



## 1 ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЛОК

План управляемой самостоятельной работы студентов.

Темы УСР	Количество часов	Форма контроля
Взаимодействие сопряженных профилей. Способы повышения износостойкости поверхностей	1	Тестирование
Условия работы и нагруженность машин и деталей	1	Тестирование
Статическая прочность и сопротивление усталости деталей машин	1	Тестирование
Надежность и долговечность машин	1	Тестирование
Итого	4	

### Информационно-методическая часть

*Цель УСР:*

- овладение учебным материалом дисциплины в объеме, требуемом учебной программой;
- формирование навыков самообразования в учебной, научной, производственной и управленческой деятельности;
- развитие учебных способностей, умений, навыков и принятия самостоятельных решений в профессиональной деятельности.

#### Методические указания:

1. Изучить предлагаемые вопросы по литературным источникам и лекции;

#### Тема 1.2

#### **Взаимодействие сопряженных профилей. Способы повышения износостойкости поверхностей**

#### **Взаимодействие сопряженных профилей.**

Плавный переход одной поверхности в другую при помощи третьей, промежуточной поверхности или плоскости, касающихся обеих поверхностей, называется их сопряжением.

Передача сил между деталями в машинах происходит по сопряженным поверхностям. Задачей расчета сопряжений является определение напряжений и деформаций. Они нужны для расчета деталей на прочность и определения жесткости соединений.

Виды сопряжений отличаются:

1) По форме контактных поверхностей. Они делятся на гладкие цилиндрические и конические, на резьбовые цилиндрические и конические, на плоские и эвольвентные сопряжения.

- 2) По характеру контакта сопряжения делятся на: сопряжения с поверхностным контактом, сопряжения с линейным контактом, сопряжения с точечным контактом;
- 3) По назначению сопряжения делятся на: неподвижные неразъемные, неподвижные разъемные и подвижные;
- 4) По степени регулируемости сопряжения: регулируемые и нерегулируемые.

Для всех перечисленных видов сопряжений достижение правильного соединения деталей, обеспечивающего нормальную работу машин, может быть осуществлено двумя путями:

- 1) подгонкой деталей на сборке при их сопряжении до получения требуемой подвижности (зазора) или требуемой прочности соединения (натяга);
- 2) точным изготовлением сопрягаемых деталей на местах их производства, когда требуемый зазор (подвижность) или натяг (прочность) достигаются простым соединением сопрягаемых деталей без всякой подгонки.

### **Способы повышения износостойкости поверхностей**

Основные эксплуатационные свойства деталей машин – износостойкость, прочность, коррозионная устойчивость в значительной мере определяются состоянием их поверхностного слоя, определяемого технологией изготовления. В современном производстве назначение и технологическое обеспечение параметров состояния поверхностей деталей недостаточно обосновано, что приводит либо к завышению требований и удорожанию машин, либо к их занижению и снижению надежности. Существует достаточно большое количество различных технологических методов повышения качества поверхностей деталей. Наиболее распространенными из них являются, гальванические и химические методы нанесения покрытий, наплавка, напыление, ионная имплантация, лазерная обработка. Обеспечивая повышение эксплуатационных свойств, а также, улучшая декоративный вид изделий, эти методы в то же время являются экологически небезопасными, загрязняющими окружающую среду и представляющими сложность в утилизации отходов.

Методы повышения качества деталей машин.

Большие возможности в технологическом управлении качеством поверхности деталей машин имеют такие прогрессивные методы обработки, как разновидности отделочно-упрочняющей обработки, в основе которых заложено поверхностное пластическое деформирование (ППД). Требуемые параметры качества поверхности и практически все важнейшие эксплуатационные свойства деталей машин могут быть обеспечены процессами упрочнения их методами поверхностного пластического деформирования, максимально проявляющими потенциальные возможности материала. Применение пластического деформирования материала позволяет снизить материалоемкость и повысить надежность и долговечность изделий. В зависимости от назначения метода и пластических деформаций все эти методы можно разделить на три класса: 1) отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, виброобработка, динамическое упрочнение, электромеханическая и комбинированная обработка различных поверхностей деталей машин); 2) формообразующая обработка пластическим деформированием (накатывание зубьев, шлицев, резьб, фасонных поверхностей); 3) отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием (ка-

либрование наружных и внутренних поверхностей вращения и дорнование). Выглаживание производят инструментом, рабочим элементом которого является алмазный индентор, скользящий по обрабатываемой поверхности. Этим методом можно обрабатывать все виды поверхностей от плоской до фасонной.

Накатывание, раскатывание и обкатывание осуществляют специальным инструментом. При давлении рабочего элемента на обрабатываемую поверхность происходит её локальное пластическое деформирование в месте контакта, наличие различных вращательных и поступательных движений позволяет обрабатывать различные поверхности 9 плоские, цилиндрические, фасонные.

**Комбинированная обработка.**

Особое место среди методов повышения качества деталей машин занимает комбинированная обработка, совмещающая лезвийную и отделочно-упрочняющую обработки. В настоящее время для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения достаточно широкое распространение получило совместное точение и обкатывание, осуществляемое с применением комбинированных инструментов, сочетающих в себе режущие и деформирующие элементы. Преимущества совместной обработки резанием и ППД различных поверхностей комбинированными инструментами по сравнению с отдельной обработкой неоспоримо доказаны в современной литературе. Такой метод позволяет не только повысить качество поверхности, но и даёт возможность увеличить производительность, снизить трудоёмкость обработки, что является существенным преимуществом комбинированной обработки перед другими способами повышения качества поверхностного слоя. Однако в настоящее время в справочно-нормативной документации недостаточно полно представлены сведения о рациональной области применения комбинированной отделочно-упрочняющей обработки. Следовательно, использование этого метода требует более подробного исследования и обоснования качества обработанной поверхности в зависимости от свойств обрабатываемого материала, режимов резания, эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей. Таким образом, все методы обработки поверхностным пластическим деформированием имеют широкие возможности в управлении параметрами состояния поверхностного слоя деталей машин, а, следовательно, и их эксплуатационными свойствами. Опыт современного машиностроения свидетельствует, что при совмещении процесса лезвийной обработки с ППД предоставляется возможность наряду с повышением эксплуатационных свойств изготавливаемой продукции одновременно повысить точность и производительность технологического процесса обработки в целом.

### **Тема 1.3**

#### **Условия работы и нагруженность машин и деталей**

Работоспособность машины зависит от условий эксплуатации и режимов ее работы. Она изменяется под воздействием механической, тепловой, химической, электромагнитной и других энергий.

Механическая энергия при выполнении работы в соответствии с назначением воздействует на машину в виде статических и динамических нагрузок, которые значительно возрастают от воздействия окружающей среды, включая оператора. Эта энергия может также проявляться в потенциальной форме, которая сохранилась после изготовления машины (деформация деталей после термической обработки и сборки).

Тепловая энергия действует на машину в результате колебаний температуры окружающей среды, особенно это сказывается на работе ДВС, приводных механизмов, электротехнических и гидравлических устройств, а также на циклическом и хрупком разрушении элементов конструкций и деталей сборочных единиц.

Химическая энергия оказывает влияние на работоспособность машины через коррозию ее отдельных деталей и сборочных единиц. При эксплуатации машин в условиях агрессивной среды химическое воздействие приводит к разрушению элементов и сборочных единиц конструкций.

Электромагнитная энергия в виде электромагнитных колебаний нарушает работоспособность электронной аппаратуры, применение которой все больше расширяется в современных машинах.

При создании машины необходимо установить в первую очередь условия ее работы, интенсивность внешних воздействий и нагруженность, определяемые характером рабочего процесса.

Нагруженность машин является одним из важнейших факторов, характеризующих их работоспособность и энергетическую эффективность.

По характеру изменения во времени нагрузки, действующие на конструкцию машины при использовании ее по назначению, можно разделить на постоянные, переменные и прочие.

К постоянным относят нагрузки рабочего состояния, которые не изменяются в течение продолжительного периода времени (температурные, воздействия, сила тяжести, усилия предварительного натяжения и др.). Переменные рабочие нагрузки изменяются в течение короткого времени по амплитуде и среднему значению. Подавляющее большинство СДПТМ, в том числе все машины циклического действия, работают на неустановившихся режимах, которые характеризуются нестационарными нагрузками с меняющимися параметрами. К прочим нагрузкам относят нагрузки, не связанные с рабочим состоянием машины (сейсмические, монтажные, испытательные).

При расчетах на статическую прочность суммарную нагрузку определяют простым сложением переменных и постоянных нагрузок. Если постоянная нагрузка вызывает в элементах нагружения только постоянные напряжения, а от других нагрузок они испытывают циклические напряжения, то простое сложение нагрузок недопустимо. В этом случае определяется эквивалентное напряжение ( $\sigma_{\text{экв}}$ ).

В целом влияние постоянной нагрузки на циклическую прочность незначительно и в первом приближении ею можно пренебречь. Однако постоянные нагрузки значительное влияние оказывают на изнашивание сопряженных пар трения и на энергетическую эффективность машин через увеличение сопротивления движению.

На снижение работоспособности машин большое влияние оказывают переменные нагрузки. Основными причинами переменности рабочих нагрузок являются нестационарность режима загрузки, переменность рабочего процесса, динамические явления при действии внешних и внутренних сил.

Практически все машины и конструкции в процессе эксплуатации подвергаются действию циклических нагрузок. Число циклов  $N$  эксплуатационного нагружения за сроки эксплуатации до  $3 \cdot 10^5$  ч изменяется в пределах от  $10^0$  до  $10^{12}$ .

Наибольшую опасность представляют резонансные режимы работы, при которых динамические нагрузки могут превышать предельно допустимые значения.

При оценке усталостной прочности с учетом характеристик сопротивления

усталости материала определяют способность изделия не разрушаться под действием переменных напряжений в течение заданного числа циклов  $N$ .

Статическая прочность детали определяется ее способностью сопротивляться разрушению от максимальных кратковременных нагрузок.

## Тема 1.4

### Статическая прочность и сопротивление усталости деталей машин

Характеристики статической прочности деталей – пределы прочности, текучести и пропорциональности – определяют во время статических стендовых испытаний, при этом схемы нагружения деталей близки к реальным.

Повышение статической прочности деталей может быть достигнуто применением легированных сталей и объемной термической обработкой. Использование сравнительно дорогой легированной стали без термической обработки считается нерациональным. В связи с этим возникает необходимость в исследовании влияния термической обработки и последующего комбинированного упрочнения на коррозионно-усталостную прочность легированных сталей и натуральных замковых соединений. На статическую прочность деталей, выполненных из пластических материалов, концентрация напряжений не влияет, а поэтому в расчетах не учитывается. Если же деталь выполнена из хрупкого материала, то ее прочность снизится вследствие концентрации напряжений. Для оценки статической прочности деталей, имеющих значительное рассеяние механических характеристик, целесообразно применять статистический подход. Обычно исходят из нормального распределения характеристик прочности. Это отношение можно рассматривать как накопленную частоту, по которой оценивается вероятность  $P$  разрушения детали при напряжении, меньшем или равном  $\sigma$ . При определении статической прочности деталей из хрупкого материала с дефектами важную роль играет величина удельной энергии  $K$ , необходимой для образования единицы поверхности излома. Соответственно этому при расчете статической прочности деталей критерием прочности пластичных металлов считается предел текучести  $\sigma_T$ , а для хрупких металлов - предел прочности  $\sigma_B$ . При наибольших кратковременных нагрузках проверяется статическая прочность детали; при длительно действующих циклических нагрузках производится расчет на выносливость. В конструкциях арматуры необходимо обеспечить статическую прочность деталей, поскольку они, как правило, воспринимают статические нагрузки. В этих условиях опасное состояние материала определяется либо возникновением больших остаточных деформаций в пластичных металлах, либо возникновением трещин (разрушение) в хрупких металлах. На величины эффективных коэффициентов концентрации напряжений влияют и их ограничивают целый ряд факторов, таких как статическая прочность детали с концентрацией напряжений, теоретический коэффициент концентрации напряжений для данного концентратора напряжений, абсолютные размеры и эффект коррозии.

Усталость деталей машин в значительной степени зависит от конструктивных, технологических, эксплуатационных и других факторов, которые в большинстве случаев трудно учесть при расчете механических конструкций на усталостную прочность. В этой связи испытания на усталость материалов и натуральных деталей в рабочих условиях, на стадии доводки окончательного варианта конструкции являются решающим звеном в процессе создания надежных и долговечных машин. Однако такие

испытания связаны с многочисленными трудностями, так как трещины усталости чаще всего развиваются на деталях, расположенных в труднодоступных местах, которые часто заполнены различными средами. На сопротивление усталости деталей машин и частей сооружений оказывает существенное влияние ряд факторов: состав и структура материала; вид напряженного состояния и характер изменения его во времени; форма и размеры нагружаемых объектов; состояние поверхности; остаточная напряженность; температура; активность окружающей среды и др. В связи с этим определить расчетным методом пределы выносливости для реальных конструкций, в которых, как правило, действуют многие из перечисленных выше факторов, чрезвычайно трудно. Повышение долговечности деталей машин методом поверхностно пластического деформирования (ППД) или поверхностного наклепа широко используется в промышленности для повышения сопротивляемости малоцикловой и многоцикловой усталости деталей машин. Для цементуемых сталей с нормальным содержанием углерода (0,17—0,24 %) глубину цементованного слоя принимают 1,0—1,25 мм. Следует иметь в виду, что сопротивление усталости деталей машин без концентраторов напряжений при малых глубинах слоя зависит от прочности сердцевины, при больших — от прочности слоя. В этом случае повышение глубины слоя полезно только до 10—20 % от радиуса детали. Поверхностное пластическое деформирование (наклеп) широко применяют в настоящее время для увеличения сопротивления усталости деталей машин и частей сооружений из разнообразных металлических материалов.

В случае применения сталей с 0,27—0,34 % *C* глубину цементованного слоя следует назначать в пределах 0,5—0,7 мм. При этом следует иметь в виду, что сопротивление усталости деталей машин без концентраторов напряжений при малых глубинах слоя зависит от прочности сердцевины, при больших — от прочности поверхностного слоя. В этом случае повышение глубины упрочненного слоя оказывается полезным только до 10—20 % радиуса детали. При глубине слоя меньше этих значений сопротивление усталости повышается с увеличением прочности сердцевины. Главным фактором, вызывающим увеличение предела выносливости при химико-термических методах обработки деталей, являются остаточные напряжения, возникающие в материале детали в процессе упрочнения. В еще большей степени это относится к упрочнению наклепом. Исследования влияния поверхностной закалки на усталостную прочность стали показывают, что положительный эффект достигается в тех случаях, когда окончание зоны закалки выводится в безопасное место детали. Так, для лабораторных образцов, подвергающихся испытаниям на усталость, важно, чтобы поверхностной закалке подвергались как рабочая часть образца, так и галтели. Если закаливается только рабочая часть образца (галтели не закачиваются), то его предел выносливости оказывается ниже предела выносливости образца без закалки. Понижение сопротивления усталости деталей машин в зоне обрыва закаленного слоя многократно наблюдалось и в промышленных условиях.

В инженерной практике встречаются два вида расчёта: проектный и проверочный.

**Проектный расчёт** — предварительный упрощённый расчет, выполняемый в процессе разработки конструкции детали (машины) в целях определения её размеров и материала.

**Проверочный расчёт** — уточнённый расчёт известной конструкции выполняемой в целях проверки её прочности или определения норм нагрузки.

## Тема 1.5

### Надежность и долговечность машин

Надежность — это свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели, в заданных пределах в течение требуемой наработки (при заданных условиях эксплуатации). Надежность изделия обуславливается его безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью.

Безотказность — свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Из определения следует, что отказов не будет только в течение заданной наработки или заданного промежутка времени.

Долговечность — это свойство изделий сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации изделия, обусловленной снижением эффективности или требованиями безопасности. Предельное состояние оговаривается в технической документации (до капитального ремонта или до списания, если для данной машины капитальный ремонт не предусмотрен). Например, в технической документации указано, при каких параметрах изделие подлежит ремонту (двигатель внутреннего сгорания — в результате потери мощности и при повышенном расходе топливо-смазочных материалов).

Ремонтпригодность — это приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Устранение отказов подразумевает восстановление утраченной работоспособности.

От ремонтпригодности зависят убытки, возникающие из-за пребывания машины в неработоспособном состоянии в связи с проведением технического обслуживания и ремонта. Это ее важнейшее эксплуатационно-техническое свойство.

Ремонтпригодной считают такую конструкцию машины, которая при рациональных затратах на ее проектирование, изготовление и эксплуатацию будет минимальное время находиться в неработоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации.

Сохраняемость — это свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение срока хранения и транспортирования, установленного в технической документации. Сохраняемость — важное свойство, характеризующее строительные и дорожные машины, которые работают сезонно (скреперы, дорожные катки, асфальтоукладчики и др.).

Повышение надежности машин достигается в основном за счет:

- долговечности материалов деталей и рациональных их сочетаний в парах трения;
- нормальных условий работы деталей при наименьших потерях на трение;
- оптимальных температурных режимов работы; условий смазки трущихся поверхностей деталей;
- эффективных устройств для очистки воздуха, топлива, смазки;
- улучшения конструкции и материалов уплотнительных устройств и герметизации сборочных единиц и агрегатов;



- достаточной жесткости базовых деталей машин, устойчивости их к вибрациям и т.д.

Чем выше надежность машины, тем меньше ее неплановые простои, уменьшающие время чистой работы. При этом экономические показатели машины повышаются как за счет снижения стоимости ремонта, так и за счет уменьшения потерь, вызванных простоем в ремонте.

Надежность новых машин несомненно выше капитально отремонтированных, так как при ремонтах часто не выдерживаются первоначальные требования к материалу детали и допускам на их изготовление.

Одной из причин, вызывающих ухудшение технического состояния машины и ее эксплуатационных свойств, а, следовательно, и надежности, является износ деталей.

### Список рекомендуемых источников.

1. Детали машин. Учебник для вузов / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич [и др.] ; под ред. О. А. Ряховского. — М : МВТУ им. Баумана, 2007. — 520 с.
2. *Заблонский, К. И.* Детали машин / К. И. Заблонский. — Киев : Вища школа, 1985. — 518 с.
3. *Иванов, М. Н.* Детали машин / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — М : Высшая школа, 2008. — 408 с.
4. *Иосилевич, Г. Б.* Детали машин. Учебник / Г. Б. Иосилевич. — М : Машиностроение, 2002. — 400 с.
5. *Кудрявцев, В. Н.* Детали машин: Учебник / В. Н. Кудрявцев. — Л : Машиностроение, 1980. — 464 с.
6. *Решетов, Д. Н.* Детали машин. Учебник / Д. Н. Решетов. — М : Машиностроение, 1989. — 496 с.
7. *Скойбеда, А. Т.* Детали машин и основы конструирования / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Макейчик ; под ред. А. Т. Скойбеда — Мн : Вышэйшая школа, 2006. — 560 с.: ил.
8. *Скойбеда, А. Т.* Детали машин. Теория и расчет. Учебное пособие / А. Т. Скойбеда, В. А. Агейчик, И. Н. Кононович. — Мн : БГАТУ, 2014. — 372 с.