

## **3 Конструктивно-технологическое обеспечение ресурса деталей.**

### **3.1 Влияние технологии на ресурс деталей**

Сегодня мы начинаем рассмотрение вопросов, связанных с конструктивно-технологическим обеспечением ресурса деталей.

Производителям изделий необходимо создать условия, гарантирующие их работоспособность в течение назначенного ресурса. Для этого при конструировании деталей выполняются необходимые расчеты, производится выбор материала, заготовок, видов и способов обработки.

В конструкторской документации приводятся диапазоны изменения механических свойств и химического состава материала; назначаются допустимые отклонения размеров, формы, шероховатости поверхности; указываются ссылки на нормативную документацию, регламентирующую технологию изготовления деталей.

### 3.1 Влияние технологии на ресурс деталей

Схема воздействия технологических процессов на свойства деталей



На ресурсные характеристики изделий влияют практически все операции процесса их изготовления.

**Заготовительные процессы**, такие, как прокатка, прессование, литье, термообработка в основном, воздействуют на свойства всей массы материала. При этом, в связи с контактом заготовок с инструментом или со средой, ряд процессов также влияют и на свойства поверхностного слоя, создавая, например, литейную корку, обезуглероженный слой и т.д. Если поверхностный слой не удаляется при последующей обработке, то он оказывает существенное влияние на сопротивление усталости деталей, как правило, приводя к его снижению.

Свойства поверхностного слоя в основном формируются в ходе **операций обработки** заготовок: механической, химической, электрохимической, а также упрочнения, нанесения покрытий и т.д.

Влияние данных операций на ресурс является решающим.

**Сборочные операции**, такие, как подгонка гибкой, упругая сборка, постановка крепежа влияют на выносливость за счет создания локального напряженного состояния.

Некоторые сборочные операции, например, подгонка припиловкой, также воздействуют на поверхностный слой деталей.

### 3.1 Влияние технологии на ресурс деталей

#### Технологические факторы, влияющие на ресурс деталей

- Технологическая наследственность
- Отклонения от номинальных значений параметров, установленных в технических требованиях при изготовлении деталей

**Качество технологического процесса по критерию обеспечения ресурса** – способность обеспечивать выполнение технических требований, предъявляемых к конструкции, и установленных количественных значений факторов технологической наследственности, влияющих на сопротивление усталости.

**Стабильность технологического процесса** – свойство, обуславливающее постоянство распределений вероятностей его контролируемых параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.

**Надежность технологического процесса** – способность обеспечивать требуемые показатели качества деталей, получаемые при их обработке, путем поддержания технологических параметров в установленных пределах.

Таким образом, первым фактором, определяющим ресурсные характеристики деталей, будем считать **технологическую наследственность**.

Задачей технологов в этой связи является выявление параметров, влияющих на ресурс, установление и оптимизация их количественных значений.

На ресурс также влияют неизбежные отклонения качества в производственных условиях: чем они шире, тем больше возможное снижение ресурса.

Следовательно, технология должна обеспечить стабильность допустимых отклонений параметров деталей, установленных в технических требованиях.

Таким образом, **качеством технологического процесса по критерию ресурса** является его способность обеспечивать выполнение технических требований к конструкции, и параметров технологической наследственности, влияющих на сопротивление усталости.

Для обеспечения качества технологических процессов в серийном производстве изделий необходимо обеспечить их **стабильность**.

Согласно ГОСТу стабильность – это свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятностей его контролируемых параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.

Стабильность является одним из показателей ранее рассмотренного нами такого комплексного понятия, как **надежность** – свойства объекта сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций.

В нашем случае надежность – это свойство технологического процесса обеспечивать требуемые показатели качества деталей при их обработке, путем поддержания технологических параметров в установленных пределах.

Стабильность является достаточной, если отклонения требований по качеству находятся в пределах, необходимых для обеспечения заданного ресурса.

Важным условием поддержания стабильности и надежности технологического процесса является повышение объективности выполнения рабочих и контрольных

операций за счет механизации и автоматизации, применения средств неразрушающего контроля и т.д.

В этом смысле предпочтительнее выполнение чистовой лезвийной обработки вместо шлифования; замена ручных зачистных работ на виброшлифование; применение прессовой клепки вместо ударной и т.д.

### 3.1 Влияние технологии на ресурс деталей

#### Физико-механические факторы, влияющие на ресурс деталей

##### ■ Деформационное упрочнение (ДУ)

- Сопротивление усталости увеличивается за счет повышения механических свойств материала. После исчерпания пластических свойств оно снижается из-за перенаклепа.

*Более пластичные материалы в большей степени увеличивают сопротивление усталости за счет ДУ, чем малопластичные.*

##### ■ Остаточные напряжения (ОН)

- При **статическом нагружении** происходит суперпозиция внешних и остаточных напряжений. Если суммарные напряжения превышает предел текучести, то происходит релаксация ОН.

*Для деталей из пластичных материалов влияние ОН на статическую прочность несущественно, а для деталей из малопластичных материалов ОН повышают сопротивляемость нагрузкам противоположного им знака.*

- При **циклическом нагружении** ОН сжатия уменьшают среднее растягивающее напряжение цикла, повышая сопротивление усталости; ОН растяжения увеличивают это напряжение, снижая выносливость.

Влияние ОН на выносливость деталей выражается в изменении

- времени до образования трещин: при сжимающих напряжениях оно увеличивается, а при растягивающих – уменьшается;
- скорости распространения трещин: в зоне ОН сжатия трещины тормозятся; растягивающие ОН не влияют на рост трещин.

Как мы знаем, основное влияние на ресурсные характеристики деталей оказывают изменения свойств материала при их обработке.

Основными факторами этого влияния являются деформационное упрочнение и образование остаточных напряжений.

При **деформационном упрочнении** поверхностный слой изменяет свои свойства: как правило, возрастает прочность и снижается пластичность.

При большом запасе пластичности поверхностный слой может выдерживать большие деформации без повреждения, и наоборот.

Вследствие влияния на механические свойства материала деформационное упрочнение способно повысить его сопротивление усталости, но до некоторого предела; при исчерпании пластических свойств оно снижается из-за перенаклепа.

В связи с этим более пластичные материалы обладают возможностью в большей степени увеличивать сопротивление усталости за счет деформационного упрочнения, чем малопластичные.

Если для пластичных материалов изменение выносливости, в основном, будет определяться наклепом, то для малопластичных и высокопрочных – **остаточными напряжениями**.

Влияние остаточных напряжений при **статическом** нагружении проявляется в их суперпозиции, т.е. в алгебраическом суммировании, с напряжениями от действующих нагрузок.

Поэтому необходимо избегать ситуаций, когда внешние и остаточные напряжения совпадают по знаку.

Наибольшую проблему представляют **растягивающие** остаточные напряжения, особенно в изделиях из малопластичных сплавов и в материалах, склонных к хладноломкости.

При большой величине растягивающих остаточных напряжений разрушение может произойти от незначительных нагрузок.

Известны случаи, когда цельносварные суда из-за таких напряжений разрушались от удара ломом при очистке палубы ото льда.

Значительное влияние на уровень остаточных напряжений может оказать последующая деформация детали.

Если сумма действующих и остаточных напряжений превышает предел текучести, то происходит пластическое течение материала и наблюдается релаксация остаточных напряжений.

Отсюда следует, что для деталей из пластичных материалов, разрушение которых наступает после значительной пластической деформации, влияние остаточных напряжений на **статическую прочность** несущественно.

В то же время, для деталей из высокопрочных малопластичных материалов остаточные напряжения повышают сопротивляемость статическим нагрузкам противоположного им знака.

При **циклическом нагружении** влияние остаточных напряжений проявляется в виде смещения среднего напряжения цикла от внешних нагрузок.

При этом остаточные напряжения сжатия уменьшают среднее растягивающее напряжение, что повышает сопротивление усталости, а остаточные напряжения растяжения увеличивают это напряжение, приводя к противоположному эффекту.

Влияние остаточных напряжений на выносливость выражается,

во-первых, в изменении времени до образования усталостных трещин: при сжимающих напряжениях оно увеличивается, а при растягивающих – уменьшается;

во-вторых, в изменении скорости распространения трещин. Как мы уже отмечали, зарождение усталостных трещин в основном происходит на поверхности деталей.

При развитии нагружения трещина, попадая в слой с напряжениями сжатия, тормозится, т.к. эти напряжения затрудняют образование пластической зоны в ее основании.

При этом остаточные растягивающие напряжения практически не влияют на развитие трещины, так как они релаксируют в процессе образования пластической зоны.

### 3.1 Влияние технологии на ресурс деталей

#### Физико-механические факторы, влияющие на ресурс деталей

##### ■ Изменение ОН под действием силовых и температурных воздействий

**Релаксация напряжений** – их уменьшение в процессе нагружения за счет эффекта ползучести, заключающимся в непрерывном росте пластической деформации с течением времени при упругих напряжениях.

- При комнатной температуре ОН сохраняют свой уровень. При повышении температуры происходит их уменьшение тем значительнее, чем выше температура и время выдержки.
- Релаксация ОН приводит к появлению деформаций и формоизменения деталей.
- Релаксация ОН при циклических нагрузках зависит от программы нагружений, геометрии деталей и механических характеристик материала.

##### ■ Изменение ОН под действием пластической деформации

Согласно теореме о разгрузке

- пластическая деформация растяжения вызывает образование ОН сжатия и повышает сопротивление усталости;
- пластическая деформация сжатия вызывает появление ОН растяжения и снижает выносливость деталей.

Необходимо учитывать, что остаточные напряжения могут изменяться под действием внешних условий.

Известно такое явление, как **релаксация напряжений**, т.е. их уменьшение в процессе нагружения за счет эффекта ползучести. Данный эффект заключается в росте пластической деформации с течением времени при упругих напряжениях.

При комнатной температуре остаточные напряжения практически не релаксируют. Однако при повышении температуры происходит их уменьшение тем значительнее, чем выше температура и время выдержки. Очевидно, это связано с явлением рекристаллизации.

Изменение напряженного состояния деталей вследствие релаксации остаточных напряжений приводит к появлению деформаций. Это вызывает формоизменение деталей, например, при отжиге, в процессе эксплуатации или даже при хранении.

Известны результаты исследований по релаксации остаточных напряжений при циклических нагрузках.

Однако они не столь однозначны, как в случае с температурной выдержкой, и зависят от программы нагружений, геометрии деталей и механических характеристик материала.

На сопротивление усталости деталей с остаточными напряжениями может существенно повлиять пластическая деформация.

Согласно теореме о разгрузке пластическая деформация растяжения вызывает образование остаточных напряжений сжатия, что повышает выносливость.

Наоборот, пластическое сжатие может вызвать появление остаточных напряжений растяжения и снизить сопротивление усталости.

В связи с этим отраслевыми технологическими инструкциями запрещена правка упругопластическим изгибом деталей, подвергнутых поверхностному деформационному упрочнению.

### 3.1 Влияние технологии на ресурс деталей

#### Физико-химические факторы, влияющие на ресурс деталей

##### ■ Изменение величины энергии в поверхностном слое

Увеличение запасенной в связи с пластической деформацией энергии приводит

- к повышению общей химической активности металла, что снижает сопротивляемость коррозионному воздействию.

*Особенно опасно усиление межкристаллитной коррозии под действием растягивающих ОН. В то же время ОН сжатия тормозят коррозионные процессы.*

- к ускорению процессов рекристаллизации упрочненного материала при повышенных температурах.

*Деформационное упрочнение может снижать работоспособность деталей из жаропрочных материалов.*

Еще одним фактором влияния обработки на ресурс деталей является изменение **энергии, запасенной в поверхностном слое**, из-за пластической деформации.

Увеличение запасенной энергии приводит к повышению общей химической активности металла, что снижает сопротивляемость коррозионному воздействию. Особенно опасно усиление межкристаллитной коррозии под действием растягивающих остаточных напряжений.

В то же время остаточные напряжения сжатия тормозят коррозионные процессы.

Другое следствие увеличения запасенной энергии – ускорение процессов рекристаллизации упрочненного материала при повышенных температурах. Поэтому, в ряде случаев, деформационное упрочнение может снижать работоспособность деталей из жаропрочных материалов.