.

УДК 621.8

Составитель: канд. техн. наук, доцент ***Е.А. Пшенов***

Рецензент: канд. техн. наук, доцент ***И.В. Тихонкин***

Основы проектирования и производства современного технологического оборудования: словарь терминов и определений/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: Е.А. Пшенов. – Новосибирск, 2023. – 60 с.

Словарь терминов и определений предназначен для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки «23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Утвержден и рекомендован к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего словаря-справочника – в лаконичной форме дать объяснение понятий, терминов и основных положений, связанных с основами проектирования и производства современного технологического оборудования. Термины расположены в порядке упоминания в тексте литературы по разделам и темам рабочей программы.

Раздел 1. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении

Тема 1.1. Теоретические основы расчета и проектирования приспособлений

Приспособлениями в машиностроении называются дополнительные устройства к металлообрабатывающему оборудованию, применяемые при изготовлении деталей машин.

Станочные приспособления, используемые для установки и закрепления обрабатываемых заготовок соответственно условиям выполнения технологического процесса. Они выполняют роль связующего звена между заготовкой и станком.

Приспособления для закрепления рабочего инструмента. Они выполняют роль связующего звена между инструментом и станком.

Сборочные приспособления, используемые для выполнения соединений сопрягаемых деталей в узлы и изделия.

Контрольные приспособления, применяемые для проверки заготовок при промежуточном и окончательном контроле деталей в процессе обработки, а также для проверки собранных узлов машин.

Приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок и узлов. Эти приспособления применяются для тяжелых объектов, перемещение которых вручную невозможно или затруднительно. В автоматизированном производстве данная группа приспособлений применяется для всех видов заготовок.

Универсальные приспособления, применяемые в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Используются для закрепления и обработки заготовок широкой номенклатуры и различных размеров.

Переналаживаемые (обратимые) приспособления, т. е. приспособления многократного применения. Применяют в мелко и среднесерийном производстве.

Универсально-сборные (УСП) и сборно-разборные (СРП) приспособления, собираемые из набора нормализованных деталей и узлов, допускающих многократную перекомпоновку собираемых конструкций;

Универсально-наладочные приспособления (УНП) со сменными наладками, позволяющие обрабатывать заготовки различных наименований;

Групповые переналаживаемые приспособления со сменными наладками, дающие возможность обработки определенной группы деталей.

Специальные приспособления, предназначенные для выполнения определенных технологических операций и представляющие собой переналаживаемые приспособления одностороннего назначения. Применяются в основном в крупносерийном производстве.

Базами называются поверхности, линии или точки заготовки, используемые для ее ориентации (базирования) в приспособлении или для ориентировки деталей относительно других деталей и сборочных элементов.

Упорно-центрирующая база – коническая поверхность переднего центрального отверстия, находящаяся в контакте с тремя опорными точками.

Центрирующая база – коническая поверхность заднего центрального отверстия, контактирующая с двумя опорными точками.

Упорная база – дополнительная поверхность заготовки выполняет роль шпоночной канавки или упора и лишает заготовку возможности поворота вокруг своей оси, контактирует с одной опорной точкой.

Конструкторская база служит для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Конструкторской базой называется поверхность, линия или точка детали, по отношению к которой определяются на чертеже расчетные положения других деталей или сборочных единиц изделия, или других поверхностей и геометрических элементов данной детали.

Измерительная база служит для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Измерительной базой называется поверхность, линия или точка, от которой производится отсчет выполняемых размеров при обработке или измерении заготовок или при проверке взаимного расположения поверхностей деталей или элементов изделия (параллельность, перпендикулярность, соосность и т. д.).

Технологическая база служит для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления.

Технологической базой называется поверхность заготовки, относительно которой ориентируются ее поверхности, обрабатываемые при данном установе.

Опорные технологические базы – технологические базы, непосредственно соприкасающиеся с соответствующими установочными поверхностями приспособления или станка.

Настроечной базой называется поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, связанная с этими поверхностями непосредственными размерами и образуемая при одном установе с рассматриваемыми обрабатываемыми поверхностями заготовки. Настроечная база обычно связана непосредственным размером с опорной базой заготовки.

Проверочной базой называется поверхность заготовки или детали, по отношению к которой производится выверка положения заготовки на станке, или установка режущего инструмента при обработке заготовки, или

выверка положения деталей, или сборочных единиц при сборке изделия.

Искусственные технологические базы - технологические базы, которые в целях повышения точности базирования обрабатываемой заготовки в приспособлении или на станке обрабатываются с более высокой точностью, чем это требуется для готового изделия при его эксплуатации (центровочное отверстие).

Дополнительные опорные поверхности могут быть естественными, т. е. полученными в процессе обработки заготовки в соответствии с требованиями чертежа, или искусственными, созданными на заготовке специально для ее установки и закрепления в приспособлении (всевозможные дополнительные центровые отверстия, выточки под люнеты, специальные приливы, бобышки и т. п.).

Установочными и зажимными элементами обеспечиваются требуемое положение обрабатываемой заготовки в приспособлении и его неизменность в процессе всей обработки. Обрабатываемая заготовка своими базовыми поверхностями опирается на установочные элементы (УЭ), которые называются опорами.

Зажимными устройствами (ЗУ) приспособлений называются механизмы, которые удерживают обрабатываемую заготовку от смещения и вибраций, возникающих под действием силы резания.

Тема 1.2. Зажимные механизмы приспособлений

Зажимными элементами приспособлений называются механизмы, удерживающие обрабатываемую заготовку от смещения и от вибраций, возникающих под действием силы резания.

Винтовой зажим – простейший зажим в виде индивидуального винта, действующего на заготовку непосредственно, находит ограниченное применение, так как в месте его действия заготовка деформируется.

Эксцентриковые зажимы - это быстродействующие, самотормозящиеся механизмы. Основными элементами их являются цилиндрические или эксцентриковые кулачки и кулачковые валики.

Клиновые зажимные устройства находят в станочных приспособлениях широкое применение. Основными элементами их являются одно- двух- и трехкосые клинья. Использование таких элементов обусловлено простотой и компактностью конструкции, быстротой действия и надежностью в работе. Обычно используют самотормозящиеся клинья с углом $< 12^\circ$.

Клиноплунжерный механизм двухопорный. Этот механизм представляет собой двузвенный механизм, состоящий из клина и одного, двух или нескольких плунжеров.

Прихваты - представляют собой одно или двуплечные рычаги, приводящиеся в действие силой P , которая создается ручным или механизированным приводом.

Рычажно-шарнирные усилители данные механизмы применяются в качестве усилителей приводов. Они делятся на однорычажные, двухрычажные одностороннего действия и двухрычажные двустороннего

действия. Не обладают свойствами самоторможения и поэтому требуют постоянного подпора со стороны привода.

Самоцентрирующие механизмы различаются между собой формой рабочей поверхности подвижных элементов и конструкцией механизма, обеспечивающего их взаимосвязанное движение.

Винтовой самоцентрирующий механизм — имеет большую погрешность центрирования (0,3–0,5 мм), но с его помощью можно создавать большую силу зажима, легко komponуется с механизированным приводом. Широко применяется на черновых и получистовых операциях.

Реечнозубчатый механизм — используют в тисках вместо винтовых для обеспечения встречного перемещения призм. Эти тиски используют на операциях, не требующих сил зажима, превосходящих силу на штоке привода. Погрешность центрирования этих механизмов сопоставима с погрешностью винтовых механизмов (0,3–0,5 мм).

Спирально-реечные механизмы — используют для перемещения кулачков в токарных патронах. Конструкция таких патронов стандартизирована ГОСТ 2675-81.

Клиноплунжерные механизмы — часто используют в патронах для токарной обработки, для центрирования как по внутренней, так и по наружной цилиндрической поверхности. Погрешность центрирования в клиноплунжерных механизмах составляет 0,2–0,5 мм. Поэтому патроны с такими механизмами обычно применяют для установки по черновым базам на черновых операциях. Конструкция патронов стандартизирована ГОСТ 16886181.

Клиношариковые механизмы — применяют в приспособлениях токарных и шлифовальных станков при базировании по внутренней и наружной цилиндрической поверхности. Уменьшение потерь на трение в направляющих плунжера-шарика и повышение точности центрирования за счет уменьшения числа кинематических звеньев (шарики вместо центрального клина и плунжеров) и повышении их точности при изготовлении. Применяют на операциях с небольшими силами резания,

Цангами называются разрезные пружинные втулки, которые могут центрировать заготовки по внешней и внутренней поверхностям. Цанговые механизмы используют для центрирования и зажима пруткового материала разного профиля и отдельных заготовок.

Мембранные механизмы применяют для центрирования по наружной и внутренней цилиндрической поверхности деталей типа дисков, колец, втулок и т. д. Основной деталью такого механизма является мембрана. Применяют мембраны трех основных видов: рожковые, чашечные и кольцевые. Наиболее точными являются рожковые и чашечные. Конструкция и основные параметры мембранных патронов приведены в ГОСТ 21277-85, 21278-85 и 2179-85. Чашечные и кольцевые мембраны (тарельчатые пружины) нормализованы.

Гидропластные механизмы — упругие патроны с использованием гидропластмассы. Основные части таких патронов — корпус, тонкостенная

втулка и кольцевая замкнутая полость между втулкой и корпусом, заполненная гидропластмассой. На гидропластмассу действует давление P , которое деформирует тонкостенную часть втулки и она центрирует и зажимает заготовку.

Тема 1.3. Силовые приводы приспособлений.

Пневмопривод включает в себя следующие части: источник сжатого воздуха — обычно цеховая или заводская компрессорная установка; силовой агрегат — пневмодвигатель, преобразующий энергию сжатого воздуха в силу на штоке; пневмоаппаратура — контролирующие приборы, распределительные устройства, воздухопроводы и т. д.

Поршневые двигатели — пневмоцилиндры, подразделяются на одинарные и сдвоенные. Одинарные имеют один поршень, а сдвоенные — два. Развиваемое поршневым двигателем усилие W сохраняется постоянным на всей длине хода.

Диафрагменные пневмокамеры в силовом отношении отличаются от поршневых двигателей тем, что развиваемое ими усилие W изменяется по мере движения штока. Чтобы избежать резкого изменения величины усилия W при удалении штока от исходного положения, выбирают рациональную длину его хода.

Встроенные пневмодвигатели отличаются тем, что полость под поршень или диафрагму рассчитывают непосредственно в корпусе приспособления. Используют стандартные поршни, штоки, уплотнения. Встроенные двигатели являются специальными и повторного использования не допускают, но являются более компактными.

Агрегируемый пневмодвигатель представляет собой самостоятельный механизм, закрепляемый на станке отдельно от приспособления. Часто в его конструкцию входит рычажный усилитель. Таким пневмодвигателем можно приводить в действие несколько последовательно устанавливаемых на станок приспособлений для крепления различных заготовок.

Гидропривод состоит из масляной ванны, гидронасоса, управляющей аппаратуры (гидрораспределителя), силового агрегата поршневого типа (гидроцилиндр), контрольно-регулирующей аппаратуры (сюда относятся предохранительный и обратный клапаны, гидроаккумуляторы, редукционные клапаны, дроссели, манометры и т. п.) и трубопроводов.

Пневмогидравлический привод - исходной энергией является потенциальная энергия сжатого воздуха, которая преобразуется сначала в энергию давления жидкости, а затем уже в силу на штоке.

Пневмогидропривод состоит из силового гидравлического цилиндра и пневмогидравлического усилителя давления. Усилители давления бывают двух типов: прямого и последовательного действия.

Механогидравлический привод состоит из рабочего гидравлического цилиндра и механогидравлического усилителя давления, который, как и пневмогидравлический, может быть прямого или последовательного действия. При вращении винта плунжер перемещается и создает давление

жидкости, приводящее в действие рабочий цилиндр.

Вакуумный привод - зажим заготовки в вакуумных зажимных устройствах осуществляется под действием атмосферного давления. Их применяют для закрепления заготовок из различных материалов с плоской базовой поверхностью на чистовых операциях.

Электромеханический привод — представляет собой электромоторное устройство с муфтой тарирования крутящего момента. Эти приводы используют в приспособлениях станков токарно-револьверной группы, агрегатных станков, в качестве приводов винтовых зажимов приспособлений — спутников автоматических линий

Магнитный привод приспособлений – в качестве источника магнитной энергии используются постоянные магниты. Удерживаемая заготовка является якорем, через который замыкается магнитный силовой поток.

Электромагнитный привод приспособлений — в качестве источника магнитной энергии используются электромагнитная катушка, питаемая постоянным током. Обычно в виде плит и планшайб для закрепления стальных и чугунных заготовок с плоской базовой поверхностью.

Электростатический привод приспособлений – действие основано на взаимном притяжении двух тел, заряженных электрическими зарядами противоположной полярности.

Центробежно-инерционный привод - применяют для быстроходных станков токарной группы. Грузы обычно размещают на шпинделе станка. Преимущества этих устройств в том, что они не требуют дополнительного источника энергии, просты в изготовлении и эксплуатации, включаются автоматически.

Тема 1.4. Корпусы и вспомогательные элементы приспособлений.

Корпус является базовой деталью приспособления, которая объединяет отдельные элементы приспособления. На корпусе монтируются установочные элементы, зажимные устройства, детали или узлы для направления инструмента, а также вспомогательные детали и механизмы.

Кондукторные втулки – это втулки, в которых режущий инструмент направляется рабочей частью. Они применяются при обработке отверстий сверлами, зенкерами и развертками.

Постоянные втулки без бурта по ГОСТ 18429-83 и с буртом по ГОСТ 18430-83. Они применяются, когда отверстие обрабатывается одним инструментом (сверлом или зенкером). При установке в кондукторную плиту они запрессовываются по посадке $H7/n6$.

Сменные втулки изготавливают по ГОСТ 18431-83. Они используются при обработке отверстий одним инструментом в условиях крупносерийного производства, когда вследствие износа необходима их частая замена. Стойкость кондукторной втулки составляет 10 000–20 000 сверлений.

Быстросменные втулки по ГОСТ 18472-83 устанавливаются в основные втулки по посадке $H7/g6$. Применяют их в случаях, когда отверстие обрабатывается последовательно несколькими инструментами (например,

сверлом, зенкером и разверткой). Для направления каждого из них предусматривается своя быстросменная втулка.

Специальные кондукторные втулки имеют конструкцию, соответствующую особенностям заготовки и операции. Втулка для сверления отверстий на наклонных поверхностях, удлиненную быстрорежущую втулку применяют при обработке отверстий в углублениях; при малом расстоянии между осями отверстий используют срезанные втулки или одну блочную.

Направляющие втулки. Обычно их выполняют вращающимися на подшипниках скольжения или качения, особенно при больших скоростях резания. В обеих конструкциях на внутренних поверхностях втулок прорезан паз для шпонки борштанги, чем обеспечивается их принудительное вращение. Для облегчения попадания шпонки в паз втулки ее часто выполняют со скошенными кромками или плавающей.

Копиры применяют при фрезеровании фасонных поверхностей на вертикально-фрезерных станках, а также при обработке на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках.

Установы предназначены для настройки режущего инструмента на выполняемый размер. Бывают высотные и угловые. Высотные установы позволяют ориентировать инструмент только по одной оси координат. Они бывают по конструкции двух разновидностей: круглыми и прямоугольными. С помощью установов настраивают инструмент по двум координатам. Эти установы преимущественно применяются для фрезерных приспособлений. Настройка инструмента по установам производится с помощью щупа.

Делительные устройства служат для того, чтобы при одном установе заготовки придать ей несколько положений, расположенных на определенном шаге относительно друг друга.

Тема 1.5. Унификация и стандартизация станочных приспособлений.

Нормализация - стандартизация в масштабе завода, ведомства и т. д. Высшей формой нормализации является разработка общесоюзных стандартов ГОСТ. Проведение работ по нормализации и стандартизации приспособлений предшествует унификации.

Унификация — это рациональное сокращение числа типов, видов и размеров станочных приспособлений, деталей, заготовок одного функционального назначения при улучшении их технико-экономических и качественных характеристик.

Унификация станочных приспособлений есть приведение их к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей.

Универсальные безналадочные системы представляют собой законченный механизм с постоянными элементами для базирования заготовок и простыми схемами базирования. К типовым представителям УБП можно отнести универсальные тиски, двух-, трех- и

четырёхкулачковые патроны, прямоугольные магнитные плиты, делительные универсальные головки, поводковые центры.

Универсально-сборные приспособления (УСП) состоят из комплекса стандартизованных деталей, из которых собирают различные приспособления одноцелевого назначения. Они используются кратковременно как специальные приспособления.

Универсальные наладочные и специализированные наладочные приспособления состоят из базового агрегата и сменных наладочных элементов. Причем в УНП базовый агрегат универсальный, а в СНП — специализированный; УНП служит для установки различных по конфигурации и схемам базирования заготовок, а СНП — родственных по конфигурации заготовок с идентичными схемами базирования. Базовые агрегаты наладочных приспособлений представляют законченные механизмы долговременного действия, их многократно используют в компоновках.

Сборно-разборные приспособления собирают, как правило, из стандартных деталей и сборочных единиц и используют как специальные приспособления долгосрочного применения. Перекомпоновку СРП осуществляют непосредственно на рабочем месте без снятия базового агрегата. СРП собирают на весь период производства изделия, но в экономически обоснованных случаях допускается использовать СРП как наладочное приспособление.

Тема 1.6. Расчет и проектирование зажимных устройств приспособлений

Самоцентрирующие зажимные механизмы — это такие механизмы, которые одновременно осуществляют базирование и закрепление заготовок. Разновидностью самоцентрирующих устройств являются центрирующие зажимы, которые центрируют и закрепляют заготовки по наружным и внутренним цилиндрическим поверхностям. К ним относят цанги, разжимные оправки, механизмы с гидропластом, гофрированными втулками, тарельчатыми (пластинчатыми) пружинами и мембранами.

Тема 1.7. Расчет деталей приспособлений на прочность.

Условие прочности. Детали и узлы приспособления не только не должны разрушаться, но и не должны испытывать остаточных деформаций, нарушающих нормальную работу приспособления.

Жесткость деталей и узлов. Упругие деформации деталей не должны превосходить допускаемых деформаций, обеспечивающих отсутствие вибраций, недопустимо наличие больших прогибов, а также нарушений правильности монтажа узлов приспособления.

Долговечность и износостойкость деталей в течение определенных сроков их службы. Износостойкость деталей достигается термической (азотирование, цементация, закалка) и механической (наклеп) обработкой трущихся поверхностей, а также ограничением удельных давлений и

контактных напряжений. Кроме того, необходимо обеспечить нормальную смазку трущихся поверхностей и отсутствие недопустимого нагрева деталей. Долговечность и износостойкость деталей и узлов зависит также от правильности монтажа и условий эксплуатации приспособления.

Технологические требования. Детали должны отличаться простотой формы, позволяющей осуществлять изготовление их на наиболее простом оборудовании при возможно меньшей затрате рабочего времени и соблюдении необходимой степени точности обработки.

Безопасность, простота управления и обслуживания. Конструкция приспособления должна обеспечить безопасность и легкость доступа к ее деталям для осмотра, удаления стружки, текущего ремонта, регулировки и смазки. Управление приспособлением должно осуществляться без применения значительных усилий.

Технико-экономические требования. Габариты, вес деталей и всего приспособления в целом, а следовательно и расход материалов, должны быть возможно меньшими, что особенно важно для относительно сложных переналаживаемых приспособлений, приспособлений для станков с ЧПУ- и ГП-модулей. Необходимо осуществлять строжайшую экономию цветных и сложнолегированных материалов, уменьшая до минимума их расход и широко применяя менее дефицитные материалы, в том числе и пластмассы.

Прочность — одно из основных требований, предъявляемых к деталям и приспособлениям в целом. Прочность деталей может характеризоваться по ряду частных коэффициентов запаса (надежность материала, степень ответственности детали, точность расчетных зависимостей, действующие силы, другие факторы, определяющие условия работы детали) или по номинальным допускаемым напряжениям.

Тема 1.8. Приспособления для контроля точности деталей

Контрольные приспособления — это устройства или комплекс устройств вспомогательного назначения, необходимые для выполнения вспомогательных технологических переходов измерения или контрольных операций технологического процесса.

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины находится непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, определяемыми прямыми измерениями.

Метод измерений — совокупность приемов использования средств измерений.

Основными методами прямых измерений являются: метод

непосредственной оценки (абсолютный метод), при котором значение величины определяется непосредственно по шкале прибора, и метод сравнения, при котором измеряемую величину сравнивают с некоторой настроенной величиной (относительный метод).

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки численного показания или сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Калибр — средство контроля, предназначенное для проверки годности размера детали (например, калибр предельный) или ее конфигурации. Аналогичный термин — шаблон.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Суммарная погрешность измерения — погрешность, включающая погрешность инструмента, погрешность метода измерений и ряд дополнительных погрешностей.

Отклонение от прямолинейности в плоскости — наибольшее расстояние точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка. В зависимости от количества измеренных точек методы измерения прямолинейности подразделяются на непрерывные и дискретные.

Измерение прибором с прецизионным прямолинейным перемещением. Прибор (прямомер) позволяет сравнить профиль детали с траекторией точного прямолинейного перемещения. Измеряемый профиль ориентируют по направлению перемещения предметного стола или измерительного преобразователя. Измеренные отклонения профиля регистрируются записывающим устройством или вводятся в ПК.

Измерение на координатно-измерительной машине. Измеряемая деталь устанавливается на столе координатно-измерительной машины (КИМ), и измеряются координаты отдельных точек профиля. Измеренные значения вводятся в ПК для математической обработки.

Измерение с применением поверочной линейки и измерительной головки или концевых мер длины. Поверочную линейку устанавливают на двух опорах в точках наименьшего прогиба. Измерительной головкой в стойке (или концевыми мерами длины) измеряют расстояния между профилем детали и линейкой в отдельных точках и строят профилограмму.

Измерение с применением поверочной плиты и измерительной головки. Измеряемая деталь устанавливается на опорах. Измерительная головка на стойке перемещается по поверочной плите вдоль профиля детали (дополнительно может быть применена направляющая линейка). По показаниям головки в отдельных точках профиля строится профилограмма.

Измерение с применением компаратора, имеющего несколько измерительных головок. В простейшем случае компаратор имеет две неподвижные опоры и несколько измерительных головок, расположенных с шагом t . Установка головок на нуль производится, используя меру прямолинейности. По показаниям головок после установки компаратора на

измеряемую деталь строится профилограмма (в опорных точках отклонения принимаются равными нулю). Компаратор с регулируемыми опорами и уровнем применяют при измерении участков, превышающих длину компаратора. Компаратор последовательно устанавливают на нескольких участках измеряемого профиля, так чтобы каждый последующий участок включал хотя бы одну измеренную точку предыдущего. Настройка компаратора и снятие отсчетов с измерительных головок и шкал регулируемых опор производятся при нулевом показании уровня.

Измерение двухопорным мостиком и измерительной головкой. Измерительная головка, закрепленная в мостике, устанавливается на нуль, используя меру прямолинейности. Мостик последовательно перемещается по измеряемой поверхности с шагом t . По показаниям измерительной головки воспроизводятся отклонения измеренных точек профиля и строится профилограмма.

Измерение лекальной линейкой. Лекальная линейка своим рабочим ребром прикладывается к измеряемому профилю нормально к поверхности. Оценивается наибольшая ширина просвета между линейкой и деталью. Способ не дает возможности провести количественный анализ формы профиля.

Отклонение от плоскостности — наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка.

Измерение с применением методов контроля отклонений от прямолинейности. Одним из шаговых методов, определения прямолинейности, измеряются отклонения от прямолинейности в продольных, поперечных и диагональных сечениях.

Измерение двухопорным измерительным мостиком и уровнем. Деталь выверяется приблизительно горизонтально. Двухопорный измерительный мостик с установленным на уровне (или уровень с опорами в виде измерительного мостика) перемещается шагами t_1 и t_2 по взаимно параллельным продольным и поперечным сечениям. По результатам измерений наклонов соседних участков находят относительные высоты их концов и математическую модель измеренной поверхности относительно плоскости, перпендикулярной направлению силы тяжести земли.

Измерения на трехкоординатной измерительной машине. Деталь устанавливают на стол КИМ. Измеряют координаты A_i отдельных точек поверхности, по которым с помощью компьютера рассчитывается отклонение от плоскостности.

Измерение с помощью поверочной линейки и измерительной головки. Схема измерения показана на рисунке. Данный метод позволяет определить математическую модель поверхности относительно плоскости, проходящей параллельно через три угловые точки поверхности, которые определяют базу при измерении. Линейка опирается на регулируемые опоры. Измерения выполняются измерительной головкой. В начале, установив поверочную линейку по диагонали, находят отклонение точки в середине диагонали.

Затем устанавливают линейку по второй диагонали, опирая ее на третью базовую точку, и определяют отклонение во второй крайней точке. По известным положениям четырех угловых точек путем установки поверочной линейки в продольных и поперечных направлениях определяют отклонения остальных точек и получают математическую модель поверхности.

Измерение с помощью линейки-компаратора. Линейка имеет две регулируемые опоры с микрометрическими головками (одна для установки высоты начальной точки, другая для выверки линейки в горизонтальное положение) и встроенные с шагом t измерительные головки. Устанавливая линейку на плоский или прямолинейный образец, приводят показания микрометрических головок опор и измерительных головок к нулю. Затем установкой линейки на измеряемую поверхность производят измерения по сетке продольных и поперечных сечений. При этом левая микрометрическая головка устанавливается в соответствии со значением математической модели в данной точке (в исходной точке оно равно нулю), правая опора регулируется так, чтобы показание уровня было равно нулю. Отсчеты по измерительным головкам и микрометрическим головкам опор являются значениями математической модели поверхности относительно горизонтальной плоскости, проведенной через начальную угловую точку измеряемой поверхности.

Измерение рамой или плитой с измерительными головками. В раме или плите закрепляются измерительные головки в соответствии с планом расположения точек измерения. Измерительные головки устанавливают на нуль по образцу плоскостности (например, поверочной плите). При установке рамы на измеряемую поверхность по измерительным головкам отсчитывают значения ее математической модели. Базовой моделью является плоскость, проходящая через три неподвижные опоры рамы.

Измерение устройством с аэростатической опорой и измерительными головками. Корпус устройства имеет камеру и выходные отверстия, благодаря которым воздух под давлением создает аэростатическую опору. Вследствие усредняющего действия воздушной подушки средняя плоскость поверхности устройства устанавливается параллельно средней плоскости измеряемой поверхности. Измерительные головки закрепляются в корпусе компаратора в соответствии с планом точек измерения и настраиваются на нуль по образцу плоскостности или по специальной методике непосредственно на измеряемой поверхности.

Измерение с применением поверочной плиты и измерительной головки. Деталь измеряемой поверхностью устанавливается на поверочной плите и при перемещении относительно ее ощупывается в различных точках измерительной головкой. Наибольшее показание головки, предварительно настроенной на нуль по плоскому образцу, равно отклонению от плоскостности относительно плоскости, проведенной через три выступающие точки поверхности. Метод неприменим при выпуклой или седлообразной форме поверхности.

Измерение интерференционным методом. На измеряемую поверхность, которая имеет хорошую отражательную способность, накладывается под малым углом плоскопараллельная стеклянная пластина. За счет воздушного клина создается интерференционная картина. По форме и искривлению интерференционных полос судят о форме поверхности и отклонении от плоскостности.

Контроль поверочной плитой на краску. На поверочную плиту наносят тонкий слой краски, кладут плиту на контролируемую поверхность (детали малых размеров кладут на плиту) и их относительным перемещением растирают краску по поверхности. По величине окрашенной поверхности и распределению пятен контакта на поверхности судят о ее плоскостности. Метод дает только качественную оценку формы.

Отклонение от круглости — наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности.

Измерение с применением прецизионного вращения. При измерении реальный профиль сравнивается с траекторией точного вращения шпинделя прибора (кругломера). Различают кругломеры с вращающимся измерительным преобразователем при неподвижном столе и детали и с вращающимся предметным столом при неподвижном преобразователе. Перед измерением деталь центрируют и нивелируют относительно оси шпинделя прибора. Измеряется изменение радиусов профиля относительно оси вращения за один оборот. Измеренный профиль регистрируется на полярной диаграмме. Возможно применение ПК для автоматического определения базовой окружности (средней или прилегающей) и отклонения от круглости. Данный метод измерения является наиболее точным и позволяет измерять отклонение от круглости в соответствии с его стандартным определением.

Измерение с применением образца круглости. Измеряемая деталь сопрягается с образцовой по форме деталью (кольцом или пробкой), которая в ограниченном диапазоне диаметров материализует прилегающую окружность. Измерительной головкой, закрепленной неподвижно на образцовой детали, регистрируется максимальная разность показаний за один оборот измеряемой детали относительно образцовой. Для более полной компенсации действительных отклонений диаметра деталей применяют образцовые детали, регулируемые по диаметру, либо набор различных по диаметру образцовых деталей.

Измерение с применением аэростатически центрированного опорного элемента. Схема может быть применена для измерения внутренних и наружных поверхностей вращения. Опорный элемент в виде пробки или кольца базируется на аэростатических опорах непосредственно по измеряемой поверхности детали. Вследствие усредняющего эффекта воздушной подушки при взаимном вращении опорного элемента и детали ось вращения практически неподвижна и при ограниченной длине опорного элемента проходит через центр средней окружности измеряемого сечения. Измерительный преобразователь закреплен в опорном элементе.

Отклонение от круглости определяется как наибольшая разность показаний отсчетного прибора за один оборот детали относительно опорного элемента. При постоянной скорости вращения возможна регистрация профиля на диаграмме.

Измерение прибором для контроля радиального биения. Измеряемая деталь устанавливается в центрах. Деталь должна вращаться с постоянной скоростью. Измерительным преобразователем регистрируется изменение радиусов детали в измеряемом сечении за один оборот. После электрической фильтрации, подавляющей составляющую, вызванную эксцентриситетом сечения относительно оси вращения (в данном случае общей оси центровых отверстий), измерительный сигнал подается либо на показывающий прибор, либо на линейный самописец. Наибольшая разность показаний прибора за один оборот детали определяет отклонение от круглости относительно средней окружности.

Измерение на координатно-измерительных приборах. Деталь измеряется на двух- или трехкоординатных приборах путем ошупывания достаточно большого количества точек реального профиля (рекомендуется не менее 12 точек). По координатам измеренных точек с помощью ПК по соответствующим программам рассчитывается отклонение от круглости относительно средней или прилегающей окружности.

Измерение средствами для контроля диаметра (двухточечное измерение). Метод осуществляется в двух вариантах: путем непрерывного измерения при вращении детали относительно двухточечного измерительного средства или измерением диаметров по отдельным направлениям. В процессе измерения деталь поворачивают не менее чем на 180° и фиксируют разность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения $\Delta A = d_{\max} - d_{\min}$. Отклонение от круглости равно $\Delta A/2$.

Измерение с применением призмы (трехточечное измерение). Различают симметричную схему измерения, когда измерительный наконечник располагается по биссектрисе угла α призмы, и несимметричную схему, когда измерительный наконечник располагается под углом β к биссектрисе. Измеряемый вал устанавливают в призме и вращают. Определяют наибольшее изменение показаний (ΔA) головки за один оборот.

Измерение с применением седлообразной призмы (наездника). Контролируемая деталь вращается в центрах, призмах или патроне. На деталь устанавливается наездник. Измерительной головкой регистрируется изменение показаний за один оборот детали. Отклонение от круглости определяется по формуле $\Delta A/F_p$, где F_p — поправочный коэффициент. Значения углов призмы α и коэффициента F_p приведены в таблицах. Область применения метода та же, что и методов измерения с помощью призмы. Возможно измерение деталей на станке.

Измерение с применением наездника с самоустанавливающимися опорами. Деталь вращается в центрах, призмах, патронах и т. п. Измерительное устройство состоит из корпуса, подвижных кареток,

балансиров первой и второй ступеней, оси качания которых закреплены на подвижных каретках первой ступени. Перед измерением каретки устанавливаются по шкалам в положение, соответствующее диаметру измеряемой детали. При вращении детали благодаря самоустанавливающимся опорам создается эффект стабилизации положения центра, относительно которого с помощью измерительного преобразователя фиксируются изменения радиусов сечения детали за один ее оборот. Отклонение от круглости определяют по наибольшей разности показаний отсчетного устройства или по профилограмме. Базой является средняя окружность. Метод применим при любом характере отклонения от круглости для деталей относительно больших габаритных размеров, в том числе и на станках.

Измерение комбинированным двух- и трехточечным способом с применением призмы. Деталь устанавливается в призму и ощупывается одновременно или последовательно двумя измерительными головками, одна из которых осуществляет измерение перпендикулярно к грани призмы (двухточечное измерение), а другая — трехточечное. Рекомендуется использовать углы призмы $\alpha = 60$ или 120° и несимметричную схему, при которой направление измерения параллельно грани призмы. При вращении измеряемой детали определяют максимальные разности показаний $\Delta A1$ и $\Delta A2$ обеих головок. Для рекомендуемых углов призмы отклонение от круглости принимают равным $\Delta A_{\max}/2$, где ΔA_{\max} — большее из значений $\Delta A1$ и $\Delta A2$. Предварительное определение числа граней профиля не требуется.

Отклонение от цилиндричности — наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка.

Раздел 2. Основы конструирования и расчета элементов технологического оборудования

Тема 2.1. Направляющие станков

Направляющие станков - должны обеспечивать правильность траектории движения подвижного узла станка, несущего инструмент или обрабатываемую заготовку.

Направляющие смешанного трения - характеризуются высоким и непостоянным по величине трением. Сила трения при страгивании подвижного узла из положения покоя существенно отличается от силы трения движения, которая, в свою очередь, сильно зависит от скорости скольжения.

Прижимные планки - замыкают направляющие в вертикальном направлении и обеспечивают в них заданные зазоры.

Регулировочные планки толщиной b служат для регулирования зазора в боковых плоскостях прямоугольных и трапециевидных направляющих. Регулирование производят винтами, а для фиксации планок в продольном направлении иногда применяют цилиндрические штифты.

Клинья применяют для той же цели, что и регулировочные планки, но в

более ответственных случаях: при действии больших усилий, необходимости тонкого регулирования, повышенных требованиях к жесткости, стесненных габаритах. Клинья обычно имеют уклон в пределах от 1:40 до 1:100. Зазоры регулируют продольным перемещением клина при помощи винтов или гаек.

Износостойкость является основным критерием работоспособности направляющих. Износ направляющих, помимо давления, определяет еще целый ряд факторов: материалы трущихся пар, тип смазки, защита от загрязнений, скорость перемещения подвижного узла и другие.

Расчет на *жесткость* заключается в определении контактных деформаций их рабочих граней в предположении, что они пропорциональны давлениям P на этих гранях

Тема 2.2. Общие сведения о шпиндельных узлах станков

Шпиндельный узел станка является конечным звеном привода главного движения и предназначен для крепления инструмента или приспособления с заготовкой. Качество шпиндельного узла оказывает самое существенное влияние на точность, надежность и производительность всего станка.

Точность вращения шпинделя является важнейшей характеристикой шпиндельного узла, в значительной мере определяющей точность обработки изделий на станке. В шпиндельных узлах на опорах качения она зависит от точности изготовления подшипников и сопряженных с подшипниками деталей шпиндельного узла, от качества монтажа, от регулировки подшипников (величины зазора-натяга) и от числа оборотов шпинделя, при котором производится обработка изделия.

Жесткость шпиндельного узла, определяется по упругим перемещениям переднего конца шпинделя, обусловленных податливостью собственно шпинделя и его опор.

Требования к быстроходности шпинделя и диапазон изменения частот вращения определяются назначением, кинематическими конструктивными и технологическими особенностями станков. К наиболее быстроходным шпинделям относятся шпиндели шлифовальных головок и головок алмазно-расточных станков. Относительно высокий уровень быстроходности характерен также для некоторых видов токарных станков (автоматов).

Требования к долговечности шпиндельных опор. Особой регламентации долговечность опор качения шпиндельных узлов, как правило, не подлежит. Исключение составляют шлифовальные и алмазно-расточные головки, для которых в ряде случаев устанавливают гарантийные сроки службы.

Допустимый нагрев подшипников шпиндельных узлов. Норма предельно допустимого нагрева подшипников в настоящее время установлена лишь для станков нормальной точности, максимальный допустимый нагрев (избыточная температура) на наружном кольце принят равным 50°C.

Шпиндельные подшипники - основное отличие от подшипников общего назначения состоит в том, что они должны иметь высокий класс точности (5, 4, 2, Т) и возможность регулировки монтажного зазора-натяга между телами качения и кольцами.

Жесткость подшипника характеризуется отношением действующей на него нагрузки к вызываемому ею упругому отжатию колец (при этом контактные деформации на посадочных поверхностях вала и корпуса не учитываются). Различают радиальную и осевую жесткость.

Гидроразжим внутренних колец подшипника при помощи масляного насоса уменьшает необходимое для монтажа и демонтажа усилие в десятки раз. Через канал в шпинделе масло подается в кольцевую канавку под конической поверхностью подшипника и разжимает внутреннее кольцо подшипника, облегчая его демонтаж. Гидроразжим целесообразно применять у шпинделей диаметром от 50 мм и более.

Уплотнения шпиндельных узлов служат для того, чтобы защищать подшипники шпинделя от проникновения грязи, пыли, влаги, а также для препятствия вытеканию смазки из подшипника. Для станков, работающих в условиях обильного поступления в зону резания жидкости (станки-автоматы, шлифовальные станки и др.), а также с высокой запыленностью зоны резания (станки, работающие абразивным инструментом), качество уплотнения является решающим фактором, определяющим долговечность шпиндельных узлов.

Бесконтактные уплотнения выполняют в виде лабиринта или щели, в которых за счет аэродинамических процессов происходит повышение давления воздушной среды и обеспечивается герметичность. Очевидно, что эффективность этих уплотнений будет тем выше, чем больше частота вращения шпинделя.

Дуплексация подшипников – подбор комплекта шариковых радиально-упорных подшипников по параллельности беговой дорожки и торцов, доработка по точности посадочных поверхностей деталей, их соединяющих, для выбора зазоров.

«Дуплекс-О» - схема монтажа подшипников, при которой углы контакта или линии действия силы при установке двух подшипников в одну опору замками, обращенными наружу, образуют букву «О».

«Дуплекс-Х» схема монтажа подшипников, при которой замки при установке подшипников обращены внутрь, при этом линии действия силы образуют букву «Х».

«Дуплекс-Т» или схема «спина к спине» при ориентировании замков подшипников в одну сторону схема носит название «дуплекс-тандем».

Подшипники с управляемым натягом. В этих подшипниках при малых частотах вращения шпинделя натяг автоматически увеличивается и, обеспечивая существенное повышение жесткости, позволяет вести высокопроизводительную обработку заготовок на черновых режимах при больших силах резания. При высоких скоростях резания, на чистовых режимах, натяг уменьшается до величины, лимитируемой температурой нагрева подшипников. Жесткость подшипников шпинделя при этом иногда уменьшается в несколько раз по сравнению с черновыми режимами, но на высоких скоростях обработки, при малых силах резания, она и не требуется высокой.

Раздел 3. Суперфинишные станки для автомобильной промышленности

Тема 3.1. Физические основы суперфиниширования

Суперфиниширование – доводка, осуществляемая при одновременно выполняемых колебательном движении абразивного инструмента и вращении заготовки.

Бесцентровое суперфиниширование – суперфиниширование поверхности вращения, при котором технологической базой является обрабатываемая поверхность или ранее обработанная цилиндрическая поверхность».

Суперфиниширование – процесс отделочной обработки поверхностей заготовок мелкозернистыми абразивными, алмазными или эльборовыми брусками. Отличительная особенность процесса состоит в быстром колебательном (осциллирующем) движении брусков с частотой от 500 до 3000 дв. ход/мин, амплитудой 2–5 мм и небольшими удельными давлениями инструмента (0,05–0,3 МПа) на обрабатываемую поверхность.

Наиболее *интенсивные резание металла* и самозатачивание бруска осуществляются при $\alpha = 40 \dots 50^\circ$. Это объясняется тем, что зерна бруска, перемещаясь по траектории, имеющей форму синусоиды, непрерывно изменяют свое положение по отношению к направлению движения и работают различными гранями.

Во избежание образования наливов металла на рабочей поверхности бруска из эльбора следует работать со скоростью не больше 30–40 м/мин.

Характерная особенность бесцентрового суперфиниширования состоит в базировании заготовок между двумя вращающимися валками. При этом осуществляется силовое замыкание контакта, и валки посредством сил трения передают вращение заготовкам. Валки представляют собой тела вращения со сложным осевым профилем и контактируют с заготовками по пространственной линии, в результате чего углы контакта и условия трения по длине обработки изменяются.

Останов характеризуется одновременным скольжением заготовки относительно обоих валков, которые вращаются приводом станка с достаточным запасом мощности. При этом относительно шлифовального бруска, жестко связанного с системой координат (ХОУ), заготовка покоится.

Коэффициент резания k характеризует режим суперфиниширования – непрерывного резания со съемом значительного припуска или трения-полирования для снижения шероховатости поверхности.

при расчете валковых устройств бесцентровых суперфинишных станков следует выбирать межосевое расстояние, обеспечивающее углы контакта с заготовкой α_1 и α_2 в пределах $10 \dots 20^\circ$;

при наладке бесцентровых суперфинишных станков, если один из углов α_1 или α_2 превышает 20° , требуется ввести ограничение на максимальный угол перекрещивания осей валков;

материал и термическую обработку валков станка необходимо назначать таким образом, чтобы обеспечить коэффициент трения покоя не менее 0,15.

Тема 3.2. Технология суперфиниширования

Угол контакта φ выбирают таким образом, чтобы не было заклинивания заготовки на валках, а возникающая сила трения была достаточна для вращения заготовки. Обычно угол φ задают в пределах 15–20° и регулируют изменением межосевого расстояния валков. Согласно экспериментально полученным данным, при $\varphi < 15^\circ$ происходит заклинивание заготовки между валками, а при $\varphi > 20^\circ$ заготовка проскальзывает на валках.

Продольная подача заготовки определяется окружной скоростью валков и углом их скрещивания.

Наибольший *угол скрещивания валков* обычно составляет 3°, при этом окружная скорость заготовки приблизительно равна окружной скорости ведущего валка

При *суперфинишировании бомбинированной поверхности цилиндрических роликов* траектория движения оси ролика представляет собой дугу окружности радиуса R , концентричную бомбине.

Способ бесцентрового суперфиниширования врезанием предназначен для обработки цилиндрических деталей с буртами (клапанов, золотников, толкателей, крестовин и др.), цилиндрических и конических роликов с бомбинированной поверхностью.

Электрохимический метод суперфиниширования относят к процессам электрохимической размерной обработки, основанной на свойстве атомов металла переходить в раствор под действием анодно-поляризующего электрического тока.

Способ ультразвукового суперфиниширования заключается в том, что шлифовальному бруску, кроме осциллирующего движения, сообщают дополнительные колебания с частотой 20–25 кГц и амплитудой 5–15 мкм. Конструктивно это достигается введением в суперфинишный станок ультразвукового преобразователя с жестким креплением к инструменту

При *суперфинишировании* применяют схему силового замыкания контакта, прижим бруска к детали упругий и конструктивно осуществлен пружиной, пневмоцилиндром или гидроцилиндром через пружину. Особенностью суперфиниширования является ограниченный сьем металла, как правило, не превышающий 5–10 мкм. Величину нормальной нагрузки между бруском и деталью поддерживают постоянной и независимой от исходных погрешностей формы обрабатываемой поверхности.

При *микрофинишировании* брусок прижимают к детали непосредственно гидроцилиндром или через промежуточные жесткие звенья, например клинорычажный механизм. При этом достигают съема металла до 30–50 мкм на диаметр.

Восстановление режущей способности в процессе работы (самозатачивание) происходит в результате обламывания, выкрашивания и вырывания зерен в случае, когда сила резания превосходит прочность зерен

или силу их сцепления со связкой. В зависимости от характеристики брусков, режимов резания и обрабатываемого материала свойство самозатачивания проявляется по-разному.

Шлифовальные бруски, используемые при суперфинишировании, изготавливают на керамической (К) и бакелитовой (Б) связках. Наибольшее распространение получили бруски на керамической связке, которая обеспечивает интенсивное самозатачивание бруска.

Керамическая связка, обладая большой жесткостью, позволяет абразивным зернам внедряться на большую глубину и производить интенсивное резание. Имеет значительную химическую стойкость и водостойкость, может работать с любым видом СОЖ и без охлаждения, позволяет получать абразивный инструмент любой зернистости и твердости.

Бакелитовая связка - упругая и эластичная не допускает значительного внедрения абразивного зерна в металл, так как наиболее выступающие зерна, внедряясь в металл, одновременно вдавливаются в связку, предоставляя возможность следующему ряду зерен участвовать в работе. Таким образом, увеличивается количество абразивных зерен, участвующих в работе, и одновременно уменьшается удельное давление. Малая глубина внедрения зерен дает малый сьем металла и создает условия для быстрого перехода к режиму полирования. Имеет более высокую прочность и упругость, чем керамическая, но обладает невысокой теплостойкостью (примерно 200 °С) и недостаточной устойчивостью к воздействию СОЖ. При использовании СОЖ, содержащей более 1,5 % щелочей, абразивный инструмент на бакелитовой связке «размокает», несколько теряя при этом твердость и прочность.

Алмазные бруски представляют собой державку с нанесенным на нее рабочим алмазоносным слоем, который состоит из зерен природных или синтетических алмазов, связки и наполнителя. Алмазные бруски характеризуют: маркой материала, зернистостью, связкой, твердостью и концентрацией алмаза.

Бруски из эльбора. Высокая теплостойкость (1300–1400 °С) и диффузионная устойчивость. Характеризуют: маркой материала, зернистостью, связкой, твердостью и концентрацией эльбора. Бруски из эльбора на керамической связке целесообразно использовать при обработке заготовок высокой твердости, в первую очередь из легированных сталей, имеющих в своей структуре карбиды, нитриды и другие составляющие, твердость которых близка к твердости обычных абразивных материалов.

Эльбор (Ленинград + бор), боразон (от бор + азот), кубонит, кингсонгит, киборит — торговые марки сверхтвердых материалов на основе кубической β-модификации (сфалеритной) нитрида бора, или кубического нитрида бора (советская аббревиатура — КНБ, зарубежная — cBN). По твердости и другим свойствам приближается к алмазу (10 по шкале Мооса).

Разноразмерность диаметров заготовок, поступающих на бесцентровое

суперфиниширование, не должна превышать 3–4 мкм. В противном случае заготовки меньших размеров будут лишь частично обработаны, а на заготовках больших размеров будут образованы завалы кромок. Кроме того, обработка разноразмерных заготовок тормозит их продвижение под брусками и вызывает повышенный износ брусков.

Технологический режим при бесцентровом суперфинишировании определяется: окружной скоростью заготовки, частотой колебательного движения бруска, скоростью продольной подачи заготовки и давлением бруска.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) — обобщённое наименование разнообразных жидких составов, используемых главным образом при обработке металлов резанием или давлением. СОЖ удаляет частицы срезанного металла и выкрошившиеся из бруска абразивные зерна, очищая тем самым рабочую поверхность бруска, и создает поверхностную пленку, препятствующую налипанию стружки на абразивные зерна.

Масляные СОЖ представляют собой минеральные масла с присадками различного функционального назначения (антифрикционными, противозносными, антиокислительными, моющими, антипенными и др.).

Водные СОЖ содержат минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, вещества-связки (воду, спирты, гликоли) и другие органические и неорганические вещества. Водные СОЖ по сравнению с масляными отличаются более высокой охлаждающей способностью и невысокой стоимостью.

В качестве *СОЖ при суперфинишировании* в большинстве случаев применяют смесь керосина с маслом. Для получения низкой шероховатости поверхности в составе СОЖ увеличивают процентное содержание масла. В этом случае измельченные абразивные зерна не так интенсивно вымываются из-под бруска. Они заполняют поры бруска, образуя на его поверхности тонкозернистый абразивный слой, который полирует поверхность заготовки.

Тема 3.3. Бесцентровые суперфинишные станки

Классификация суперфинишных станков по следующим основным признакам: способу обработки; степени универсальности; степени автоматизации; числу рабочих позиций; компоновке.

В зависимости от *способа обработки* суперфинишные станки образуют следующие подгруппы: станки для обработки в центрах; бесцентровые станки; станки для обработки торцевых поверхностей, шеек коленчатых валов, желобов колец подшипников. Отдельную подгруппу составляют суперфинишные головки для универсальных станков.

По *степени универсальности* суперфинишные станки подразделяют на две подгруппы: широкого назначения и специализированные. К первой подгруппе относят станки для обработки в центрах, бесцентровые и станки для обработки торцевых поверхностей, ко второй подгруппе – станки для обработки шеек коленчатых валов и желобов колец подшипников.

По степени автоматизации большинство суперфинишных станков являются полуавтоматическими: установка и снятие заготовок производится вручную, цикл обработки – автоматический. Бесцентровые суперфинишные станки при оснащении их устройствами для автоматической загрузки-разгрузки заготовок превращаются в автоматы.

По числу рабочих позиций суперфинишные станки подразделяют на одно-, двух- и многопозиционные. На рабочих позициях производится полная обработка заготовок (обработанные заготовки сходят с каждой позиции) или последовательная (заготовки перемещают из одной позиции в другую, а готовые заготовки сходят только с последней позиции). В первом случае обработку, как правило, производят абразивными инструментами одной характеристики, во втором случае – абразивные инструменты имеют разные характеристики.

Механизмы осцилляции суперфинишных станков предназначены для сообщения абразивному инструменту колебательных движений. По принципу действия и конструктивному исполнению их подразделяют на электромеханические, пневматические и гидравлические.

Валковое устройство включает в себя два вала, вращающиеся в одном направлении выполняющие транспортную и формообразующую функции. Заготовки при суперфинишировании вращаются и перемещаются вдоль валков под осциллирующими брусками за счет осевой составляющей силы трения, возникающей при развороте одного или обоих валков на некоторый угол λ относительно оси заготовок.

Тема 3.4. Специализированные суперфинишные станки

Для суперфиниширования врезанием наружных поверхностей круглых деталей диаметром от 3 до 50 мм используется бесцентровый суперфинишный станок модели ЗД873.

Станки выпускаются в двух исполнениях: одно- и многопозиционные. Однопозиционный станок предназначен для мелкосерийного производства. Установка деталей на валки и снятие готовой детали производится вручную. При использовании люнета на станке можно установить деталь длиной до 500 мм. Длина обрабатываемой поверхности до 110 мм.

Многопозиционный станок предназначен для крупносерийного и массового производства и выпускается налаженным на обработку конкретной детали. Загрузка деталей в зону обработки и выгрузка обработанной детали производится автоматически. Число одновременно обрабатываемых деталей устанавливается в зависимости от длины детали: при длине до 60 мм возможна одновременная обработка четырех деталей; при длине свыше 60 мм – двух деталей.

Для суперфиниширования деталей диаметром до 125 мм предназначен бесцентровый суперфинишный станок модели ЗД879Б. Станок относится к группе специализированных станков и выпускается налаженным на обработку конкретной детали или группы однотипных деталей.

Станки для суперфиниширования шеек коленчатых валов на две группы:

1) станки, работающие с мастер-валом; 2) станки, работающие без мастер-вала. К станкам первой группы относятся станки моделей 2К34 и 2К35, ранее выпускавшиеся отечественной промышленностью.

Станки моделей 3874, 3875, 3875К и 3876 в конструктивном отношении подобны и выполнены по единой принципиальной схеме. При обработке на этих станках коленчатый вал устанавливается на центр или поводок бабки изделия и поджимается центром задней бабки. Абразивные бруски в инструментальных головках, охватывая шейки, прижимаются к ним с необходимым усилием и следят за их перемещением. Деталь приводится во вращение. Кроме того, детали сообщается еще и осциллирующее движение. Коренные и шатунные шейки обрабатываются одновременно. Инструментальные головки подвешены шарнирно и уравниваются пружинами.

Суперфинишно-полировальный автомат модели 3А875 предназначен для обработки коренных и шатунных шеек, а также базового торца коленчатых валов длиной до 1000 мм. Автомат двухпозиционный. На первой позиции одновременно суперфинишируются все шейки и полируется торец, на второй позиции полируются шейки. Рабочие позиции автомата могут включаться как одновременно, так и последовательно

Суперфинишные головки применяют для окончательной обработки цилиндрических и конических поверхностей, в условиях индивидуального и мелкосерийного производства. Головки устанавливают на обычные токарные, круглошлифовальные или карусельные станки так, чтобы они не мешали производить токарные или шлифовальные работы.

Отклонение профиля продольного сечения – комплексный показатель для нормирования точности формы в продольном сечении.

Отклонения от круглости, а также частных видов отклонений – овальности и огранки – комплексный показатель для нормирования точности формы в поперечном сечении.

3.6. Наладка и автоматизация бесцентровых суперфинишных станков

Процесс наладки станка на конкретный диаметр обрабатываемой заготовки включает установку межосевого расстояния и угла перекрещивания валков, а также подбор и закрепление шлифовальных брусков требуемой характеристики, задание давления брусков, частоты осциллирования и частоты вращения валков.

Раздел 4. Геометрические параметры исполнительных устройств приводов технологического оборудования на базе механизмов с замкнутой системой тел качения

Механизм Гарарда - содержит три катка, центры которых расположены на одной прямой. Катки охватываются свободно вращающимся кольцом, надетым с натягом. При этом опоры хотя бы двух катков должны обладать податливостью в направлении прямой, на которой расположены их центры.

За ведущее звено может быть принят любой из трех катков.

Фрикционный механизм Козловых с замкнутой системой тел качения Передача движения от ведущего звена к ведомому звену осуществляется посредством системы тел качения, выполненных в виде промежуточных заклинивающих роликов, один из которых силами трения затягивается в пространство между колесами. Натяжная обойма удерживает заклинивающие ролики в требуемых положениях.

Червячный механизм с замкнутой системой тел качения содержит червяк с контактной поверхностью, выполненной в виде винтовой нарезки, в витках которой размещены два вида тел качения: рабочие и сепараторные шарики. Диаметры сепараторных шариков меньше диаметров рабочих шариков, контактирующих с зубьями червячного колеса. Шарики удерживаются в витках червяка неподвижным корпусом, в котором выполнен канал для перехода шариков из одного конца зацепления в другой. В корпусе имеется прорезь для обеспечения контакта зубьев червячного колеса с рабочими шариками.

Винтовой механизм с замкнутой системой тел качения состоит из винта и гайки, между витками которых расположены тела качения, выполненные в виде шариков. Перемещение тел качения (шарики) происходит через внешний возвратный канал, выполненный в теле гайки. С целью снижения потерь на трение, ЗСТК помещают в сепаратор.

Волновой осевой механизм с замкнутой системой тел качения состоит из трех звеньев, взаимодействующих друг с другом через промежуточные тела качения. Механизмы подобного типа содержат также соосные валы – наружный и внутренний – с замкнутыми периодическими дорожками качения. Сепаратор имеет продольные прорези, в которых располагаются тела качения. Роль генератора волн выполняет ведущий вал.

Волновой радиальный механизм с замкнутой системой тел качения содержит замкнутую систему тел качения, расположенную в продольных прорезях сепаратора. Преобразование вращательного движения вала 4, выполняющего роль генератора волн, происходит посредством взаимодействия рабочих поверхностей этого звена с телами качения 1, которые последовательно входят в контакт с зубчатым венцом 3.

Волновой эксцентриковый механизм с замкнутой системой тел качения состоит из эксцентрикового вала (генератор волн), сепаратора с выходным валом, тел качения и венца кулачковых секторов. Эксцентриковый вал, вращаясь, вызывает радиальное перемещение тел качения в пазах сепаратора.

Волновой винтовой механизм с замкнутой системой тел качения содержит винт, гибкую гайку, систему тел качения, размещенных в отверстиях обоймы, генератор волн, корпус, подшипники. Гайка состоит из цилиндрической обоймы с радиальными отверстиями, оси которых выполнены по винтовой линии с шагом, равным шагу винтовой канавки винта.

Волновой торцевой механизм с замкнутой системой тел качения

Рабочие поверхности выполнены в виде специальных профилей, расположенных на торцах дисков, обращенных друг к другу. Диск 1 исполняет роль зубчатого венца, а диск 2 является генератором волн. Между торцами дисков 1 и 2 установлена обойма с радиальными прорезями, в которых располагаются тела качения. Обойма дополнительно выполняет функцию сепаратора и является выходным звеном.

Волновой торцевой двухрядный механизм с замкнутой системой тел качения содержит волновой генератор, две системы тел качения, качающуюся шайбу и венец, размещенные на соосных входном и выходном валах. Системы тел качения установлены в сепараторах и зафиксированы от осевого и углового смещения. Волновой генератор снабжен профилированной торцевой канавкой, взаимодействующей с системой тел качения. На торцевой поверхности венца выполнена канавка, взаимодействующая с системой тел качения. Обе системы тел качения взаимодействуют с качающейся шайбой, которая зафиксирована сферической опорой, свободно посаженной на вал.

Волновой шарнирный механизм с замкнутой системой тел качения содержит колесо с внутренними зубьями прямолинейного профиля, переходящими в круговую впадину. Роликовое колесо с шарнирно закрепленными роликами располагается по контуру кулачка и выполняет роль гибкого колеса. Остановка роликового колеса осуществляется зацеплением его с двумя (для симметрии нагрузки на ролики) неподвижными зубчатыми колесами, имеющими число впадин, равное числу роликов. Круговой зуб колеса состоит из трех роликов a , b и c , которые расположены на одной оси и могут вращаться с разными скоростями.

Однорядный планетарный механизм с одной замкнутой системой тел качения (шарики) содержит корпус, в котором на ведущем валу и ведомом валу смонтирован фрикционно-планетарный механизм. Фрикционно-планетарный механизм состоит из кольца с беговой дорожкой, выполненного из двух частей, жестко установленного на ведущем валу, и кольца с внутренней фрикционной рабочей поверхностью. В корпусе подвижно вдоль его оси установлены и удерживаются от вращения фрикционы, поджатые к кольцу нажимным механизмом, состоящим из пружин.

Однорядный планетарный механизм с одной замкнутой системой тел качения (ролики) содержит корпус, ведущий и ведомый валы, эксцентрик, кольца, образующие ведущее звено, водило, диски с периодическими замкнутыми канавками и сателлиты (ролики). Диски соединены с корпусом посредством обгонных муфт и имеют возможность вращаться в одном направлении. При вращении ведущего вала получает вращение ведущее звено, образованное кольцами. При этом сателлиты (ролики) перемещаются по радиальным прорезям водила и одновременно вокруг оси передачи против часовой стрелки, увлекая за собой водило, связанное с ведомым валом.

Однорядный планетарный механизм с несколькими замкнутыми системами тел качения содержит ведущий вал с эксцентриком, на котором установлен подшипник, несущий ведущее звено, состоящее из коаксиальных колец, образующих кольцевую щель. В кольцевой щели, между обращенными друг к другу поверхностями колец, расположены две группы сателлитов, выполненных в виде роликов. Группа сателлитов взаимодействует с периодической канавкой, выполненной на неподвижном диске, а группа сателлитов взаимодействует с канавкой, выполненной на ведомом диске и связанной с выходным валом. Обе группы сателлитов удерживаются на требуемом угловом расстоянии при помощи водила, выполняющего роль сепаратора.

Двухрядный планетарный механизм с несколькими замкнутыми системами тел качения содержит: неподвижно установленные на ведущем валу два повернутых на 180° эксцентрика, на которые насажены подшипники с установленными на них ведущими дисками с беговыми дорожками под первую систему тел качения (шарики); водило с радиальными прорезями под первую систему тел качения (шарики), связанное с ведомым валом; неподвижно установленные на корпусе и крышке диски с многопериодичными дорожками и механизм поворота крышки относительно корпуса.

Эксцентрикковый планетарный механизм с замкнутой системой тел качения состоит из корпуса, кулачка, несущего элемента с системой тел качения в виде роликов, имеющей возможность обкатываться внутри колец, которые замыкаются на кулачке и кривошипе, связанном с входным валом.

Момент на выходной вал может передаваться посредством водила с радиально расположенными на нем отверстиями, диаметр которых на два эксцентриситета кривошипа больше диаметра тел качения.

Эксцентрикковый торцевой планетарный механизм с замкнутой системой тел качения содержит плавающую шайбу, посаженную на эксцентрик входного вала и воздействующую на систему тел качения в виде шариков, расположенных в отверстиях центрального колеса и зацепляющихся с периодической дорожкой качения центрального колеса. Рабочая поверхность плавающей шайбы выполнена конической. Периодическая дорожка качения на центральном колесе имеет направление изгиба вдоль поверхности, образующая которой лежит в диапазоне углов от перпендикуляра к конической поверхности до параллельного направления к оси механизма.

Планетарный механизм с двухрядной замкнутой системой тел качения содержит свободно вращающиеся центральный цилиндрический каток, являющийся входным звеном, и охватывающее кольцо, выполняющее роль выходного звена. Звенья расположены соосно. Между звеньями расположена двухрядная ЗСТК, представленная в виде двух рядов роликов, размещенных в шахматном порядке. Ролик, входящий в состав внешней системы тел качения 4, шарнирно закреплен на подвижном звене.

Планетарный механизм с замкнутой системой тел качения типа 2К

обладает структурой, состоящей из подвижного центрального катка, неподвижного охватывающего кольца, сателлитов водила. Центральные каток и неподвижное охватывающее кольцо расположены соосно с натягом и за счет своей упругости постоянно контактируют с сателлитами. Деформация звеньев позволяет перемещаясь сателлитам совместно с водилом в радиальном направлении при отсутствии люфта и разгрузить опоры звеньев механизма.

Безводильный планетарный механизм с замкнутой системой тел качения (передача Вагнера). Механизм содержит: ведущее центральное колесо с внутренними зубьями z_1 , неподвижное опорное центральное колесо с наружными зубьями z_2 , выполненное с двумя венцами, разнесенными друг относительно друга в осевом направлении; ведомое центральное колесо с наружными зубьями z_3 , расположенное между этими венцами и соединенное с ведомым валом.

Плавающие сателлиты состоят из вала-шестерни с числом зубьев z_4 и двух одинаковых боковых колес с числом зубьев z_5 , надетых на конусы вала-шестерни. Боковые колеса сателлитов зафиксированы с нужным относительным угловым смещением на конусах и стянуты болтом. Ведущее центральное колесо взаимодействует с зубчатым венцом вала-шестерни 4 сателлита.

Безводильный планетарный механизм с двухзвенной замкнутой системой тел качения предусматривает применение двухзвенных сателлитов. Двухзвенный сателлит состоит из двух зубчатых колес, имеющих общую ось и свободу относительного вращения вокруг этой оси.

Структура механизма содержит: ведущее центральное колесо с внутренними зубьями; неподвижное опорное центральное колесо с наружными зубьями z_2 выполненное с двумя венцами, разнесенными друг относительно друга в осевом направлении; ведомое центральное колесо с наружными зубьями z_3 расположенное между этими венцами, соединенное с ведомым валом.

Механизм с замкнутой системой тел качения типа К-Н-V состоит из входного вала, кулачка, пальца, втулки и замкнутой системы тел качения, реализованной в виде роликов.

Входной вал с кулачком нажимает на палец, который помещен во втулку, по наружной поверхности которой перекачиваются тела качения (ролики). В результате тела качения (ролики) оказываются прижатыми к внутренней поверхности, что позволяет привести во вращение сателлит. профиль которого выполнен в форме трапеции.

Сферический механизм с замкнутой системой тел качения. Схема сферического механизма с ЗСТК содержит корпус, в котором расположен ведущий вал с закрепленной на нем первой щекой. На продолжении ведущего вала расположена вторая щека, повернутая на 180° относительно первой. Обе щеки связаны между собой шейкой, образуя кривошипный механизм. Внутренняя ступица шарнирно образована базисным шаром, охваченным диаметрально круговым пазом, и расположена на шейке.

Концентрически расположенная нагрузочная ступица является внешней и содержит пазы полукруглой формы, плоскости расположения которых совпадают с осью ведущего вала. Обе ступицы находятся в силовой взаимосвязи посредством системы тел качения в виде шариков. Точка пересечения осей ведущего вала и шейки является центром сферы для обеих ступиц. При этом шейка и круговой паз находятся в разных квадрантах. Осевым развитием внешней ступицы является нагрузочный вал, который сопрягается с продолжением ведущего вала посредством подшипника.

Раздел 5. Специальные материалы в машиностроении

Тема 5.1. Принципы разработки высокопрочного состояния

Прочностью называют способность материалов сопротивляться пластической деформации и разрушению под действием внешней нагрузки. Понятие о минимальном уровне прочности высокопрочных сплавов условно и не регламентировано нормативными документами. Высокопрочное состояние зависит от назначения изделий, условий и требований их эксплуатации.

К *высокопрочным машиностроительным сталям* принято относить стали с пределом текучести $\sigma_{0,2} \geq 1200$ МПа. Исходя из этих значений прочностных характеристик, к высокопрочным следует относить конструкционные закаленные и низкоотпущенные стали, мартенситностареющие, дисперсионно-твердеющие и др.

К *основным механизмам упрочнения сталей* относятся: измельчение зерна, образование твердых растворов, выделение частиц второй фазы, превращения при термообработке и увеличение плотности дислокаций.

Напряжение трения решетки, или напряжение Пайерлса — Набарро, определяется свойствами решетки и сопоставимо с напряжением, которое должно быть преодолено дислокациями при движении их в очень крупных зернах или, что более точно, с пределом текучести монокристаллов чистых металлов. Напряжение трения возрастает с понижением температуры и увеличением скорости деформации.

Твердорастворное упрочнение $\Delta\sigma_{тр}$ обычно связывают в первую очередь с различием атомных диаметров растворителя и легирующих элементов. Атомы легирующих элементов, располагаясь вокруг покоящихся дислокаций, могут осуществлять их закрепление или оказывать сопротивление перемещению дислокаций, затрудняя их движение. Оба эффекта требуют повышения напряжения для пластической деформации. Закрепление дислокаций проявляется в появлении площадки текучести на диаграмме растяжения. Сопротивление движению дислокаций, не меняя форму кривой деформации, сдвигает ее к более высоким значениям напряжений при равной деформации

Дислокационное упрочнение $\Delta\sigma_{д}$ - упрочнение металлов при пластической деформации обусловлено образованием новых дислокаций и увеличением их плотности. Это приводит к тому, что перемещению

дислокаций начинают препятствовать сами же дислокации.

Эффект Баушингера. Предварительная деформация может не только повышать, но и снижать прочность. При последующем нагружении в противоположном направлении пластическое течение возникает при более низком напряжении (эффект Баушингера). Эффект Баушингера объясняется тем, что в результате предварительной деформации в материале создаются поля внутренних напряжений, которые накладываются на приложенное напряжение и облегчают течение при приложении нагрузки в противоположном направлении.

Упрочнение дисперсными частицами или дисперсионное упрочнение $\Delta\sigma_d$ имеет наибольшее значение для цветных металлов, в частности дуралуминов, сплавов на основе кобальта, никеля, меди. В последние годы разработаны новые сплавы на основе железа, прочность которых в значительной мере определяется дисперсионным твердением. Микролегированные конструкционные стали содержат небольшие количества Ti, V, Zr, Nb, которые образуют с углеродом и азотом твердые дисперсные частицы карбонитридов. Растворенный в железе алюминий образует с азотом твердые частицы AlN.

Основными упрочняющими фазами в легированных сталях и сплавах на никелевой основе являются карбиды, нитриды, комплексные карбонитриды, интерметаллиды. Наиболее часто встречаются карбиды Fe₃C, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆, MoC, Mo₂C, VC, NbC, TiC. В некоторых карбидах часть атомов может быть замещена другими элементами: (Fe, Cr)₇C₃; (Fe, Cr)₂₃C₆; (Fe, Mo, W)₆C. К нитридам и карбонитридам относятся Fe₄N; CrN; MoN; N; NbN; TiN; AlN; V(C, N); Nb(C, N); Ti(C, N), а к интерметаллидам — NiTi; Ni₃Ti; NiAl; Ni₃Al; Ni₃(Ti, Al); Fe₂Mo; FeV и др.

Карбиды и карбонитриды оказывают определяющее влияние на упрочнение сравнительно низколегированных ферритно-перлитных сталей, а *интерметаллиды* — на упрочнение аустенитных и мартенситно-старееющих сталей и многих сплавов на основе никеля, кобальта и др.

Механизм упрочнения ферритно-перлитных сталей обусловлен тем, что деформация начинается в феррите, а перлитные колонии препятствуют движению дислокаций. Чем больше перлитной составляющей, чем выше ее дисперсность и меньше расстояние между отдельными пластинками цементита, тем выше степень упрочнения.

Зернограничное упрочнение - уменьшение размеров зерен способствует росту предела текучести. Движущиеся дислокации не могут пройти через границы зерен, и передача деформации происходит методом эстафеты — путем возбуждения дислокационных источников, расположенных по другую сторону границ.

Зерно — это не монолитный кристалл, построенный из строго параллельных атомных слоев. Зерно состоит из отдельных блоков, кристаллографические плоскости в которых повернуты относительно друг друга на небольшой угол (порядка нескольких угловых минут).

Особенностью зернограничного упрочнения является то, что при

реализации этого механизма одновременно с увеличением прочности происходит увеличение вязкости и пластичности стали. С измельчением зерна снижается температура вязкохрупкого перехода и повышается сопротивление хрупкому разрушению.

Сверхпластичность. При нагреве до температур более $0,5T_{пл}$ в ряде сплавов с особо мелкозернистой структурой (менее 10 мкм) при низком напряжении течения может быть достигнута очень большая пластическая деформация с удлинением в несколько сотен процентов. Такое поведение при деформации называется сверхпластичностью. Механизм сверхпластичности обусловлен тем, что деформация, осуществляемая движением дислокаций, существенно дополняется зернограницным скольжением и поддерживается диффузией.

Температура превращения (фазовые превращения) оказывает влияние на все без исключения механизмы превращения. Понижение температуры превращения активизирует ее интенсивность, тем самым усиливая суммарный эффект упрочнения. Чем ниже температура превращения, тем меньше размер зерна продукта превращения, выше плотность дислокаций и дисперсность выделений второй фазы. С понижением температуры превращения благодаря усиливающейся тенденции к удержанию растворенных атомов в твердом растворе растет эффект твердорастворного упрочнения.

Тема 5.2. Методы повышения конструкционной прочности сталей и сплавов

Конструкционные стали должны обладать не только прочностью как таковой, измеренной на образцах, а *конструкционной прочностью*, определяющей надежность изделия в целом. Поэтому особенность требований, предъявляемых к конструкционным материалам, состоит в обеспечении комплекса свойств, а не одной какой-либо характеристики.

Качество стали зависит от содержания газов, вредных примесей (сера, фосфор, цветные металлы), количества, размеров и формы неметаллических включений.

Для *улучшения качества жидкой стали* в условиях массового производства применяют выпечные методы ее обработки. Широкое распространение получили методы обработки металла в ковше синтетическими шлаками, продувки аргоном и выпечное вакуумирование в ковше и изложнице при разливке.

Сущность метода *обработки в ковше синтетическими шлаками* состоит в следующем. В отдельной электропечи выплавляют шлак заданного состава, состоящий в основном из смеси оксидов CaO и Al_2O_3 с низким содержанием FeO . Шлак заливают в ковш, а затем в этот ковш на шлак выпускают металл из сталеплавильной печи. Синтетический шлак при этом интенсивно перемешивается с металлом. Поверхность контакта во много раз превышает поверхности естественного раздела «шлак — металл» в печи и в ковше при обычной технологии. Взаимодействие металла с эмульги-

рованным шлаком способствует интенсивной десульфурации и некоторому снижению содержания оксидов в стали.

Основной целью *продувки в ковше инертным аргоном* является удаление растворенных газов, взвешенных неметаллических включений, выравнивание состава и температуры металла перед разливкой. Аргон подводится через донные пористые пробки. В результате продувки из стали удаляется до 50% O, 40% H и 15% N, а содержание неметаллических включений уменьшается на 30–50%.

Принцип *вакуумной обработки* состоит в том, что при снижении атмосферного давления уменьшается растворимость газов (кислорода, азота, водорода) в жидкой стали и они удаляются из металла. Одновременно происходит более глубокое раскисление имеющимся в стали углеродом с удалением образующегося оксида CO.

Рафинирование стали в установках «печь — ковш» обеспечивает массовое производство металла особо высокого качества. Сталь имеет однородный состав, высокие характеристики пластичности, вязкости и трещиностойкости. Одновременно практически полностью подавляется флокеночувствительность стали.

Особенностью *способа электрошлакового переплава* является использование для расплавления электрода тепла, выделяющегося в расплавленном шлаке, играющем роль электрического сопротивления. Рафинирующей средой является шлаковая ванна. Капли жидкого металла проходят через слой шлака специального состава, удаляющего серу и способствующего глубокому раскислению. Затвердевание металла происходит в водоохлаждаемом кристаллизаторе, позволяющем получить плотный слиток и равномерное распределение включений.

При *вакуумном дуговом переплаве* электрод расплавляется за счет тепла вольтовой дуги и постепенно каплями заполняет кристаллизатор, в котором поддерживается вакуум. При ВДП происходит очистка металла от газов. Благодаря постепенному заполнению жидким металлом кристаллизатора создаются лучшие условия кристаллизации и отсутствуют многие дефекты, характерные для слитков обычной выплавки. Металл имеет более плотное строение и равномерное распределение неметаллических включений по сечению слитка.

Метод электронно-лучевой плавки основан на использовании тепловой энергии, выделяющейся в расплавленном металле при бомбардировке его быстрыми электронами (рис. 3.3в). Электроны, излучаемые катодом, разгоняются электрическим полем до высоких скоростей, и приобретенная электронами кинетическая энергия при ударе о поверхность переходит в тепловую и расплавляет металл. Высокая дисперсность капель жидкого металла позволяет осуществлять более глубокое рафинирование, чем при ВДП.

Неметаллические включения оказывают определяющее влияние на характер разрушения стали. Зарождение трещин у неметаллических включений обычно происходит либо в результате разрушения включения и

переходе трещины из него в металл, либо при отделении включения от металлической матрицы с последующим ростом образовавшейся полости. Это связано с низкой прочностью как самих включений, так и контактного слоя «металл — включение». Первичные микротрещины образуются вокруг наиболее крупных (более 10 мкм) включений, таких как MnS, CaS, Al₂O₃, SiO₂. С понижением температуры влияние включений усиливается, причем особенно заметно с повышением общей загрязненности металла.

Модифицирование сталей применением модификаторов с их высоким рафинирующим эффектом и способностью осуществлять глобуляризацию неметаллических включений. Позволяет измельчить микро- и макроструктуру, уменьшить развитие химической, физической и структурной неоднородности, снизить содержание газов, благоприятно изменить природу и форму неметаллических включений, повысить комплекс технологических и эксплуатационных свойств.

Углерод является наиболее экономичным элементом, способствующим повышению прочности стали. При увеличении содержания перлита в 2 раза с 15 до 30% достигается увеличение предела текучести на 50 МПа и предела прочности на 100 МПа. К сожалению, повышение содержания углерода приводит к существенному снижению характеристик разрушения и пластичности.

Метод термупрочнения проката состоит в его ускоренном охлаждении после окончания прокатки. При этом образуются более низкотемпературные продукты распада аустенита. Перлит получается более дисперсного строения. Прочность стали возрастает на 30–50% при сохранении высоких значений пластических свойств и снижении порога хладноломкости.

Контролируемая прокатка — разновидность термомеханической обработки, она представляет собой обработку металла давлением, регламентируемую определенной температурой окончания прокатки ($\approx 800\text{--}850^\circ\text{C}$) и заданной степенью обжатия (15–20%) в последних проходах.

Термомеханическая обработка состоит в пластическом деформировании аустенита с последующим быстрым охлаждением и низким отпускком.

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) — пластическая деформация производится в области стабильного аустенита при температуре выше A_{c3} ,

Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) — при температурах относительной стабильности аустенита, т. е. при $350\text{--}500^\circ\text{C}$. НТМО, получившая в США название «аусформинг», обычно применяется для конструкционных легированных сталей с широким временным интервалом устойчивости аустенита ниже температуры рекристаллизации.

Регулирование размеров зерна термоциклированием. Размер конечного зерна стали зависит от различных факторов: химического состава стали, исходной микроструктуры, скорости нагрева в интервале превращения, максимальной температуры нагрева, времени выдержки выше точки A_{c3} и числа циклов быстрый «нагрев — охлаждение». Многократные циклы

фазового перехода при нагреве и охлаждении позволяют измельчить первичное аустенитное зерно до 14-го балла по шкале ASTM (средний диаметр зерен 3–5 мкм).

Нанесение металлических покрытий погружением в расплав. Этот метод состоит в том, что стальные изделия погружаются в ванну расплавленного металла, образующего антикоррозионное покрытие. В качестве металла покрытия используют цинк, алюминий, их сплавы, а также свинец. Покрытия из этих металлов могут наноситься как на отдельные детали, так и на полосу или проволоку, протягиваемые сквозь расплав. Во избежание вторичного окисления стальная поверхность не должна быть в контакте с кислородом воздуха. Для выполнения этого требования полоса по мере поступления обдувается газами-восстановителями, а отдельные детали и проволока после травления и промывки обрабатываются в расплаве из смеси цинка, алюминия и щелочных металлов.

Гальванические покрытия. Качество покрытий, полученных этим методом, также в значительной мере зависит от качества подготовки поверхности стальных изделий. Для удаления поверхностных загрязнений применяют электрохимическое обезжиривание и травление. Переход ионов металла в кристаллическое состояние — электрокристаллизация — определяется процессами на катоде при электролитическом осаждении. В качестве гальванических покрытий используют металлы: хром, никель, медь, олово, цинк и свинец.

Осаждение покрытий из газовой фазы в вакууме. К способам нанесения покрытий из газовой фазы относится катодное напыление, термическое напыление и ионное плакирование. Из перечисленных способов наиболее широко применяется метод термического напыления. В основе этой технологии нанесения покрытий лежит принцип осаждения на подложку материала из паровой фазы в вакууме. Нагретый до высокой температуры материал покрытия испаряется в вакууме и осаждается на материале подложки, имеющем по сравнению с ним гораздо более низкую температуру. Высокий вакуум (10^{-3} – 10^{-1} Па) способствует процессу испарения.

Вакуумное напыление – осаждение вещества, распыленного при ионной бомбардировке катода-мишени (в ходе самопроизвольного или не самопроизвольного газового разряда) на подложку.

Осаждение из паровой фазы в вакууме – осаждение парового потока какого-либо вещества, полученного термическим испарением, на какую-либо подложку.

Ионное плакирование – осаждение какого-либо термически испаренного вещества на подложку, причем подложка как предварительно, так и во время процесса формирования слоя подвергается бомбардировке ионами высоких энергий.

Напыление покрытий - метод металлизации напылением был открыт в 1912 г. Шоопу с помощью сжатого воздуха удалось распылить через сопло расплавленный в тигле металл и нанести его на заготовку. Позднее для

расплавления металлической проволоки Шооп использовал электродуговой металлизатор. Металлизацию напылением используют для защиты деталей от износа, коррозии, воздействия высоких температур, исправления дефектов отливок, нанесения декоративных, электропроводящих, диэлектрических и теплоизоляционных покрытий. Особые свойства металлизационных покрытий, их высокая эффективность обеспечивают применение этого метода во многих отраслях промышленности. Метод позволяет напылять практически все металлы, оксиды, карбиды и бориды металлов, а также термопласты на любые материалы.

Плакирование – при плакировании происходит послойное соединение стали с другими металлами с получением двухслойного или многослойного комбинированного материала. Плакированные слои металла обычно гораздо толще слоев, полученных другими способами обработки поверхности. Метод плакирования используется при изготовлении плит, полос, тонкого листа, а также труб, профилей или проволоки. В качестве материала для плакирования низколегированных сталей разных марок применяют самые разные металлические материалы: коррозионно-стойкие ферритные или аустенитные стали, медь и никель или их сплавы, а также алюминий, титан, тантал, ниобий и молибден.

Заливка с разделительной листовой камерой. В изложницу для слитка закладывают перфорированные разделительные листы, отмечающие положение будущей плоскости соединения между сталями *А* и *В*. Затем заливают стали *А* и *В* одновременно из двух ковшей через две воронки, причем необходимо следить за равенством высот зеркала жидкого металла в обеих частях изложницы.

Комбинация твердого металла с жидким Твердые металлические плиты с химическим составом *А* закладывают в соответствующую изложницу для слитка и закрепляют в ней, а затем заливают вокруг нее жидкий металл *В*. Проводят предварительную подготовку пластины (строгание или травление, нанесение разделительного слоя). Таким способом можно получать биметаллические листовые и сортовые слитки различной структуры, из которых можно прокатывать, например, плакированные листы сталей марок 15 и 12Х18Н10Т, 15 и 10Х13 или фасонные профили. Окончательное соединение (схватывание) слоев обычно обеспечивается во время прокатки биметаллического слитка.

Способ пакетной прокатки. Преобладающим способом получения плакированных листов является способ прокатки собранных и сваренных многослойных пакетов.

Производство биметаллических труб. В качестве плакирующего слоя в биметаллических трубах используют такие дорогие и дефицитные металлы, как нержавеющая сталь, медь, бронза, латунь, никель, алюминий, хром, титан, ниобий. Диаметр биметаллических труб может составлять от 2 до 650 мм с толщиной стенки от 0,2 до 50 мм при толщине плакирующего слоя из остродефицитных металлов и сплавов 0,05–15 мм.

Плакирование взрывом является новым производственным процессом,

применяемым для получения плакированных листов; оно рекомендуется для таких пар (комбинаций) материалов, соединить которые другими способами плакирования невозможно или можно лишь с большим трудом, или же для изготовления изделий специального назначения. При плакировании взрывом один материал прижимается к другому за счет энергии взрывчатого вещества, в результате чего и происходит сваривание. Переходная зона от одного металла к другому очень узка. Поскольку диффузионные процессы в переходной зоне отсутствуют, возможно появление соединений металлов, образующих при перемешивании сплавы.

Двухфазные стали иногда называемые сталями с дуальной структурой. Их так называют потому, что они содержат дисперсные частицы мартенсита общим объемом от 10 до 30% в ферритной матрице. Являются примером целенаправленного структурного превращения, когда используют дозированный механизм упрочнения, характерный для получения закалочных структур. В результате наблюдается сочетание высокой твердости малых количеств мартенситной структурной составляющей, равномерно распределенной в хорошо деформируемой мягкой ферритной матрице.

Тема 5.3. Высокопрочные конструкционные стали

Легированные низкоотпущенные стали. Большинство легированных конструкционных сталей после закалки и низкого отпуска могут иметь высокие значения временного сопротивления ($\sigma_B > 1700$ МПа) и предела текучести ($\sigma_{0,2} > 1500$ МПа) при достаточно высоких значениях пластичности (относительное удлинение и относительное сужение). Однако конструктивная прочность низкоотпущенных легированных сталей обычно понижена из-за повышенной чувствительности к надрезам вследствие низкого сопротивления хрупкому разрушению.

Дисперсионно-твердеющие стали. Для изготовления высокопрочных изделий с высокой устойчивостью к повышенным температурам эксплуатации используют стали со вторичным твердением. Эффект вторичного твердения при отпуске закаленных на мартенсит сталей основан на выделении специальных карбидов в интервале температур 550–650°C. При этом повышаются прочностные характеристики стали и падают пластичность и вязкость. Возрастание прочности и твердости сталей при вторичном твердении происходит при определенной объемной доле выделяющихся карбидов.

Мартенситно-стареющие стали — это особый класс материалов, превосходящих по конструкционной прочности и технологичности рассмотренные ранее легированные низкоотпущенные и дисперсионно-твердеющие среднеуглеродистые стали. Их основа — безуглеродистые сплавы железа с высоким содержанием никеля до 20%, дополнительно легированные Co, Mo, Ti, Al, Cr и другими элементами.

Высокопрочные стали с пластичностью, наведенной превращением, в отечественной литературе получили название ПНП-сталей (пластичность,

наведенная превращением), а в зарубежной литературе — трип-сталей (TRIP — transformation induced plasticity). Принцип их получения и способы упрочнения состоят в следующем. Соответствующим подбором легирующих элементов снижают мартенситные точки M_n и M_d ниже комнатной температуры в исходном состоянии после аустенитизации при температуре 980–1200°C. M_n — температура, выше которой не идет мартенситное превращение при охлаждении; M_d — то же, при деформации. Таким образом, после закалки такие стали имеют аустенитную структуру. Для получения повышенных прочностных свойств стали подвергают пластической деформации в интервале температур 250–550°C (ниже температуры рекристаллизации) с большими степенями обжатия (до 80%).

Стали со сверхмелким зерном. Измельчение зерна является тем способом управления структурой, который приводит к одновременному повышению прочности и вязкости стали, т. е. к увеличению конструкционной прочности и сопротивления хрупкому разрушению. Получение сверхмелкозернистой структуры с диаметром зерна порядка 10 мкм и меньше (13–14 баллов) можно осуществить при скоростной аустенитизации с применением методов сверхскоростного нагрева и коротких выдержек при температурах, ненамного превышающих критические.

Тема 5.4. Порошковые материалы

Порошковая металлургия — это технологический процесс изготовления изделий из порошков различных материалов путем их формования, прессования и спекания.

Технологический процесс изготовления изделий из порошков включает получение порошков, подготовку шихты, формование, спекание, горячее прессование и штамповку. Иногда применяют дополнительную обработку, состоящую из пропитки деталей смазками, термической и химико-термической обработки, калибровки и обработки резанием.

Размеры частиц порошка обычно составляют 0,1 мкм — 0,1 мм. Более крупные фракции называют гранулами, а более мелкие — пудрой.

В основе *физико-механических способов* получения порошков лежат методы механического измельчения металлов в твердом и жидком состояниях. К ним относятся дробление и размол стружки в мельницах, распыление расплавленного металла струей сжатого воздуха, газа или жидкости, грануляция при литье расплавленного металла в жидкость и пр.

К *химико-металлургическим способам* относятся способы восстановления металлов из оксидов, электролитическое осаждение металлов из водных растворов солей, термическая диссоциация карбонильных соединений металлов.

Распыление жидких металлов является сравнительно простым технологическим процессом получения порошков алюминия, цинка, меди, сплавов на основе железа, а также высоколегированных материалов. Сущность распыления состоит в разрушении струи металлической

жидкости газовым потоком или водой высокого давления.

Метод восстановления металлов из оксидов — один из перспективных путей производства порошков некоторых металлов. Особо чистые порошки металлов можно получать электролитическим осаждением основного продукта из водных растворов солей металлов, а также термической диссоциацией карбонильных соединений металлов.

Приготовление шихты осуществляется смешиванием порошков разного состава на специальном смесительном оборудовании. Смешиванием порошка достигается получение шихты однородного гранулометрического и химического состава. При смешивании компонентов, резко отличающихся по физическим свойствам, для улучшения перемешивания добавляют жидкости (спирт, глицерин, воду). Для улучшения формуемости вводят пластификаторы (раствор в бензине каучука или парафина).

Прессование (формование) порошков. Прессованием порошков и их смесей называются операции, в результате которых под действием приложенных сил (без приложения сил — формование) из бесформенного сыпучего порошка получают относительно прочные заготовки.

Спекание является одной из важнейших технологических операций, применяемых в порошковой металлургии. При спекании из сформованного или спрессованного порошка формируется прочное компактное тело с определенной структурой и свойствами.

Марки порошковых конструкционных сталей обозначают по ГОСТ 28378-89. Буква «П» означает принадлежность к порошковому материалу; «К» — назначение материала (конструкционный); остальные буквы указывают на содержание легирующих элементов. Цифры, стоящие после букв «ПК», указывают среднюю долю углерода в сотых долях процента. Цифры, стоящие после букв, указывают массовую долю в материале легирующих компонентов в процентах; отсутствие цифры означает, что массовая доля компонента меньше или равна 1%. После состава через дефис указывается минимальная плотность материала (г/см³).

Для получения высокой плотности и повышения коррозионной стойкости применяют горячее вакуумное прессование, горячую и холодную штамповку, экструзию, ковку, горячее изостатическое прессование, прокатку. Вакуумным горячим прессованием при 1200°C из порошковой стали X23N18 получают заготовки с $\gamma = 7,77$ г/см³.

Перспективно *использование порошков титана и его сплавов* для изготовления тяжело нагруженных деталей. Высокие механические свойства порошковых изделий на основе титана ($\sigma_v = 650\text{--}900$ МПа, $\delta = 8\text{--}16\%$) позволили применить их для изготовления шатунов автомобильных двигателей. Это дало возможность существенно уменьшить массу, снизить инерционные силы и повысить мощность двигателя. Из порошков титана организовано серийное производство таких деталей, как втулки, крышки, трубы для химического и пищевого машиностроения, приборостроения и др.

Антифрикционные порошковые материалы характеризуются низким

коэффициентом трения, хорошей износостойкостью, способностью легко прирабатываться к валу и выдерживать значительные нагрузки. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными антифрикционными материалами. Их износостойкость в несколько раз выше, чем у бронз и баббитов. Они работают при более высоких скоростях и давлениях. Наличие в структуре пористости, регулируемой в широких пределах (до 35%), позволяет предварительно пропитывать их смазочными маслами.

Эффект самосмазываемости в пропитанных маслом пористых подшипниках, без подвода смазки извне, может сохраняться в течение 3000–5000 ч. Во время работы по мере нагревания масло, удерживаемое в порах и мельчайших каналах материала капиллярными силами, постепенно вытесняется наружу и образует смазочную пленку на рабочей поверхности. При остановке и последующем охлаждении подшипника масло частично всасывается обратно в поры. Поэтому пористые подшипники могут работать длительное время без дополнительной смазки.

Внедрение порошковых подшипников скольжения повышает надежность и долговечность работающего оборудования, снижает трудоемкость процесса их изготовления, позволяет уменьшить отходы металла в стружку, обеспечивает экономии дефицитных цветных металлов и сплавов

Порошковые фрикционные материалы предназначены для работы в различных тормозных и передаточных узлах автомобилей, гусеничных машин, дорожных и строительных механизмов, самолетов, станков, прессов и т. п. Фрикционные элементы из порошковых материалов изготавливают в виде дисков, секторных накладок и колодок различной конфигурации. Применяют порошковые фрикционные материалы на основе меди и на основе железа.

Высокопористые порошковые металлические материалы благодаря жесткому пространственному каркасу имеют более высокую прочность. Они выдерживают резкие колебания температур, легко обрабатываются, свариваются и паяются, обеспечивают необходимую коррозионную стойкость, жаростойкость, теплопроводность. Вследствие высокой пористости они имеют хорошую проницаемость для жидкостей и газов при достаточно тонкой фильтрации (до 30 мкм). Эти материалы легко регенерируются и при этом почти полностью восстанавливают свои первоначальные свойства. Они не засоряют фильтрующиеся жидкости или газы материалами фильтра.

Получение порошков быстрорежущих сталей осуществляется методами газового и водного распыления. Основные технологические операции получения порошковых заготовок для инструментов методом газового распыления производятся в следующей последовательности: 1) распыление расплава азотом; 2) рассев фракций; 3) загрузка в контейнер; 4) вакуумирование, заполнение азотом и заварка контейнера; 5) холодное изостатическое прессование (ХИП) контейнера; 6) нагрев контейнера; 7) горячее изостатическое прессование (ГИП) контейнера; 8) пластическое

деформирование заготовки; 9) изготовление окончательного сорта; 10) передача прутков на изготовление инструмента.

Карбидостальми называют порошковые материалы, состоящие из легированной стальной матрицы и карбидов с массовой долей от 20 до 70%. В качестве карбидной составляющей чаще всего применяют карбид титана. Матрица из легированной стали выполняет роль связи с равномерно распределенными в ней карбидами.

Тема 5.5. Хладостойкие материалы

Низколегированные хладостойкие стали широко используют в строительных конструкциях, для изготовления труб магистральных газопроводов, металлоконструкций машин и механизмов, в судостроении и других отраслях. Стали должны иметь низкий порог хладноломкости, обладать хорошей свариваемостью, обрабатываемостью давлением и резанием, а в случае литого исполнения — хорошими литейными свойствами. В свариваемых хладостойких сталях содержание углерода должно быть ниже 0,2% и в структуре должно быть мало перлита (малоperlитные стали). Принято считать, что увеличение в стали содержания углерода на каждые 0,1% повышает порог хладноломкости на 20°C.

Неметаллические включения играют важную роль в формировании структуры и свойств сплавов. Управление природой неметаллических позволяет получать сплавы с заданными свойствами, улучшать их качество, повышать надежность и долговечность изделий. Для улучшения качества снижают общее количество включений и проводят их глобуляризацию путем модифицирования.

Раскисление стали - процесс снижения содержания растворенного в стали кислорода и максимально возможного удаления оксидов — продуктов реакции раскисления.

Бескремнистое раскисление. Сущность способа заключается в том, что раскисление стали осуществляется алюминием, алюминием и титаном или алюминием и марганцем. В этом случае кремний при необходимости вводят в полностью раскисленную сталь.

Неметаллические материалы в качестве конструкционных материалов служат важным дополнением к металлам, используемым в технике низких температур. В ряде случаев они успешно заменяют их, а иногда неметаллические материалы сами являются незаменимыми. Их достоинством является сочетание необходимого уровня химических, физических и механических свойств с низкой стоимостью и высокой технологичностью при изготовлении изделий сложной конфигурации. Трудоемкость при изготовлении изделий из неметаллических материалов в 5–6 раз ниже, и они в 4–5 раз дешевле по сравнению с металлическими.

Полимеры — это химические соединения, представляющие собой длинные цепные молекулы, состоящие из многочисленных последовательно соединенных звеньев одинакового строения (мономерные звенья). По

фазовому составу полимеры представляют собой системы, состоящие из кристаллических и аморфных областей.

Пластмассы — синтетические материалы, получаемые на основе органических и элементоорганических полимеров. Свойства пластмасс определяются свойствами полимеров, являющихся их основой.

Термопластичные пластмассы. В технике низких температур наибольшее применение находят термопластичные пластмассы на основе полиэтилена, полистирола, фторопластов, полиамидов и других полимеров.

Полиэтилен имеет линейную структуру макромолекул $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ и является продуктом полимеризации этилена. Его температура стеклования T_g составляет от -170 до 130°C . По способу изготовления различают полиэтилен низкой плотности (до $0,930 \text{ г/см}^3$) и полиэтилен высокой плотности (до $0,970 \text{ г/см}^3$). Полиэтилен высокой плотности имеет степень кристалличности до 75–95%.

Фторопласты — полимеры фторпроизводных этиленового ряда. Фторопласты имеют прочность при растяжении 15–35 МПа, при изгибе — 10–15 МПа; относительное удлинение при разрыве — 250–350%. Наиболее широкое распространение получил фторопласт-4 (тефлон) или политетрафторэтилен.

Поликарбонат — термопластичный полимер на основе дифенилолпропана и фостена, выпускаемый под названием «дифлон». Это один из наиболее хладостойких и ударопрочных термопластов, что обеспечило возможность его использования в качестве конструкционного материала, заменяющего металлы. Его можно использовать в криогенной технике для работы в среде жидких газов

С понижением температуры все резины охрупчиваются. Резины общего назначения можно эксплуатировать в интервале рабочих температур от -50 до 150°C . Нижней границей рабочих температур резин специального назначения является температура -80°C .

Тема 5.6. Коррозия и коррозионно-стойкие материалы

Коррозией называют разрушение материалов под влиянием окружающей среды в результате ее химического или электрохимического воздействия.

Химическая коррозия, обусловлена воздействием сухих газов, а также жидкостей, не являющихся электролитами (нефть, бензин, фенол)

Электрохимическая коррозия, обусловлена воздействием жидких электролитов: водных растворов солей, кислот, щелочей, влажного воздуха, грунтовых вод, т. е. растворов, содержащих ионы и являющихся проводниками электричества.

Общая или равномерная коррозия происходит в случае однофазного материала, например чистого металла или однородного твердого раствора коррозия распространяется равномерно по всей поверхности детали.

Местная коррозия происходит в неоднородных металлах, носит местный характер, охватывая отдельные анодные участки их поверхности с низким значением электродного потенциала. К *местной коррозии* относятся

питтинг, или точечная коррозия, пятнистая и язвенная ее разновидности. Очаги местной коррозии являются концентраторами напряжений.

Межкристаллитная коррозия (МКК). Анодными участками могут быть границы зерен и фаз, в то время как зерна сами по себе являются катодами. Она почти незаметна с поверхности и распространяется в глубь металла по границам зерен. В результате межкристаллитной коррозии нарушается связь между зернами, при постукивании по металлу пропадает характерный металлический звук и после приложения нагрузки металл легко разрушается.

Коррозионная усталость — это процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений и коррозионно-активных сред. Образование и развитие усталостных трещин сопровождается проникновением коррозионной среды в эти трещины, что облегчает разрушение. Этому виду разрушения подвержены практически любые конструкционные материалы на основе железа, алюминия, титана, меди и других металлов. Особая опасность коррозионно-усталостного разрушения состоит в том, что оно может проходить практически в любых средах, в том числе в таких слабых коррозионных средах, как влажный воздух, газы, влажные машинные масла и др.

Испытания на общую коррозию проводят на образцах с большим отношением поверхности к объему. Коррозионную среду выбирают с учетом условий эксплуатации материала. Испытания проводят в жидкости при постоянном или многократно повторяемом переменном нагружении образцов, в кипящем соляном растворе, в парах или окружающей атмосфере.

Испытания на межкристаллитную коррозию (ГОСТ 6032-2003). Основной причиной межкристаллитной коррозии коррозионно-стойких материалов является нагрев при обработке давлением или сварке, приводящий к электрохимической гетерогенности между приграничными участками и объемом зерен.

Испытания на коррозионное растрескивание. Этот вид испытаний проводят при нагружении образца в коррозионной среде, соответствующей служебным условиям эксплуатации детали. Среда не должна вызывать общей коррозии и оказывать воздействие на ненагруженные образцы металла. Для аустенитных хромоникелевых сталей примером такой среды может служить кипящий раствор смеси солей $MgCl_2$, $NaCl$ и $NaNO_3$. Агрессивность сред должна быть не меньше той, в которой должны служить испытываемые материалы. Растрескивание происходит, если растягивающие напряжения превышают критические значения $\sigma_{кр}$ (обычно $\sigma_{кр} = \sigma_{0,2}$), а в электролите присутствует активатор, разрушающий пассивное состояние металла (например, Cl^-).

Методы защиты от коррозии можно объединить в следующие группы: 1) нанесение защитных покрытий и пленок; 2) изменение электрохимического потенциала защищаемого материала по отношению к среде на границе фаз; 3) модификация коррозионной среды.

К *катодным покрытиям* относятся те покрытия, электрохимический потенциал которых в данных условиях больше, чем у защищаемого металла.

Анодные покрытия — это покрытия, выполненные из металла с меньшим электродным потенциалом, чем у защищаемого металла.

Катодная защита состоит в присоединении к защищаемой конструкции анода-протектора с более отрицательным электрохимическим потенциалом. Протектор (от *лат. protector* — покровитель, защитник) и служит таким анодом, препятствующим разрушению защищаемого сплава; сам протектор при коррозии постепенно разрушается.

Ингибиторами коррозии называют добавки для уменьшения агрессивности окружающей среды, которые или способствуют пассивации металла, или значительно снижают скорость его коррозии. Условием использования ингибиторов является эксплуатация изделия в замкнутой среде постоянного состава.

Коррозионная стойкость нержавеющей сталей определяется содержанием *хрома*. При содержании $\geq 12\%$ Cr на чистой металлической поверхности на воздухе и в окислительных водных электролитах возникает характерное для хромистых сплавов пассивное состояние. Это химическое состояние поверхности, наблюдаемое также на благородных металлах, связано с образованием на ней субмикроскопического оксидного слоя, состоящего на нержавеющей сталях из оксида хрома, который и обеспечивает им химическую стойкость.

Никель является наиболее важным после хрома легирующим элементом нержавеющей сталей. При содержании 12–30% Cr никель весьма эффективно улучшает устойчивость сталей в кислотах, при этом плотность тока пассивации заметно снижается. При содержании $> 20\%$ Ni он препятствует растворению металла даже в активном состоянии, в случае недостаточного окислительного действия агрессивной среды, т. е. в восстановительных условиях, когда не происходит образования пассивного защитного слоя.

Легирование *молибденом* не только расширяет область пассивности и облегчает процесс пассивации, но и улучшает коррозионную стойкость уже в активном состоянии. Содержание молибдена до 4% в ферритных и до 6,5% в аустенитных сталях наряду с хромом повышает стойкость по отношению к инициированным хлоридами селективным видам коррозии, таким как питтинг или щелевая коррозия. В мартенситных сталях благоприятное влияние молибдена, как и никеля, связано с возможностью протекания мартенситного превращения при снижении содержания углерода.

С помощью добавок *кремния* и *меди* можно целенаправленно повысить стойкость стали к коррозии в определенных условиях. Так, кремний заметно уменьшает равномерную коррозию в концентрированной азотной кислоте. Легированные медью Cr – Ni – Mo стали особенно стойки по отношению к серной кислоте и используются в ее производстве.

Тема 5.7. Износостойкие материалы

Износ — результат изнашивания деталей вследствие процессов трения на поверхности; оценивается по изменению размеров или веса детали. Изнашивание обусловлено как пластическим деформированием, так и разрушением поверхностных слоев.

Износ характеризуется потерей массы детали, уменьшением ее объема или линейных размеров.

Интенсивностью изнашивания - отношение износа к пути трения.

Скорость изнашивания - износ, отнесенный ко времени, в течение которого он проявляется.

Допустимый износ - при допустимом износе сохраняется работоспособность детали.

Предельный износ характеризуется такими изменениями формы и размеров, при которых дальнейшая эксплуатация детали становится невозможной.

Виды изнашивания в соответствии с ГОСТ 27674-88: *механическое, коррозионно-механическое и электроэрозионное.*

Абразивное механическое изнашивание — результат режущего или царапающего действия свободных или закрепленных твердых частиц. Износостойкость при абразивном изнашивании чистых металлов пропорциональна их твердости: $\epsilon = b \cdot HB$ (ϵ — сравнительная износостойкость, определяемая в сравнении с образцом-эталоном, b — коэффициент пропорциональности). В сплавах эта зависимость может не соблюдаться.

Усталостное механическое изнашивание — результат многократного деформирования участков поверхности контакта твердых тел.

Эрозионное механическое изнашивание — под действием потоков жидкости или газа, движущихся с большими скоростями.

Кавитационное механическое изнашивание — результат многочисленных микрогидравлических ударов, воспринимаемых поверхностью твердого тела, когда вблизи нее схлопываются пузырьки пара жидкости.

Коррозионно-механическое изнашивание происходит при одновременном механическом и химическом воздействии окислительной среды (например, фреттинг-коррозия при колебательном перемещении двух трущихся поверхностей стальных деталей).

Электроэрозионное изнашивание проявляется в разрушении поверхности контакта и переносе массы материала под действием электрических разрядов.

Для повышения износостойкости деталей, изготовленных из конструкционных сталей универсального применения, используют:

- термическое упрочнение с помощью объемной или поверхностной закалки;
- химико-термическую обработку для упрочнения поверхностного слоя или изменения условий трения на контактной поверхности;

- осаждение износостойких покрытий без оплавления самих деталей;
- наплавку износостойких слоев с частичным оплавлением деталей.

Изнашивание сопряженных деталей обусловлено работой сил трения. Силы трения многократно деформируют участки контакта, упрочняют и разупрочняют их, способствуют выделению теплоты и повышению температуры, меняют структуру, приводят к развитию усталости.

Деформационное взаимодействие обусловлено многократным деформированием микрообъемов поверхностного слоя внедрившимися неровностями. Сопротивление этому деформированию называют деформационной составляющей силы трения F_d .

Адгезионное взаимодействие связано с образованием на участках контакта адгезионных мостиков сварки. Сопротивление срезу этих мостиков и формированию новых определяет адгезионную составляющую силы трения ($F_{ад}$).

Если процесс адгезионного износа проходит интенсивно и имеет место перенос значительного количества металла, это явление называется *заеданием* металла.

Если оно очень интенсивно, то поверхности могут слипаться на значительном участке и в этом случае внешние силы уже не смогут вызвать смещения их относительно друг друга; это явление называется *схватыванием*.

Молекулярно-механическая теория трения определяет два основных пути повышения износостойкости материала: 1 — увеличение твердости трущейся поверхности; 2 — снижение прочности адгезионной связи.

Растворенный при температуре закалки углерод определяет твердость закаленной стали и количество остаточного аустенита. Нерастворившаяся часть углерода в закаленной или незакаленной матрице присутствует в износостойких сталях в виде карбидов. Поэтому увеличение содержания углерода способствует улучшению износостойкости сталей за счет как упрочнения матрицы, так и увеличения содержания карбидов. Обычно при этом прочность и вязкость стали снижаются.

При повышении содержания легирующих элементов прокаливаемость стали, твердость карбидов и теплостойкость улучшаются. В отличие от никеля и кремния, карбидообразующие элементы (Cr, Mo, V) улучшают прокаливаемость сталей только при условии растворения карбидов при повышенной температуре закалки. При определенном соотношении концентраций углерода и карбидообразующего элемента последний может растворяться в карбиде железа Fe_3C , который в этом случае называют карбидом типа M_3C .

При превышении некоторого порогового значения соотношения концентраций легирующих элементов и углерода происходит образование *специальных карбидов*.

Для изготовления шариков, роликов, колец подшипников качения и других деталей (плунжеры, втулки, корпуса распределителей, нагнетательные клапаны и т. п.), от которых требуются высокие

износостойкость и выносливость при контактном циклическом нагружении, используют стали четырех типов: 1) хромистые с высоким содержанием углерода; 2) цементируемые низкоуглеродистые; 3) коррозионно-стойкие высокоуглеродистые с высоким содержанием хрома; 4) теплостойкие (хромовольфрамовые).

Графитизированные стали путем специальной графитизирующей термической обработки имеют характерные выделения графита. Несмотря на некоторое снижение твердости и прочности, включения графита выполняют роль смазочного материала, тем самым повышая износостойкость. Графитизированные заэвтектоидные стали обычно содержат около 1,5% углерода, а также кремний в количестве от 0,7 до 2%. Кремний выполняет роль основного графитизатора при отжиге. Хром препятствует графитизации, поэтому его содержание в этих сталях нежелательно.

Высокомарганцовистые аустенитные стали используются в условиях ударно-абразивного изнашивания и повышенного давления. Ранее отмечалось, что основным условием повышенной износостойкости является высокая поверхностная твердость. Однако существует группа сталей, которые при низкой твердости 200–250 НВ, в условиях ударной нагрузки или высокого удельного давления, приобретают высокую износостойкость.

Метастабильные хромомарганцевые аустенитные стали характеризуются стойкостью в условиях кавитации и контактного ударного воздействия. Хромомарганцевые стали со структурой метастабильного аустенита, работающие в интервале температур M_n — M_d , обладают высокой износостойкостью в условиях динамического контактного нагружения (кавитационного, циклического, контактно-ударного). Благодаря низкой энергии дефектов упаковки в них интенсивно развиваются мартенситные превращения, сопровождающиеся релаксацией напряжений. Их рабочая поверхность упрочняется значительно сильнее, чем у хромоникелевых сталей типа 12X18H10T. По кавитационной стойкости метастабильные аустенитные стали значительно превосходят сталь 12X18H10T.

Напыление. Расплавленные мелкие частицы материала, которые напыляют на основу, можно получить путем пропускания проволоки или порошка через пламя (обычно кислородно-ацетиленовое) с последующим осаждением на холодную основу. Напыляют с оплавлением обычно сплавы Ni–Cr–B–Si (после напыления их оплавляют посредством пламенного или печного нагрева).

Наплавка и наплавочные материалы. Износостойкость деталей машин может быть существенно повышена за счет наплавки на их поверхность износостойких материалов. Наплавочные материалы, содержащие карбиды хрома и вольфрама, называют *стеллитами*. Нанесение слоя расплавленного металла на защищаемую поверхность производится путем плавления присадочного материала теплотой кислородно-ацетиленового пламени или электрической дугой.

Электрохимическое осаждение. Многие металлы могут быть осаждены из растворов солей, но для защиты от износа наиболее широко распространено электроосаждение хрома. Хром твердостью HV 1000 с низким коэффициентом трения широко используется для защиты от износа поверхности валков. Типичные покрытия имеют толщину от $\approx 0,12$ до $0,61$ мм, в отличие от декоративных, имеющих толщину $\approx 2,4$ мкм, наносимых на подслое гальванически осажденного никеля.

Электролитическое нанесение покрытий. Электролитически могут быть получены покрытия из никеля или, точнее, из Ni-P- и Ni-B-сплавов толщиной до $0,12$ мм. Покрытия образуются вследствие химического взаимодействия и поэтому формируются на всей поверхности с одинаковой скоростью, тогда как гальванические покрытия прежде всего формируются на выступающих местах — кромках, ребрах, гранях. Эти покрытия твердостью \approx HV 500 могут подвергаться дальнейшему отверждению до HV 1000 путем простой термообработки.

Химико-паровое осаждение. В CVD-процессе над основой находится химически активный газ при высокой температуре. В результате на поверхности образуются очень тонкие слои, например, карбида или нитрида титана. Этот метод используется для нанесения покрытий на инструмент и штампы.

Физико-паровое осаждение. PVD-процессы могут осуществляться несколькими способами, но общим признаком для них является высокая температура и камера, в которой создается и поддерживается определенный вакуум.

Вакуумное нанесение покрытий требует нагрева металла в вакууме для испарения и конденсации паров на основе.

Для *распыления* используют разные методы генерации пара. Бомбардировка ионами при низком давлении аргона способна вырывать из металла атомы, которые имеют высокую энергию и при соударении с основой обеспечивают получение хорошей границы. Этим методом может быть получена широкая гамма покрытий из разных материалов, включая металлы, оксиды и карбиды.

Процессы *ионного напыления* характеризуются получением тех же результатов, что и методы вакуумного нанесения покрытий, но при более низких температурах.

Механическое нанесение покрытий. На мелкие детали можно наносить цинковые, кадмиевые и оловокадмиевые покрытия путем перемешивания их в сосудах, загруженных тонким металлическим порошком, активатором и стеклянными шариками.

Ионная имплантация. В этом процессе ионы наносимого материала внедряются в поверхностный слой материала основы и вызывают эффект, несоразмерный количеству вводимого имплантанта. Наиболее распространенным имплантантом, вызывающим увеличение сопротивления износу, являются ионы азота.

Металлокерамические твердые сплавы являются инструментальными

материалами, состоящими из карбидов тугоплавких металлов и цементирующего металла — кобальта, играющего роль связки.

Твердые сплавы для режущего инструмента изготавливают в виде пластин, которые медным припоем припаивают к державке из обычной углеродистой стали. Твердые сплавы применяют для резцов, сверл, фрез и другого инструмента.

Износостойкость твердых сплавов зависит от их твердости, предела прочности при изгибе и сжатии, горячей твердости, а также в ряде случаев — от сопротивления коррозии и окислостойкости.

Штамповые стали (die steel) применяют для изготовления штампов холодного и горячего деформирования, пуансонов, матриц, фильер, пресс-форм для литья под давлением.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой твердостью и износостойкостью, высокой прочностью и удовлетворительной вязкостью для работы при ударных нагрузках. В зависимости от назначения различают три группы штамповых сталей для деформирования в холодном состоянии.

К первой группе относятся стали для вытяжных и вырубных штампов. Основные требования, предъявляемые к этим сталям, — высокая твердость и износостойкость. Для изготовления штампов этого типа применяют углеродистые стали марок У10–У12 и низколегированные стали X, ХВГ, ХВСГ. Стали с повышенным содержанием хрома (6–12%) (Х6ВФ, Х12, Х12М, Х12Ф1) имеют более высокую износостойкость и глубокую прокаливаемость. Хорошо зарекомендовали себя стали Х12Ф4М, Х6Ф4М. Молибден и ванадий, дополнительно введенные в состав сталей, способствуют получению мелкозернистой структуры. Износостойкость штампов из стали Х12Ф4М в 1,5–2 раза выше по сравнению с износостойкостью штампов из стали Х12М.

Вторую группу составляют стали для штампов холодного выдавливания, испытывающие большие удельные давления. Эти стали должны хорошо сопротивляться деформации и иметь высокую прочность. Присутствие в их структуре остаточного аустенита недопустимо. Для этого необходимо проведение высокого отпуска при температуре не ниже 500°C. Поэтому, хотя эти стали и относятся к сталям для штампов холодного деформирования, они должны иметь довольно высокую теплостойкость. Этим требованиям удовлетворяет сталь 6Х4М2ФС.

К третьей группе относятся стали для высадочных и чеканочных штампов, работающих при высоких ударных нагрузках. Сложность создания таких сталей состоит в том, что для повышения твердости необходимо увеличение содержания углерода, что может приводить к снижению ударной вязкости. Обычно для штампов этого назначения используют сталь 7Х3. Более высокую стойкость показала сталь марки 6Х3ФС.

Материал для горячих штампов должен удовлетворять комплексу требований. К ним в первую очередь относятся высокая прочность (не

менее 1000 МПа), необходимая для сохранения формы штампа при высоких удельных давлениях во время деформирования, и высокая теплостойкость, позволяющая сохранить высокие твердость и прочностные свойства при длительном температурном воздействии. Стали должны иметь достаточную вязкость для предупреждения поломок при ударном нагружении. Они должны обладать высоким сопротивлением термической усталости (разгаростойкость), сохраняя способность выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования сетки трещин. Горячештапковые стали должны иметь хорошую окалиностойкость и высокую прокаливаемость для обеспечения необходимых механических свойств по всему сечению, что особенно важно для массивных штампов.

Для молотовых штампов применяют сталь 5ХНМ и ее аналоги: 5ХНВ, 5ХНТ, 5ХГМ.

Хорошо зарекомендовали себя на автотракторных машиностроительных заводах стали 4ХМФС, 5Х2СФ и 4ХСНМЦР. Внедрение этих сталей взамен 5ХНМ для штамповки углеродистых и низколегированных сталей позволило повысить стойкость инструмента в 2–3 раза.

Для пресс-форм литья под давлением и прессования цветных металлов и сплавов до последнего времени использовали сталь 3Х2В8Ф.

Для изготовления крупного прессового инструмента — пресс-штемпелей, втулок контейнеров и матриц на заводах цветной металлургии применяют стали 3ХВ4СФ и 4ХСН2МВФ.

Антифрикционность заключается в способности материала обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряженной детали — стального или чугунного вала. Высокие антифрикционные свойства обеспечиваются гетерогенной структурой металлического сплава.

Сплавы с мягкой матрицей и твердыми включениями это баббиты и сплавы на основе меди — бронзы и латуни. Мягкая матрица в них обеспечивает не только защитную реакцию подшипникового материала на усиление трения и хорошую прирабатываемость, но и особый микрорельеф поверхности, улучшающий снабжение смазочным материалом участков трения и теплоотвод с них. Твердые включения, на которые опирается вал, обеспечивают высокую износостойкость. Создается оптимальный антифрикционный микрорельеф с пространством для удержания смазочных материалов (так называемый принцип Шарпи).

Баббиты — мягкие (НВ 300) антифрикционные материалы на основе олова или свинца. По антифрикционным свойствам они превосходят все остальные сплавы, но уступают им по сопротивлению усталости. Благодаря вязкой основе баббиты легко поглощают посторонние твердые частицы, не допуская задира вала. Антифрикционные и механические свойства баббитов можно повысить за счет введения добавок никеля, кадмия и мышьяка.

Бронзовые вкладыши применяют для подшипников ответственного назначения, используемых в быстроходных двигателях, при высоких

удельных давлений и значительных динамических нагрузках. Для изготовления бронзовых вкладышей применяют оловянные и свинцовые бронзы, например, марок БрОС8-12 (8% Sn, 12% Pb), БрОС5-25 (5% Sn, 25% Pb), БрС30 (30% Pb).

Латуни используют в качестве заменителей бронз для опор трения. Однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам. Двухфазные латуни ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и др. (ГОСТ 17711-93) применяют при малых скоростях скольжения (менее 2 м/с) и невысоких нагрузках. Их часто используют для опор трения приборов.

Сплавы с твердой матрицей и мягкими включениями - серые чугуны, роль мягкой составляющей в которых выполняют включения графита. Для работы при значительных давлениях и малых скоростях скольжения используют серые чугуны СЧ15, СЧ20 и легированные антифрикционные чугуны: серые АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3; высокопрочные АЧВ-1, АЧВ-2; ковкие АЧК-1, АЧК-2. С целью уменьшения износа сопряженной детали марку чугуна выбирают так, чтобы его твердость была ниже твердости стальной цапфы. Достоинства чугунов — минимальная склонность к схватыванию, невысокая стоимость; недостатки — плохая прирабатываемость и пониженная стойкость к воздействию ударной нагрузки.

Для изготовления подшипников скольжения применяют пластмассы — термореактивные и термопластичные — более десяти видов. Из термореактивных пластмасс используют *текстолит*. Из него изготавливают подшипники прокатных станов, гидравлических машин, гребных винтов. Такие подшипники допускают тяжелые режимы работы, смазываются водой, которая хорошо их охлаждает и размягчает поверхностный слой.

Из *полимеров* наиболее широко применяют: ПС10, *капрон* и особенно *фторопласт*. Достоинство полимеров — низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и коррозионная стойкость.

Исключительно высокими антифрикционными свойствами обладает *фторопласт*, коэффициент трения которого без смазочного материала по стали составляет 0,04–0,06. Однако фторопласт «течет» под нагрузкой и, как все полимеры, плохо отводит теплоту. Он может применяться лишь при ограниченных нагрузках и скоростях. Высокие антифрикционные свойства фторопласта реализуют в комбинации с другими материалами, используя его в виде тонких пленок либо как наполнитель.

Металлофторопластовые подшипники имеют высокие антифрикционные свойства (в диапазоне температур 200–280°C; $f = 0,03–0,1$; $p \cdot v = 150 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$). Их используют в узлах трения, работающих без смазочного материала, хотя его введение оказывает благоприятное действие. Они могут работать в вакууме, жидких средах, не обладающих смазочным действием, а также при наличии абразивных частиц, которые легко «утапливаются» в мягкой составляющей материала. Такие подшипники применяют в машиностроительной, авиационной и других

отраслях промышленности.

Смазывающиеся подшипники получают методом порошковой металлургии. Особенностью таких антифрикционных материалов является наличие пор (8–27% объема), которые пропитываются жидкой смазкой. Металлическая основа таких материалов — железо, сталь, медь, бронза, никель. Кроме того, спеченные материалы содержат компоненты (графит, сульфиды, селениды и др.), служащие твердой смазкой. Эти и другие особенности в значительной мере обуславливают эксплуатационные свойства спеченных материалов.

Износостойкость спеченных материалов иногда в 1,5–3 раза выше (при одинаковом значении коэффициента трения) износостойкости бронз, латуней и баббитов, во многих случаях возможно их использование при более высоких давлениях и скоростях скольжения. Спеченные материалы можно эксплуатировать в контакте с поверхностями из закаленной и незакаленной стали. Замена литых антифрикционных материалов на основе цветных металлов спеченными материалами на железной основе дает экономию в 3–3,5 млн руб. на каждой тысяче тонн изделий. Различают спеченные антифрикционные материалы железногографитовые, металлографитовые и бронзографитовые.

Железографитовыми материалами марок ЖГр3Цс4 и ЖГр (1–2) Дс3,5, содержащими сульфид цинк или сульфид меди, заменяют антифрикционные сплавы на основе цветных металлов; используют их также для уплотнения быстро вращающихся деталей. Материал марки ЖГр3М15 применяют при температуре до 400°C. Если скорости скольжения высоки, его износостойкость почти в два раза превышает износостойкость материала марки ЖГр3Цс4. Металлографитовый материал марки МГ10ЖН1К (на основе железоникелевого сплава), содержащий графит и сульфид цинка, более износостоек (в 2–5 раза), чем текстолит, графитопласт, углеграфит. Предназначен для эксплуатации в воде (например, в узлах трения опор моечных и красильных ванн) и в некоторых несмазывающих жидкостях.

Минералы — естественные (агат) и искусственные (рубин, корунд), а также их заменители — ситаллы (стеклокристаллические материалы) применяют для миниатюрных подшипников скольжения — камневых опор. Камневые опоры используют в прецизионных приборах — часах, гироскопах, тахометрах и т. д. Главное достоинство таких опор — низкий и стабильный момент трения. Низкое трение достигается малыми размерами опор, что уменьшает плечо действия силы трения, а также низким коэффициентом трения вследствие слабой адгезии минералов к металлу цапфы. Постоянство момента трения обусловлено высокой износостойкостью минералов, способных из-за высокой твердости выдерживать огромные контактные давления.

Тема 5.8. Материалы с особыми физическими и эксплуатационными свойствами

Сверхпроводимость — способность материалов не оказывать сопротивления электрическому току при температурах ниже характерной для них критической температуры T_k .

Диамагнетик — материал, приобретающим во внешнем магнитном поле магнитный момент, направленный против намагничивающего поля. Поэтому при переходе материала в сверхпроводящее состояние внешнее магнитное поле «выталкивается» из его объема и остается лишь в тонком поверхностном слое толщиной около 10–5 мм. Это явление называется *эффектом Мейснера*.

Одним из *главных преимуществ сверхпроводников* является возможность достижения высоких плотностей тока. Чем выше плотность тока, тем компактнее приборы, меньше расход дорогостоящих сверхпроводящих материалов и масса, которую необходимо охлаждать. Высокая плотность тока позволяет снизить капитальные и эксплуатационные расходы установок на сверхпроводниках.

Из всех чистых металлов, способных переходить в сверхпроводящее состояние, наивысшую критическую температуру перехода имеет *ниобий* ($T_k = 9,2$ К). Однако для ниобия характерны низкие значения критического магнитного поля (около 0,24 Тл), что недостаточно для его широкого применения. Хорошим сочетанием критических параметров T_k и B_k отличаются сплавы и интерметаллидные соединения ниобия с цирконием, титаном, оловом и германием.

Основу технических сверхпроводящих материалов составляют два материала. Первый из них — *деформируемый сплав Nb–Ti* со следующими параметрами: критическая температура 9,6 К при нулевых магнитном поле и токе, критическое магнитное поле 12 Тл при 4,2 К (температура кипения жидкого гелия при нормальном давлении), нулевом токе и критической плотности тока, равной 3 кА/мм², при 4,2 К и в магнитном поле 5 Тл.

Вторым сверхпроводником, освоенным промышленностью несколько позже, было *интерметаллическое соединение Nb₃Sn*, которое расширило диапазон рабочих температур и магнитных полей для сверхпроводниковых устройств. Материал на основе Nb₃Sn имеет критическую температуру 18,3 К при нулевых магнитном поле и токе, критическое магнитное поле около 22 Тл при 4,2 К и нулевом токе, критическую плотность тока более высокую, чем в материалах на основе сплава Nb–Ti, в частности, при 4,2 К в поле 10 Тл плотность тока в нем превышала 1 кА/мм².

К наиболее распространенным сверхпроводящим материалам относится сплав Nb–46,5% Ti (по массе). Этот сплав отличается высокой технологичностью, из него обычными методами плавки, обработки давлением и термической обработки можно изготавливать проволоку, кабели, шины.

Перспективы использования сверхпроводящих материалов наиболее важными областями применения сверхпроводников являются создание сильных магнитных полей, получение и передача электроэнергии.

Соленоид из сверхпроводящего материала может работать без подвода

энергии извне сколь угодно долго, поскольку однажды возбужденный в нем ток не затухает. Поддержание соленоида в сверхпроводящем состоянии не требует больших энергетических затрат. При нулевом сопротивлении легко решается проблема теплоотвода. Кроме того, сверхпроводящие магниты намного компактнее обычных. Каждый килограмм массы сверхпроводящего магнита создает магнитное поле, эквивалентное по силе полю 20-тонного электромагнита с железным сердечником.

Эффект сверхпроводимости может быть использован для изготовления сверхпроводящих генераторов электроэнергии значительно большей единичной мощности, чем применяемые генераторы традиционной конструкции. Ротор генератора представляет собой экранированный в тепловом и электромагнитном отношении вращающийся криостат с заключенной в нем сверхпроводящей обмоткой возбуждения. Криостатирование обмотки возбуждения осуществляется по замкнутому циклу жидким гелием при температуре кипения 4,2 К. Сверхпроводящие турбогенераторы имеют более высокий коэффициент полезного действия при меньших размерах и в три раза меньшей массе.

Использование эффекта сверхпроводимости позволяет создать поезд без колес с магнитной подвеской и тягой — *поезд на магнитной подушке*.

Для ряда отраслей машиностроения и приборостроения необходимо применение материалов со строго регламентированными значениями в определенных температурных интервалах эксплуатации таких физических свойств, как *температурные коэффициенты линейного расширения α* (ТКЛР) и *модуль нормальной упругости β* (ТКМУ). Эти коэффициенты определяют характер изменения размеров детали и модуля упругости сплава при нагреве.

Основным представителем сплавов с минимальным ТКЛР является сплав 36Н (36НХ). Инвар имеет самые низкие значения α в интервале температур от -100 до 100°C . Благодаря высокому уровню механических свойств и технологичности инвар используется в качестве конструкционного материала для деталей, от которых требуется постоянство размеров при меняющихся температурных условиях эксплуатации. Из инвара изготавливают жесткозакрепленные трубопроводы сложной пространственной формы, перекачивающие сжиженные газы в криогенных установках.

Замена части никеля равным количеством кобальта и легирование малыми добавками меди позволяют дополнительно снизить ТКЛР инвара. Такой сплав называют *суперинваром*.

Стали с определенным тепловым расширением служат также для изготовления *термобиметаллов*, когда слой с низким тепловым расширением («пассивный слой») путем прокатки надежно соединяют с другим слоем, обладающим более высоким тепловым расширением («активный слой»). Биметаллические пластины используют в качестве терморегулятора в приборостроении. Нагрев такой пластины приводит к ее искривлению, позволяющему разомкнуть электрическую цепь.

Сплавы с заданными свойствами упругости, помимо низких значений ТКМУ, должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям и релаксационной стойкостью в условиях статического и циклического нагружения.

Элинвар, содержащий 36% Ni и 12% Cr, характеризуется такими же значениями ТКМУ, как и чистый Fe–Ni, но менее зависящими от возможных отклонений в концентрации никеля. Однако он имеет более низкие механические свойства, которые нельзя улучшить термической обработкой из-за стабильности аустенитной структуры. Кроме того, температура Кюри этого сплава составляет около 100°C, что ограничивает температурный интервал его применения.

Элинварные дисперсионно-твердеющие сплавы типа 42НХТЮ, 44НХТЮ применяют для изготовления упругих чувствительных элементов прецизионных приборов: расходомеров, регуляторов скорости и датчиков линейных ускорений, динамометров электронных весов, волосковых спиралей часовых механизмов.

Эффект памяти формы (ЭПФ) - явление самопроизвольного восстановления формы. Способность к восстановлению деформации не может быть подавлена даже при высоком силовом воздействии. Уровень реактивных напряжений некоторых материалов с ЭПФ может составлять до 1000–1300 МПа.

Из большого числа сплавов с ЭПФ наиболее перспективными для практического применения являются сплавы Ti–Ni эквиатомного состава (примерно 50 : 50%), обычно называемые никелидом титана или нитинолом. Реже используют более дешевые сплавы на основе меди Cu–Al–Ni и Cu–Al–Zn.

Эффект памяти формы состоит в том, что образец, имеющий определенную форму в аустенитном состоянии при повышенной температуре, деформируют при более низкой температуре мартенситного превращения. После нагрева, сопровождающегося протеканием обратного превращения, исходная характерная форма восстанавливается. ЭПФ проявляется в сплавах, характеризующихся термоупругим мартенситным превращением, когерентностью решеток исходной аустенитной и мартенситной фаз, сравнительно небольшой величиной гистерезиса превращения, а также малыми изменениями объема при превращениях. В никелиде титана объемные изменения составляют около 0,34%, что на порядок меньше, чем в сталях (около 4%).

Особенно важную роль играет технологическая операция *термофиксации*. Сложность этой операции обусловлена проявлением эффекта памяти после придания заготовке из никелида титана требуемой формы. Заготовку деформируют при комнатной температуре. Для сохранения формы и размеров производят жесткое фиксирование по всем степеням свободы (заневоливание) с последующим нагревом в вакууме до температуры 650–700°C, т. е. до аустенитного состояния. В результате такой операции достигается стабильное состояние структуры и формы,

которые объект «запоминает».

Материалы с ЭПФ могут найти применение в простых тепловых двигателях, использующих разность температур горячей и холодной воды или горячей воды и холодного окружающего воздуха. Такие двигатели работают за счет преобразования в механическую энергию низкотемпературной бросовой тепловой энергии, например энергии горячей отходящей воды, геотермической или солнечной энергии.

Тема 5.9. Проблемы выбора и применения материалов

При выборе материала в первую очередь требуется всестороннее рассмотрение условий его работы и проведение ранжирования факторов, воздействующих на материал по степени их влияния на надежность машины или механизма. Определяющие факторы должны быть учтены обязательно, менее определяющие — по возможности.

Следующим этапом выбора материала должен быть процесс определения комплекса необходимых свойств материала, обеспечивающих надежную и долговечную работу конструкций, машин и оборудования в заданных условиях эксплуатации. Так как конструкционные материалы характеризуются механическими, физико-химическими и технологическими свойствами, то рассматривать необходимо всю гамму свойств, особенно если в конструкции должны работать разные материалы.

Разрабатывается всесторонняя материальная база данных, включающая механические и антикоррозионные свойства, необходимые для оптимального срока службы транспортного средства при ожидаемых эксплуатационных режимах. Эти свойства включают:

- временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении);
- условный предел текучести;
- ударную вязкость;
- твердость;
- вязкость разрушения (трещиностойкость);
- коррозионную стойкость и износостойкость;
- плотность (этот фактор очень важен для воздушных, наземных и морских транспортных средств).

Как только эти начальные параметры определены и данные собраны, разработчик составляет список наиболее пригодных материалов, из которых выбирается наилучший материал для использования в конкретной конструкции.

Разработчик определяет наиболее подходящий материал для данного применения, основываясь также на стоимости рассматриваемых материалов.

В ходе проектирования инженер, ответственный за принятие окончательного решения о выборе материала, должен учитывать соответствующие технические требования к изделиям, данные спецификаций и стандартов и ссылаться на них. Конструктор должен

гарантировать соответствие изделия стандартам и должен убедиться, что используемые стандарты гарантируют удовлетворительную работу изделия.

Наиболее часто встречающиеся виды отказов включают в себя коррозию, образование трещин и усталостное разрушение.

Коррозия — это разрушение материала при взаимодействии с окружающей средой. Материалом обычно является металл, и взаимодействие в большинстве случаев имеет электрохимическую природу. К наиболее важным видам коррозии относятся следующие.

Коррозионное растрескивание и питтинговая коррозия. В нержавеющих сталях питтинг происходит в ограниченных областях, особенно в расщелинах. Питтинг и щелевая коррозия обычно наблюдаются в пассивных металлах, таких как алюминий и алюминиевые сплавы, нержавеющие стали и сплавы на основе никеля.

Коррозия под напряжением. В этом процессе одновременное воздействие агрессивного коррозионного агента и непрерывного растягивающего напряжения способствуют развитию трещин в металле. Материалы, подверженные коррозии под напряжением, не деформируются до момента разрушения. Это хрупкое разрушение обычно происходит перпендикулярно действующим напряжениям.

Коррозия и эрозия. В этом процессе разрушение вызвано комбинацией коррозии и эрозии. *Эрозия* — постепенный унос материала с твердой поверхности из-за механического взаимодействия между поверхностью и жидкостями, газами, твердыми частицами или комбинацией этих сред. Коррозия и эрозия могут происходить в орудийных стволах, газовых турбинах двигателей и соплах ракет.

Коррозия металла под органическими покрытиями. Для оборудования наиболее важный тип этого отказа — блистеринг, или образование вздутий и пузырей на окрашенной или анодированной поверхности. При блистеринге на окрашенной поверхности в дальнейший процесс вовлекаются прилегающие области, в которых покрытие отделилось от металла. Влага скапливается в этих ограниченных областях, в результате чего может иметь место коррозия. Влага является основной причиной блистеринга окрашенных поверхностей и покрытий. Анодированные покрытия разрушаются при прохождении анодных реакций коррозии под их слоем. Нитевидная коррозия, которая проявляется в виде тонких нитей на поверхности, является внешней формой рассматриваемого коррозионного разрушения.

Два важных типа разрушения покрытий представляют *адгезивное* и *когезивное разрушение*. При адгезивном разрушении, которое имеет тенденцию развиваться в прочных покрытиях, нарушается их сцепление с материалом и покрытие отслаивается от поверхности в виде пленки. Когезивное разрушение — явление, при котором покрытие только частично плотно прилегает к подложке. Когезивное разрушение происходит, когда материал покрытия имеет меньшую собственную прочность по сравнению с прочностью сцепления.

Микробиологическая коррозия. Этот тип отказа вызывается микроорганизмами, особенно бактериями и грибами. Бактерии, которые были недавно обнаружены с использованием различных средств наблюдения и исследования, активно влияют на коррозию алюминия. Грибки могут служить причиной коррозии органических покрытий, особенно на алкидной основе. Важно отметить, что наиболее серьезные коррозионные разрушения происходят под влиянием как внешних факторов (окружающая среда), так и механических нагрузок.

Излом, характеризующий разрушение, может быть хрупким или вязким. Хрупкое разрушение происходит без заметной пластической деформации. Хрупкое разрушение характерно для крупных, толстостенных конструкций при больших нагрузках. Разрушение от коррозионного растрескивания может быть охарактеризовано как хрупкий излом, если деформация не наблюдается до момента разрушения.

Усталость является одной из основных причин разрушения конструкций. Усталостное разрушение происходит при повторяющихся переменных нагрузках деталей. Усталостные диаграммы, называемые ($\sigma - N$)- кривыми, используются проектировщиками, чтобы предсказать поведение составляющих конструкции, подверженных переменным нагрузкам. На этих кривых приведена зависимость числа циклов перед разрушением N от номинальных нагрузок.

Основой выбора материалов для создания надежной и работоспособной техники являются их *механические свойства*, в первую очередь прочностные, которые характеризуют способность материалов сопротивляться деформации и разрушению под действием различного рода нагрузок, в разных средах и при различных температурных условиях.

При выборе материалов конструктор обязан учитывать не только механические, физические и химические, но и *технологические свойства*, а также возможности производства, где предполагается изготавливать проектируемое изделие.

Технологичность и механические свойства материала обычно находятся в обратной зависимости. Одним из примеров является зависимость между содержанием элементов в сплаве, прочностью и свариваемостью стали. По мере увеличения содержания углерода и легирующих элементов свариваемость и обрабатываемость уменьшаются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубарев, Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении : учебник / Ю. М. Зубарев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1803-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168792>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Шестернинов, А. В. Основы конструирования и расчета элементов технологического оборудования : учебное пособие / А. В. Шестернинов. — Ульяновск : УлГТУ, 2018. — 167 с. — ISBN 978-5-9795-1837-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/165081>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Захаров, О. В. Суперфинишные станки для автомобильной промышленности : монография / О. В. Захаров, А. В. Кочетков, Л. В. Янковский. — Пермь : ПНИПУ, 2014. — 265 с. — ISBN 978-5-398-01166-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160399>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Меснянкин, М. В. Геометрические параметры исполнительных устройств приводов технологического оборудования на базе механизмов с замкнутой системой тел качения [Электронный ресурс] : монография / М. В. Меснянкин, М. А. Мерко, А. Е. Митяев. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 114 с. - ISBN 978-5-7638-2889-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/492089>. - Режим доступа: по подписке.
5. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении : учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пиирайнен. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 664 с. — ISBN 978-5-8114-3921-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118630>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Раздел 1. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении.....	3
Раздел 2. Основы конструирования и расчета элементов технологического оборудования.....	17
Раздел 3. Суперфинишные станки для автомобильной промышленности.....	20
Раздел 4. Геометрические параметры исполнительных устройств приводов технологического оборудования на базе механизмов с замкнутой системой тел качения.....	25 30 59
Раздел 5. Специальные материалы в машиностроении.....	
Библиографический список.....	

Составитель: *Пшенов Евгений Александрович*

словарь терминов и определений

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Печатается в авторской редакции
Компьютерная вёрстка Е.А. Пшенов

Подписано к печати 28 марта 2023 г.
Формат 60x84^{1/16} Объем 3,75 уч.-изд. л.
Тираж 35 экз. Изд.№ Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 147