

# 1 Срок службы деталей машин и механизмов и роль поверхности

## 1.1 Эксплуатационные условия работы и причины отказа деталей

### *Срок службы или долговечность*

Применительно к изделиям машиностроения рассматривают три аспекта долговечности: физическую, моральную и экономическую.

Физическая долговечность изделия определяется временем износа его наиболее износостойких деталей. Физическая долговечность может быть увеличена за счет применения износостойких материалов для изготовления основных деталей машин. Моральная долговечность характеризует срок эксплуатации изделия до появления нового поколения машин данного типа. В отдельных случаях моральная долговечность оказывается меньше физического срока службы.

Важным показателем, определяющим реальный срок эксплуатации, является экономическая долговечность. С учетом данного показателя оптимальный срок службы изделия определяется соотношением таких параметров как долговечность физическая, цена новой машины за вычетом средств, полученных от продажи старой, средняя цена ремонта старой машины. Если затраты на создание или приобретение новой машины меньше, чем на ремонт старой, да еще при этом улучшаются другие показатели качества нового изделия, то старая машина должна заменяться новой.

Долговечность любого изделия закладывается на стадии его конструирования и проектирования, обеспечивается на стадии изготовления и поддерживается при эксплуатации. Обеспечить долговечность изделия – значит сообщить ему свойства, необходимые для успешной работы в заданных условиях эксплуатации, и поддерживать их на должном уровне в течение гарантированного срока. В материаловедении существует стандартный путь решения данной проблемы: качество изделия обеспечивается свойствами материала, которые, в свою очередь, определяются его химическим составом и структурой. Условно это определение можно изобразить в виде схемы, представленной на рис.1.

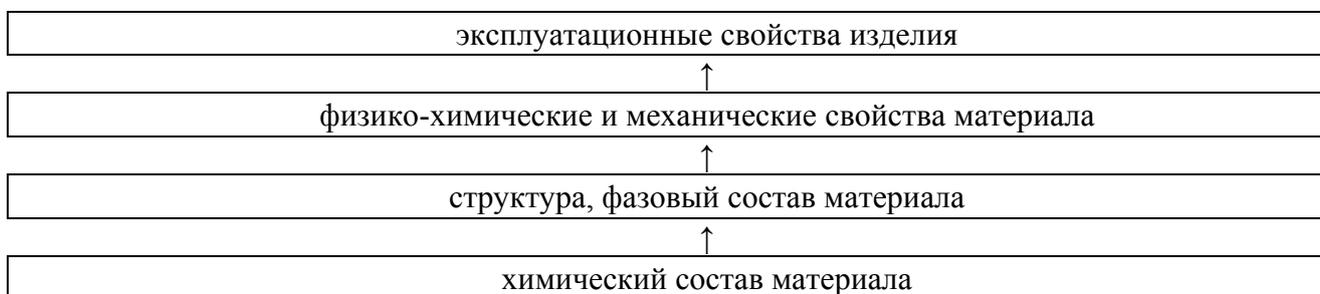


Рис.1. Основные этапы маршрутной схемы создания деталей с заданными свойствами

Таким образом, согласно маршрутной схеме для обеспечения требуемой долговечности необходимо в первую очередь знать условия эксплуатации изделия и причины выхода его из строя, а далее решать проблему

долговечности за счет правильного выбора материала с учетом представленной выше схемы.

### Условия эксплуатации

Проведем анализ условий эксплуатации для ряда деталей машин и механизмов и причин их отказа. В таблице 1. показана взаимосвязь условий работы, причин выхода деталей из строя, требуемые характеристики материала детали. В крайней правой колонке показана относительная роль поверхности детали в обеспечении повышения срока службы в относительных баллах – П, 2П, и т.д.

1. Условия работы – статические нагрузки. Главная причина отказа – разрушение, поломка. Требования к материалу – высокая прочность на растяжение, на сжатие, на изгиб.

Таблица 1

Условия эксплуатации и причины выхода деталей из строя

Условия эксплуатации	Детали, оборудование	Причина отказа	Требуемые повышенные свойства материала	Роль поверхности
Нагрузка статическая	Станина, опоры, кранбалка	Поломка, разрушение	Предел прочности	П
Нагрузка динамическая (ударная)	Рычаги, втулки, штампы	То же	Предел прочности, ударная вязкость	П
Нагрузка динамическая циклическая	Зубчатые передачи, рельсы	Поломка, разрушение, усталостное разрушение	Усталостная прочность	П
Агрессивная среда	Аппараты химического производства	Коррозия, эрозия	Коррозионная стойкость	ПП
Высокие температуры	Металлургическое оборудование	Разрушение, коррозия	Жаростойкость, коррозионная стойкость при высоких температурах	ПП
Абразивная среда	Горнодобывающее оборудование, дорожная техника	Износ	Твердость, износостойкость	ППП
Прямой контакт подвижных деталей	Режущий инструмент, подшипники, валы	Износ	Износостойкость, подбор пар трения	ППП

2. Условия работы – циклические динамические нагрузки. Главная причина отказа – разрушение, поломка. Требования к материалу – повышенная ударная вязкость.

3. Условия работы – агрессивная среда. Главные причины отказа – коррозия и эрозия поверхности. Требования к материалу – повышенное сопротивление к коррозии и эрозии.

4. Условия работы – высокая температура. Главная причина отказа – коррозия поверхности, потеря разрушение. Требования к материалу –

повышенное сопротивление к коррозии при высоких температурах, теплостойкость.

5. Условия работы – наличие пар трения. Главная причина отказа – износ поверхности. Требования к материалу – высокая износостойкость, подбор пар трения.

6. Условия работы – абразивная среда. Главная причина отказа – износ поверхности. Требования к материалу – высокая твердость, повышенное сопротивление износу.

На практике эксплуатации машин и механизмов отвечают условия работы, которые носят более сложный характер, т.е. являются как бы комбинированными. Например: агрессивная среда и статические нагрузки; циклические динамические нагрузки и высокая температура; агрессивная среда и наличие пар трения. Это список можно продолжить. Предлагаем самостоятельно для каждого из названных комбинированных условий работы определить требования к материалу изделия, обеспечивающих повышенный срок службы.

Приведенный анализ показывает, что в большинстве рассмотренных случаев гарантией долговечности работы изделий является не только материал изделия и технология его изготовления, определяющая свойства материала, но и в той или иной степени **поверхность** рабочей части изделия, а точнее – *качество поверхности*. В одних случаях эта связь является очевидной (коррозия, эрозия, износ поверхности), в других (разрушение при растяжении, при ударных нагрузках, усталостное разрушение) разрушение материала при внешнем механическом нагружении объясняется зарождением трещин и их ростом. Микрогеометрия поверхности, наличие на ней большого количества дефектов определяют высокую плотность концентраторов напряжения, являющихся источниками структурной перестройки материала, будущими зародышами трещин.

## 1.2 Поверхностная обработка деталей для увеличения долговечности машин и механизмов

Объединяя представления рис.1 и результаты анализа, приведенные в таблице 1, можно с успехом выбирать технологии для получения поверхностного слоя деталей с заданными характеристиками, что открывает широкие возможности для решения проблемы долговечности машин и механизмов. Это связано, во-первых, с тем, что существуют многочисленные и разнообразные методы воздействия на поверхность, изменяющие ее химический состав и структуру, во-вторых, такое изменение касается тонкого поверхностного слоя определенной толщины, и, в-третьих, данный подход гораздо экономичней, чем изготовление всей детали из материала высокого качества.

Как было отмечено выше, в технологии повышения качества поверхности можно выделить два основных направления: модифицирование поверхности, т.е. повышение ее характеристик за счет изменения химического состава и изменения структуры поверхностного слоя без изменения геометрических размеров упрочняемого изделия и нанесение защитных и упрочняющих покрытий определенной толщины и специально подобранного состава (рис.2.), здесь 1 – основной материал, 2а – модифицированный поверхностный слой, 2б – покрытие. Последний подход нашел широкое применение в ремонтных работах при восстановлении изношенных деталей.



Рис. 2. Структура упрочненной поверхности, полученная за счет модифицирования (а) и при нанесении покрытия (б); 1 – основной

Наличие широкого выбора методов поверхностного упрочнения и нанесения покрытий, а также появление новых методов воздействия на поверхность ставит задачу их эффективного применения для повышения служебных свойств деталей машин. В этой ситуации требуется комплексное решение проблемы комбинированного объемного и поверхностного упрочнения, которая включает:

- исследования особенностей структуры получаемой упрочненной поверхности, которая в корне может отличаться от структуры основного исходного материала;
- разработку методов исследования физико-механических свойств тонкого поверхностного слоя или композиций “основа – покрытие”, а также моделирование поведения этих свойств в условиях работы реальных деталей;
- выяснение роли специфических структурных особенностей и физико-механических свойств поверхности в процессе поверхностного разрушения при различных нагружениях с учетом этапов зарождения и развития трещин;

– выяснение роли границы соединения “основа – покрытие” в процессе разрушения детали.

Следующим этапом увеличения долговечности является повышение качества упрочненной поверхности, которое достигается с помощью двух основных подходов.

Первый – повышение физико-механических свойств упрочненной поверхности за счет совершенствования технологии и техники выбранного метода упрочнения. Например, проведение процесса при более низких температурах, использование высококонцентрированных источников энергии, предварительное объемное упрочнение детали перед поверхностным упрочнением на базе основных положений структурной прочности металлических сплавов.

Этот подход реализуется в следующих условиях: при химико-термической обработке заменой обычного печного азотирования на азотирование в плазме тлеющего разряда (ионное азотирование), когда за счет дополнительной активации процесса снижается рабочая температура и сокращается длительность обработки; при получении газотермических покрытий напылением в динамическом вакууме (снижается степень окисляемости напыляемых частиц) на предварительно активированную дробеструйной обработкой подложку (повышается степень приваривания частиц к подложке, возрастает адгезия покрытий) и т.д.

Второй подход включает в себя дополнительную обработку упрочненной поверхности или полученного покрытия, которая проводится после завершения основного технологического процесса или одновременно с ним. Так, при совмещении газотермического напыления с ультразвуковой обработкой термически активные частицы, образующие покрытие, подвергаются механическому воздействию (эффект горячейковки), что приводит к изменению структуры покрытия, измельчению зерен, повышению адгезии и когезии.

Дополнительная обработка поверхности после напыления – оплавление, которое можно осуществить разными методами (поверхностный прогрев газовой горелкой, лазерным лучом, электронным лучом), повышает коррозионную стойкость покрытий за счет уменьшения пористости.

Широкие перспективы открываются перед электронно-ионно-квантовыми технологиями (электронно-лучевая, лазерная обработки, ионная имплантация), которые позволяют осуществлять последовательную комбинированную обработку поверхности как на одной установке, так и при объединении с другими технологиями:

– импульсно-периодическое сочетание ионного и плазменных режимов, позволяющих проводить распыление (для очистки поверхности), имплантацию (для улучшения адгезии), формирование покрытия с ионным осаждением слоев в режиме ионного перемешивания;

– сочетание электронного, лазерного или плазменного потоков для очистки поверхности и испарения атомов с ионной бомбардировкой осаждаемого покрытия или для жидкофазного легирования.

### 1.3 Классификация методов упрочнения поверхности

В настоящее время в производственной практике существует большой выбор упрочняющих технологий, позволяющий технологу отбирать ту технологию, которая в наибольшей степени подходит для заданной детали и для условий ее эксплуатации. Все многообразие упрочняющих технологий с учетом особенностей процесса формирования поверхностного слоя можно представить в виде схемы, представленной на рис.3.

Для правильного выбора метода упрочнения и оптимальных параметров технологического процесса необходимо четко представлять, как реализуется схема (рис.3) в выбранной технологии и уметь проводить сравнительный анализ возможностей получения упрочненной поверхности разными методами.

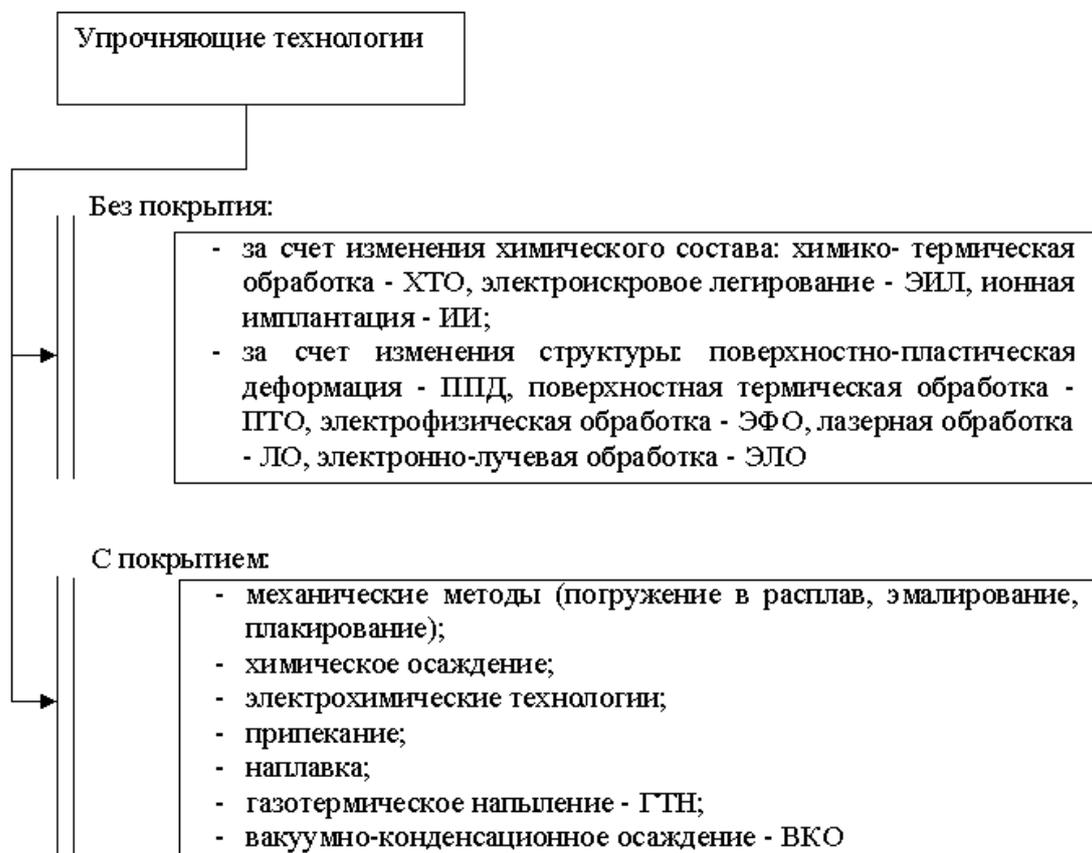


Рис.3. Классификация методов упрочнения поверхности и нанесения покрытий

При этом каждый метод включает в себя набор способов реализации данной технологии. Например, ГТН объединяет способы - газопламенное напыление, плазменное напыление и т.д.

При проектировании технологии упрочнения для заданной детали технологу приходится решать задачи со многими неизвестными (выбор материала, выбор метода, выбор оптимальных параметров техпроцессов и т.д.), что требует больших затрат времени и ресурсов.

### *Проектирование технологий упрочнения*

Задача проектирования технологического процесса упрочнения поверхности и нанесения покрытия состоит из ряда последовательных этапов. Рассмотрим основные этапы и их содержание. На первом этапе требуется четко сформулировать техническое задание, которое должно включать в себя характеристику детали, условия ее работы, требования к ее поверхности. На втором этапе определяются необходимые структура и химический состав поверхностного слоя или материал покрытия, способные обеспечить заданные характеристики поверхности детали. На третьем этапе осуществляется выбор наиболее оптимального технологического процесса с учетом комплекса факторов, включающих конструктивные, технологические, производственные, эксплуатационные и экономические показатели. На последнем этапе задаются оптимальные технологические параметры выбранного процесса, обеспечивающие требуемое качество поверхности упрочняемого изделия.

Подобные задачи являются многофакторными и их решение сводится к отысканию оптимального варианта. В условиях реального производства проектирование технологических процессов упрочнения поверхности и напыления покрытий в большинстве случаев до сих пор основано на опыте конструкторов, технологов и материаловедов. С появлением и внедрением в производство компьютерной техники для решения подобных задач стали привлекаться информационные технологии.

Для обеспечения эффективной работы технологов при разработке технологических процессов используются системы автоматизированного проектирования (САПР). Примеры таких систем можно найти для многих технологических процессов в том числе для наплавки и ГТН. Конечная цель САПРов – получение продукта проектирования в виде комплекта чертежно-графической документации на разрабатываемое изделие.

Другое направление использования компьютерных технологий при проектировании – создание экспертных систем (ЭС), позволяющих работать в диалоговом режиме, обеспечивающих доступ к знаниям экспертов, представленных в компьютере, осуществляющих обработку получаемой информации.

Для успешной работы САПР, ЭС необходимо наличие комплекта баз данных, состоящего из баз данных по материалам, технологическим методам, оборудованию и т. д.