

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

**Загороднюк Т.С.**

*Беріктікті қамтамасыз ететін технологиялар әдісін қолдану машинаның ұзақ мерзімге шыдамдылығын арттырады, қосымша бөлшектер мен материал қажеттілігін қысқартады, шектік кернеулердің артуына әкелетін бөлшектердің салмағы мен өлшемдерін азайтуға, сонымен қатар машиналарды дайындау мен пайдалануға кететін шығындарды төмендетуге мүмкіншілік береді.*

*Application of methods of strengthening technique raises longevity of machines, reduces necessity of materials and spare parts, allows to diminish dimensions and weight of details owing to heightening supposed efforts, and also reduces expenditures on manufacture and maintenance of machines.*

Применение методов упрочняющей технологии повышает долговечность машин, сокращает потребность в материалах и запасных частях, позволяет уменьшить габаритные размеры и массу деталей вследствие повышения допускаемых напряжений, а так же снижает расходы на изготовление и эксплуатацию машин.

Достижение необходимого качества поверхностей деталей машин и поддержание его на заданном уровне в производственных условиях является задачей построения всего технологического процесса.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются его твердостью, структурными и фазовыми превращениями, величиной, знаком и глубиной распространения остаточных напряжений, деформацией кристаллической решетки материала. При применении химико-термических методов обработки происходят также изменения химического состава материала поверхностного слоя.

В процессе эксплуатации машин качество поверхностей их деталей изменяется. По ряду показателей (износ, образование и развитие микротрещин, задиры, коррозионное и эрозионное разрушения и др.) качество поверхности ухудшается. Поэтому важно обеспечить (конструктивно и технологически) не только требуемое качество поверхностей деталей машин в процессе их производства, но и сохранение постоянства заданного качества поверхности на длительный срок эксплуатации машин.

По критериям работоспособности и причинам выхода деталей машин из строя их можно разбить на три группы. К первой группе относятся детали, работоспособность которых лимитируется износостойкостью трущихся поверхностей. В зависимости от вида износа следует применять различные методы упрочнения. При абразивном износе эффективны упрочнения поверхностной закалкой; химико-термической обработкой (цементация, азотирование, цианирование, сульфидирование и др.); наплавкой; гальваническими покрытиями (хромирование, борирование и др.). При коррозионно- и молекулярно- механическом износе кроме перечисленных

методов можно применять упрочнение поверхностно-пластическим деформированием с созданием большей глубины наклепа, упрочнение поверхностной закалкой и химико-термической обработкой, а так же комбинацию последних методов с последующим наклепом.

Ко второй группе относятся детали, выходящие из строя в результате износа трущихся поверхностей и разрушения поверхностей контакта. По характеру работы они являются средненагруженными и подвержены переменным напряжениям. Явления усталости у этих деталей наблюдаются главным образом в поверхностных слоях металла. Рекомендуемые методы упрочнения: поверхностно-пластическое деформирование (глубина наклепа 0,5 мм и более), поверхностная закалка, химико-термическая обработка (самостоятельно и в комбинации с наклепом).

К третьей группе относятся тяжелонагруженные детали. Их материал подвержен переменным напряжениям, величина которых может быть выше предела выносливости. Детали этой группы выходят из строя в результате явлений усталости, вызывающих разрушение по всему сечению детали. Методы упрочнения: поверхностно-пластическое деформирование (дробеструйный наклеп, чеканка, обкатывание роликами), поверхностная закалка, химико-термическая обработка и сочетание двух последних методов с последующим наклепыванием [1].

Качество поверхности деталей машин зависит в основном от метода и режимов проведения отделочной обработки: при определенных условиях поверхностный слой может быть упрочнен в сравнении со свойствами основного металла, а иногда получается ослабленным. В связи с этим возникает задача выявления взаимосвязи между технологией обработки и эксплуатационным качеством поверхности, с тем чтобы путем технологического воздействия создавать в поверхностном слое такие физико-механические свойства и такие эпюры остаточных напряжений, которые в наибольшей степени соответствовали бы условиям длительной и надежной эксплуатации.

Проблема целенаправленного формирования поверхностного слоя с заданными свойствами в процессе механической обработки является одной из важнейших и актуальных научных проблем технологии машиностроения.

Повышение качества поверхностного слоя может быть достигнуто в результате применения как обычных методов при определенных режимных условиях, так и специальных методов обработки.

Наиболее вредно на качество поверхностного слоя отражаются его структурные неоднородности и наличие напряжений растяжения; наличие напряжений сжатия заметно повышает предел усталости металла детали.

Релаксация остаточных напряжений в материале, особенно у тонкостенных деталей, в процессе их эксплуатации может привести к искажению формы и размеров. Эти явления, в частности, могут иметь место при тепловом воздействии на детали реактивных двигателей. Повышенная микротвердость улучшает износостойкость поверхностного слоя.

Упрочнение поверхностей деталей машин методами чистовой обработки без снятия стружки достигается созданием наклепа в поверхностном слое. При

этом его твердость повышается и в нем возникают сжимающие остаточные напряжения, достигающие иногда величин 392...688 МПа.

Пластическая деформация металлов в холодном состоянии происходит за счет сдвига по плоскостям скольжения отдельных частиц кристаллов друг относительно друга или вследствие поворота одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части (двойникование). При сдвиге отдельных частей по поверхности скольжения образуется слой с искаженной кристаллической решеткой и мелкими осколками зерен, создающими «шероховатость» по поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению зерен. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение называется наклепом. Результат упрочнения выражается в том, что предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно наклепом поверхностного слоя детали или всего ее объема. При восстановлении усталостной прочности в поверхностном слое необходимо создать сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения гальванических покрытий.

При упрочняющей обработке мест концентрации напряжений (галтели, канавки и т.д.) уменьшается их вредное влияние на прочность детали. Влияние наклепа наиболее благоприятно для повышения усталостной прочности.

Эффект упрочнения достигается при воздействии на обрабатываемую поверхность ударов или давления [1].

Наибольшее применение получило обкатывание роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливается на суппорте станка. Инструмент (накатник) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи. Обкатывание роликами и шариками применяют в качестве метода отделочной обработки поверхностей, оказывающего также и упрочняющее действие. Обкатыванием цилиндрических поверхностей, галтелей и канавок достигается эффективное снижение концентрации напряжений и повышение долговечности деталей, работающих в условиях переменной нагрузки. Галтели коленчатых валов упрочняют обкатыванием профильными подпружиненными роликами, изготовленными из твердого сплава Т15К6 и касающимися при работе галтельных переходов детали под действием приложенной силы. Обкатывание роликами после чистовой обработки лезвийным инструментом улучшает шероховатость поверхности на один - два класса. После обкатывания обточенных деталей из стали 45 уплотняющими роликами их усталостная прочность может быть повышена до 2 раз. Если главной целью обработки является упрочнение поверхности, то силы обкатывания увеличивают, однако в этом случае несколько снижается точность обработки.

Раскатывание внутренних поверхностей вращения выполняют многороликовыми инструментами на сверлильных, токарно-револьверных, горизонтально-расточных и агрегатных станках, а также на токарных автоматах и полуавтоматах. При раскатывании повышается твердость поверхностного слоя на 20-50 %; в связи с этим повышается также его износостойкость (в отдельных случаях в 1,5-2 раза). Внутренние поверхности (гильз цилиндров, отверстий в головках шатунов) упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками. Эта обработка обеспечивает требуемую точность размеров деталей и необходимую шероховатость. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, число ходов 2...4. Такой же результат получают при дорновании отверстий шариками и оправками.

Более эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их чеканка. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают с помощью бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при применении чеканки увеличивается в несколько раз по сравнению с обкатыванием. Метод наиболее употребителен для обработки мест концентрации напряжений (канавок, галтелей, сварных швов).

Чеканочный инструмент представляет собой боек с профильным радиусом 3...5 мм. Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Электрические и механические приспособления обычно нетиповые. Энергия удара пневматических инструментов составляет 30...50 Дж, электромеханических 20 Дж. Чеканочные приспособления для обработки деталей – тел вращения устанавливают на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволок диаметром 2...3 мм.

Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для сохранения исходной шероховатости детали шлифуют.

Наклепывание дробью путем дробеструйной обработки применяют для повышения усталостной прочности стальных деталей, деталей из цветных сплавов, а также для упрочнения сварных швов. Наклепыванию подвергают пружины, листы рессор, зубчатые колеса, оси и другие детали преимущественно сложных форм после их окончательной обработки. На качество поверхности влияет размер дроби, скорость движения дроби и угол, под которым она встречает обрабатываемую поверхность, расход дроби в секунду и продолжительность обработки. Глубина наклепа достигает 0,5-1мм, исходная твердость повышается на 20-40 %, в поверхностном слое образуются сжимающие напряжения, а под ними растягивающие. Срок службы повышается для пружин в 1,5-2 раза, для зубчатых колес в 2,5 раза, для рессор в 10 - 12 раз. Обработка дробью несколько снижает шероховатость поверхности деталей.

В качестве оборудования для обработки дробью служат механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь

выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина не превышает 1мм.

Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировать скорость пролета дроби.

Наклеп ротационным упрочнителем выполняется с помощью приспособления, установленного на суппорте токарного станка. Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые вмонтированы шарики с возможностью перемещения вдоль оси отверстий. Диск получает вращение от электродвигателя. Линейная скорость обода диска 13...25 м/с. В течение одного оборота диска каждый шарик наносит удар по упрочняемой поверхности.

Наклепывание шариками поверхности происходит в результате многократных ударов по ней шариков, размещенных в быстровращающемся диске. Этот способ применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов, целесообразнее всего его применять для местного наклепа в опасных зонах небольшой протяженности.

Размер детали практически не изменяется, твердость увеличивается на 25...45 % для стали и на 30...60 % для чугуна; при этом чем выше исходная твердость материала, тем меньше эффект наклепа. При перенаклепе чугуна поверхностный слой разрушается. Износостойкость чугунных деталей повышают созданием на поверхности трения отбеленной корки.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Структура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. У термически обработанных сталей, имеющих твердость 40...45 HRC, в процессе наклепа она возрастает всего на 5...10 %. Шероховатость поверхности после обработки понижается. Шероховатость обточенных или шлифованных поверхностей с  $Ra = 2,5...0,4$  мкм, после наклепывания шариками уменьшается до  $Ra = 0,63...0,16$  мкм. Большое значение имеет выбор режима обработки; при неправильно выбранном режиме в поверхностном слое могут возникнуть растягивающие напряжения. Способ высокопроизводителен.

Пластическое деформирование применяется и как отделочно-чистовая обработка в виде калибрования отверстий или выглаживания.

Отверстия калибруют перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ.

Выглаживание заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и детали. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, выглаживание основано на использовании трения скольжения.

В качестве материала для выглаживающего инструмента применяют следующие твердые сплавы: титановольфрамовые Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, вольфрамокобальтовые ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8,

титанотанталовольфрамовые ТТ10К8А, ТТ10К8Б, а также минералокерамику ЦМ-332.

Поверхностный слой приобретает наилучшие показатели при использовании инструмента из синтетического алмаза, представляющего собой оправку с алмазным наконечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка. Выглаживают только сплошные поверхности.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью 35...67 HRC составляет 200...280 м/мин, а подача 0,02...0,05 мм/об. Качество выглаживания определяется: формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает  $R_a = 0,1...0,05$  мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя до 400 мкм, на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям также высокие износостойкость и усталостную прочность. Этот вид обработки рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в 2 раза.

Обработка стальными щетками – эффективный метод упрочнения детали на глубину 0,04...0,06 мм. Щетки, состоящие из стальных проволок диаметром 0,3 – 0,1 мм, вращаются с окружной скоростью 30 – 45 м/с; их стойкость – несколько тысяч часов. При обработке щетками средней жесткости исходная шероховатость уменьшается в 2 – 4 раза. Через 4 – 6 с шероховатость поверхности достигает минимального значения и далее начинает резко увеличиваться с образованием наплывов. На первом этапе микротвердость поверхностного слоя возрастает в 1,5 – 2 раза и далее продолжает нарастать, увеличиваясь в 3 – 4 раза против исходной. Процесс может быть автоматизирован для обработки деталей различных типов и размеров.

Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности элементов деталей, восстановленных наплавкой, гальваническими покрытиями и напылением. В ходе пластического деформирования значительное число трещин, находящихся в поверхностном слое, смыкается, а объем этого слоя становится более цельным. Поверхностный наклеп выравнивает значения физико-механических свойств различных участков поверхности, местные растягивающие напряжения подавляются вновь созданными сжимающими напряжениями, которые повышают предел выносливости материала. Аналогично влияет на поверхность выхаживание при шлифовании. Его необходимо заканчивать раньше, чем будет снят натяг в технологической системе от действия сил шлифования [2].

После обработки поверхностно-пластическим деформированием при малых давлениях и инструмента может сказываться в силу технологического наследования влияние предшествующей обработки на наклеп и остаточные напряжения в поверхностном слое детали. При больших давлениях наклеп и остаточные напряжения определяются режимами деформирования.

### **Литература:**

1. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1974. – 335с.
2. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин. – М.: Машиностроение, 2003. – 672с.