

ЛЕКЦИЯ-16

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ.

В машиностроительном и ремонтном производствах для повышения эксплуатационных свойств и, в частности, износостойкости поверхностей деталей широкое применение получили нижеследующие методы обработки.

Упрочнение при резании

В зависимости от способа (точение, фрезерование, шлифование) и основных факторов обработки: скорости, подачи, глубины резания, СОЖ и др. формируется различное качество, (шероховатость, структура и т.д.), оказывающее то или иное влияние на эксплуатационные свойства деталей.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием.

Упрочнение дробью (шариками).

Упрочнение дробью представляет собой процесс ППД за счет ударов дроби по обрабатываемой поверхности заготовок. Скорость дробинок может достигать (70...90) м/с. Различают метод дробеударной обработки, обеспечивающий упрочнение сухой дробью, и метод гидродробеударной обработки, когда обработка производится дробью со смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ).

В зависимости от механизма сообщения дроби кинетической энергии дробеударная обработка производится на дробеструйных и дробеметных установках. В дробеструйных установках необходимая скорость сообщается дроби струей сжатого воздуха, подаваемого через воздушную форсунку. В этом случае поток (струя) дроби направляется на обрабатываемую поверхность заготовки. В дробеметных установках необходимая скорость потока дроби создается за счет разбрасывания лопатками быстро вращающегося ротора. Дробеструйный способ более универсален, конструкция установки значительно проще, отпадает необходимость промывки деталей после упрочнения.

Основные недостатки дробеударного упрочнения заключается в том, что вследствие высоких локальных температур, возникающих при ударе дроби, происходит значительное снижение остаточных сжимающих напряжений у поверхности; увеличивается шероховатость предварительно шлифованных поверхностей; в связи с колебаниями давления воздуха и размера дроби нарушается стабильность процесса упрочнения. Кроме того, происходит быстрый износ дробеметных устройств (дробеструйные сопла, лопасти и другие элементы), а присутствие металлической пыли, находящейся во взвешенном состоянии, ухудшает условия соблюдения техники безопасности.

Гидродробеударную обработку подразделяют на гидродробетруйную и гидродробеструйную эжекторную. При гидродробеструйном упрочнении (ГДУ) поток дроби (шариков) эжектируется на обрабатываемую поверхность смазывающе-охлаждающей жидкостью, т.е. обрабатываемая поверхность подвергается воздействию струи суспензии, состоящей из СОЖ и дроби.

Принципиальная схема упрочнения на ГДЭУ показана на рисунке 3. В нижней части камеры 1 смонтировано сопло-эжектор 2 и разделительная сетка 3, в которой находится дробь (шарики). В рабочей полос-ти камеры, несколько ниже уровня выходного торца сопла находится СОЖ, которая при помощи насоса подается в сопло-эжектор 2.

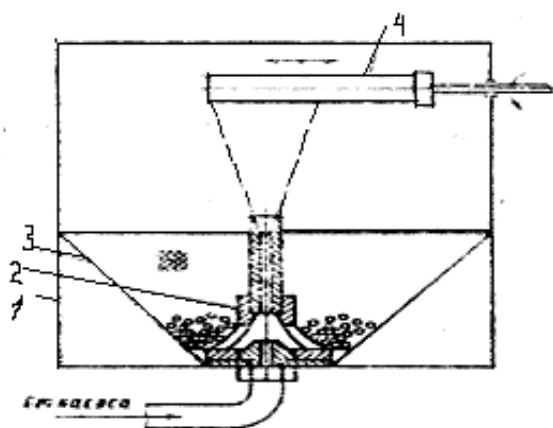


Рисунок 3 – Схема упрочнения на гидродробеструйной эжекторной установке.

Из сопла струя СОЖ вместе с дробью направляется на обрабатываемую поверхность заготовки 4. Последняя устанавливается в шпинделе и при помощи специального устройства может иметь продольное перемещение и медленное вращение, необходимые для упрочнения всей поверхности цилиндрической заготовки.

В камере 1 поддерживается постоянный уровень СОЖ, для чего предусмотрен патрубок (на схеме не показан), по которому жидкость стекает в бак и пройдя фильтр, засасывается насосом. Исключение сухого трения дробинок между собой и о поверхность рабочих элементов ГДУ обеспечивает высокую стойкость сопел и других деталей. Недостатки гидродробеструйного упрочнения – необходимость промывки деталей и повышенная пожароопасность во время работы ГДЭУ при применении масла в качестве СОЖ.

В машиностроении ГДЭУ широко используют для упрочнения шестерен, пружин, лопаток компрессора, шатунов и других деталей, а также для упрочнения режущего инструмента. Для повышения производительности некоторые конструкции ГДЭУ имеют несколько сопел.

Гидродробеструйное упрочнение производится шариками или дробью диаметром от 1 до 4 мм с давлением жидкости (0,2...0,8) МПа. В качестве СОЖ обычно используется трансформаторное масло или масло «индуст-

риальное 12». Время упрочнения в зависимости от размеров заготовки составляет (2...10) минут. Эффективность упрочнения определяется режимами обработки и свойствами материала детали. При обработке титанового сплава ВТЗ-1 давлением жидкости 0,2 МПа в течение двух минут обеспечивается повышение поверхностной твердости на (20...22)%, толщина наклепанного слоя (0,1...0,12) мм, формирование сжимающих остаточных напряжений с максимальным значением 450...500 МПа и шероховатость поверхности Ra (0,6...0,16) мкм. Предел выносливости плоских образцов после упрочнения увеличился с 400 до 480 МПа. Предел выносливости лопаток компрессора из сплава ВТ-8 в результате упрочнения дробью возрастает с 340 до 410 МПа.

Обкатывание роликами (шариками).

Обкатывание производится на токарных или специальных станках. Обкатываемая заготовка в зависимости от ее конструкции и размеров устанавливается в центрах или патроне, а обкатное приспособление (обкатник) – в резцедержателе станка.

Давление со стороны ролика (шарика) на обкатываемую поверхность заготовки создается тарированной пружиной, а также при помощи пневматического или гидравлического силового механизма. Род силового механизма определяет конструкцию обкатника. Таким образом, упрочнение происходит при упругом контакте между инструментом и обрабатываемой поверхностью. В этом случае траектория перемещения деформирующего инструмента в процессе обработки определяется формой исходной заготовки. Поскольку нормальная сила при обработке сохраняется постоянной, то практически не изменяется и форма исходной заготовки.

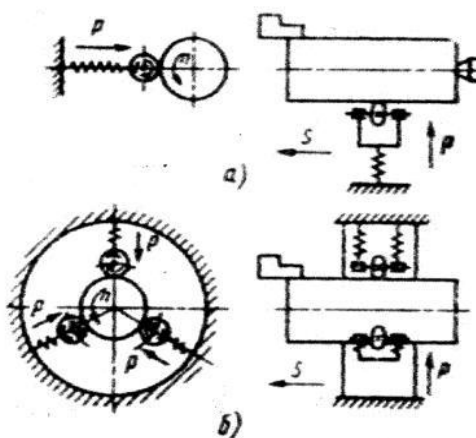


Рисунок 4 – Схема однороликового (а) и трехроликового (б) обкатных приспособлений с пружинным силовым механизмом

При упрочнения деталь вращается, деформирующий инструмент (ролик), находящийся в контакте с обрабатываемой поверхностью, вместе с обкатником имеет продольную подачу.

Упрочнение роликами применяется главным образом для крупных деталей машин с целью создания деформированного слоя глубиной до 5... 10 мм и более. Создание такого слоя требует приложения больших нормальных сил, могущих вызвать недопустимый изгиб детали и деформаций элементов станка. С целью разгрузки станка и предотвращения недопустимого изгиба обрабатываемой заготовки в необходимых случаях применяют двух- и трехроликовые обкатные приспособления, в которых нормальные силы уравновешены. Схема упрочнения трехроликовым приспособлением с пружинным силовым механизмом показана на рисунке 4-б.

При обкатывании роликами наружных цилиндрических поверхностей происходит некоторое уменьшение диаметра, зависящее от исходной шероховатости и свойств материала. Если обкатываются предварительно обточенные поверхности, то изменение диаметра (по данным Уралмашзавода) составляет 0,01...0,06 мм, а при обкатывании шлифованных поверхностей – 0,005... 0,03 мм. Эти изменения диаметра следует учитывать при проектировании технологического процесса.

Значение нормальной силы обкатывания P_n выбирается в зависимости от требуемой глубины упрочненного слоя и свойств материала. При обкатывании целесообразно применять СОЖ.

Для равномерного упрочнения необходимо, чтобы подача при обкатывании была не более 0,1...0,12 ширины следа ролика на обрабатываемой поверхности. Обкатывание роликами крупных деталей производится обычно за один рабочий ход при вращении детали со скоростью не более 1 м/с.

Профильный радиус ролика зависит от нормальной силы. Так при силе (10...30) кН профильный радиус ролика R принимают от 3 до 10 мм, а при силе 40...60 кН – от 8 до 24 мм. В первом случае детали обкатывают с подачей (0,2...0,4) мм/об, а во втором – (0,4...0,5) мм/об.

При обкатывании роликом формируются микронеровности, размер которых зависит от исходных микронеровностей поверхности, свойств материала и режимов обработки. При исходной шероховатости по параметру R_z от 20 до 40 мкм может быть получена поверхность с шероховатостью (3,0...8,0) мкм.

Изменение твердости (степень наклепа) и остаточные напряжения в поверхностном слое также зависят от режимов обработки. Большое значение при этом имеет давление в контакте между роликом и обрабатываемой поверхностью, зависящее от значения нормальной силы, размера диаметра и радиуса профиля ролика. С увеличением контактного давления твердость возрастает. У конструкционных сталей увеличение твердости может достигать (20...40)% и более.

Для повышения уровня остаточных сжимающих напряжений и глубины их залегания, равно как и для увеличения глубины деформированного (наклепанного) слоя, кроме увеличения нормальной силы, необходимо увеличивать диаметр и радиус профиля ролика. В этом случае одновременно возрастут контактное давление и поверхность контакта, что и обес-

печит распространение деформации на большее расстояние от обрабатываемой поверхности.

Вибрационная обработка деталей.

Вибрационная обработка (виброгалтовка) представляет собой механический или химико-механический процесс выглаживания и упрочнений поверхностей путем направленных вибраций, сообщаемых рабочей камере, в которой расположены детали и рабочая среда. В процессе колебаний рабочей камеры детали (лопатки турбин и компрессоров, зубчатые колеса, клапаны и др.) и рабочая среда непрерывно подвергаются знакопеременным ускорениям. Направление относительных перемещений деталей и частиц среды меняются, в результате чего между ними возникают удары и интенсивное трение. Интенсивность процесса зависит от скорости относительного перемещения деталей и частиц рабочей среды, объема заполнения рабочей камеры, гранулометрического состава частиц, влагосодержания и других факторов. Виброгалтовка способна создавать оптимальные остаточные напряжения в поверхностных слоях деталей.

Виброгалтовка применяется для различных целей и по характеру вибрации установки делятся на одно-, двух- или трехкомпонентные в зависимости от количества направлений приложения вибраций. Объем рабочих камер виброустановок от 5 до 28000 л.

Для шлифования и полирования деталей используют искусственные (белый и нормальный электрокорунд, зеленый и черный карбид кремния) и естественные (кварцевые породы, гранит, известняк, мрамор) абразивные материалы и водные растворы химических соединений с добавками, обладающими моющими, травящими, блескообразующими и другими свойствами. Абразивные материалы применяют в виде крошки шлифзерна, шлиф-порошков, паст с различными связками (керамической, бакелитовой, вулканитовой).

Упрочненные слои получают в рабочей среде, состоящей из стальной и чугунной дроби диаметром (4...10) мм, литых звездочек, рубленой проволоки, мелких отходов листовой штамповки. Обработка ведется всухую или с подачей содового раствора для стальных деталей или раствора хромпика для деталей из алюминиевых сплавов.

Виброгалтовку применяют также для фосфатирования, нанесения пленок сухих смазок типа MoS_2 , пленок меди, кадмия. Процесс осуществляется в рабочей среде, состоящей из стальных шариков и порошка образователя пленок. Частицы порошка образуют ювенильные поверхности, в то время как шарики «вбивают» покрытие на этих участках. Режим обработки: амплитуда колебаний (1,5...2,5) мм; частота колебаний (25...33) Гц; время обработки (90...120) мин. Образуется пленка высокого качества.

Вибрационное накатывание (раскатывание). На обрабатываемой поверхности шаром (при обработке металлов твердостью до HRC 40) или алмазом (при обработке закаленных твердых сплавов) выдавливается ка-

навка, все геометрические параметры которой (размер, форма, рисунок) являются функциями режима (рисунок 5). Рельеф может представлять собой канавки непересекающиеся, пересекающиеся неполностью, полностью пересекающиеся. Каждый тип рельефа имеет преимущества в той или иной области эксплуатационных условий.

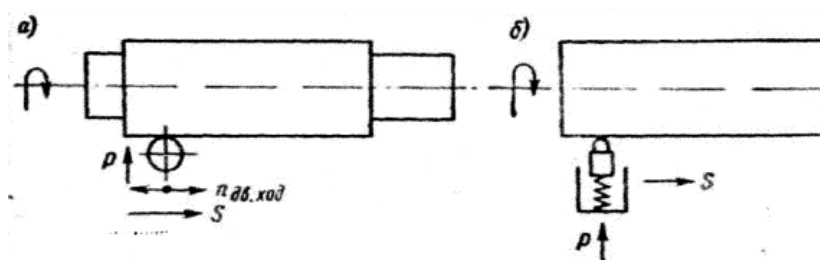


Рисунок 5 – Схемы виброобкатки (а) и алмазного выглаживания (б)

К общим достоинствам метода относятся:

- получение заданных характеристик микрорельефа (радиусов закругления вершин неровностей r и впадин неровностей r' , угла наклона β образующих выступов неровностей; площади $F_{оп}$ опорной поверхности) в широких пределах;
- высокая степень однородности размеров и формы образующихся поверхностей;
- образование микрорельефов с радиусами закругления выступов и впадин значительно большими, чем при точении и шлифовании (например, при круглом шлифовании неровности класса шероховатости 9 имеют $r = 30$ мкм, а при виброобработке соответственно $r = 12200$ мкм);
- возможность аналитического расчета опорной поверхности, маслоемкости, числа выступов и впадин на единицу площади и пр.

Оптимизация микрорельефа с одновременным упрочнением наплывов рельефа повышает износостойкость, сопротивление схватыванию и ползучести, увеличивает гидроплотность, сопротивление коррозии.

Алмазное выглаживание.

Метод заключается в пластическом деформировании и выглаживании поверхностных слоев детали инструментом, рабочей частью которого является кристалл естественного алмаза массой (0,4...0,8) карат, ограненный на сферу или цилиндр радиусом 1–3 мм, с шероховатостью классов 13, 14 ($Rz = 0,1...0,05$ мкм, рисунок 7.22-б).

Исходная шероховатость – не ниже 5–7-го классов. Усилия прижима инструмента к детали составляют (0,5...3,0) МПа. С увеличением подачи шероховатость возрастает. Например, для стали 12Х18Н10Т высота неровностей Rz с изменением подачи от 0,05 до 0,15 мм/об увеличивается от 0,2 до 0,8 мкм, поэтому рабочий диапазон подачи находится в пределах

(0,05...0,07) мм/об. С ростом усилия прижима от 1,0 до 3,0 МПа шероховатость снижается, а свыше 3,0 МПа повышается из-за перенаклепа.

Интенсивному наклепу подвергаются лишь самые верхние слои (10...20 мкм) поверхности. Микротвердость составляет (4000...4500) МПа, а остаточные напряжения сжатия достигают 2000 МПа. Наибольшее влияние на глубину распространения остаточных напряжений оказывают усилия прижима и радиус сферы наконечника.

Алмазное выглаживание после точения или шлифования повышает предел усталостной прочности на (25...60)%.

Ультразвуковое упрочнение (УЗУ) представляет собой обкатывание шаром с наложением высокочастотных колебаний в направлении действия нормальной силы. УЗУ производится на станках с использованием ультразвукового генератора. Деформирующий инструмент (шар) 1 свободно вращается в торцевом углублении индентора 2 (рисунок 6). Основные элементы установки трансформатор (концентратор) упругих колебаний 3 и преобразователь двигатель магнитострикционного типа 5. Постоянное статическое давление на обрабатываемую поверхность заготовки обеспечивается системой плоских пружин 4, жестко закрепленных на кронштейне, устанавливаемом непосредственно в резцедержатель станка.

Колебания инструмента во время обработки способствуют интенсификации процесса, в результате чего нормальная сила, действующая на деталь, примерно в 10 раз меньше чем при обычном обкатывании.

При УЗУ дополнительные параметры обработки – частота колебаний f и амплитуда A . Для обработки закаленных сталей рекомендуется нормальная (статическая) сила (100...300) Н, подача (0,04...0,08) мм/об, скорость вращения обрабатываемой детали (0,5...1,0) м/с, радиус сферы инструмента (4...6) мм. Указанные режимы обеспечивают увеличение твердости на (9...22)%, глубину наклепа (0,1...0,25) мм и остаточные сжимающие напряжения (300...600) МПа.

Ввиду того, что прикладываемые нормальные силы при УЗУ и выглаживании невелики, их рекомендуют при упрочнении маложестких деталей машин и режущего инструмента. Упрочнение зубьев круглых протяжек по задней поверхности повышает их стойкость в (1,8...2,5) раза, а стойкость отрезных резцов из быстрорежущих сталей возрастает в (1,4...1,8) раза.

Обработка механической щеткой обеспечивает формирование тонкого, но интенсивно упрочненного слоя с высокими остаточными сжимающими напряжениями. Упрочнение заготовок в форме тел вращения может производиться на токарном или шлифовальном станке.

Приспособление (рабочая головка с вращающейся щеткой), установленное вместо резцедержателя на суппорте токарного станка, имеет специальный привод, аналогичный приводу шлифовальной головки. Набор сменных шкивов обеспечивает различную частоту вращения щетки.

Для упрочнения применяют щетки с секционной набивкой ворса (секционные щетки). При вращении щетки проволока при входе в контакт ударяет своими концами по обрабатываемой поверхности заготовки, после чего происходит ее скольжение до выхода из контакта. Таким образом, упрочнение создается как ударным воздействием, так и скольжением проволоки. Применяя блок из нескольких щеток, можно одновременно обрабатывать разные поверхности. На рисунке 7 показано упрочнение двух роликовых и одной шариковой дорожки лапы бурового шарошечного долота блоком из трех щеток.

Рабочим элементом механических щеток служит гибкая стальная проволока диаметром (0,2...0,5) мм и длиной (50...100) мм. Диаметр щеточного круга (с ворсом) составляет (150...300) мм. Окружная скорость рекомендуется (20...40) м/с; натяг, создаваемый винтом поперечной подачи, (2...4) мм. При отсутствии продольной подачи время обработки (20...30) с. Для повышения интенсивности упрочнения в некоторых случаях применяют щетки с ударными элементами.

Упрочнение с помощью щеток целесообразно применять в качестве финишной операции для закаленных деталей ($HRC\ 58...62$). При их упрочнении увеличение твердости составляет (8...20)%, глубина наклепа (0,04...0,08) мм, остаточные сжимающие напряжения достигают (600...1100) МПа. Высота неровностей поверхности снижается в (1,5...3) раза.

Следует иметь в виду, что упрочнение с помощью щеток особенно эффективно для деталей малой жесткости, например, внутренних колец точных подшипников качения, когда применение обкатывания недопустимо из-за деформаций колец, понижающие точность. Показанное на рисунке 7 упрочнение с помощью блока щеток, дорожек качения лапы бурового долота из стали 14ХНЗМА со скоростью вращения щетки 30 м/с, натягом 3,0 мм в течение 25 с повышает износостойкость опоры более чем в два раза. Упрочнение внутренних колец шпиндельных подшипников из стали ШХ 15 со скоростью щетки 35 м/с, натягом 3,5 мм в течение 30 с в (1,6...2,0) раза увеличило работоспособность подшипников желобшлифовальных станков.

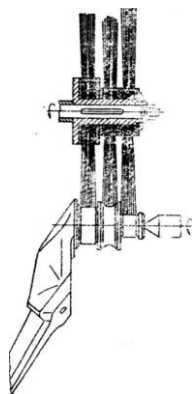


Рисунок 7 – Упрочнение дорожек качения лапы долота с помощью блока из трех щеток

Успешно применяют щетки для упрочнения сварных соединений из титановых сплавов. Сопротивление усталости после упрочнения с помощью щеток возрастает в (1,5...2,0) раза. Упрочнение сварных соединений происходит с подачей вращающейся щетки вдоль сварного шва. Для реализации такого метода необходимо иметь специальное устройство, обеспечивающее равномерную подачу. Особенно эффективны для упрочнения сварных соединений щетки с ударными элементами. В этом случае глубина упрочненного слоя достигает (0,2...0,3) мм.