

ЛЕКЦИЯ -11

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Влияние метода получения заготовок на свойства деталей

Способ, получения заготовки имеет непосредственное влияние на износостойкость, контактную усталость и прочность детали.

Технологический процесс получения деталей в виде сырья или заготовок, будь то металлургический или любой иной процесс, должен быть тщательно проработан с целью получения оптимальных параметров. Например, подогрев чугуна для получения отливок определенной структуры должен быть различным для малых и для крупных отливок. Получение прочно сцепляющегося с металлом покрытия из поликапролактама на стали 30 достигается фосфатированием стальной поверхности и нагревом детали до температуры (280...300) С ко времени напыления пластмассы частицами размером (140...260) мкм.

Для иллюстрации чувствительности свойств материала к технологическому процессу его получения приведем следующий пример. Цилинд- ровые втулки судового двигателя отливали в сухие земляные формы бур- том вниз, причем центральной литевой стержень облицовывали литыми чугунными холодильниками толщиной 30 мм. Отливку охлаждали в форме в течение 8 часов. На другом заводе втулки того же двигателя отливали в такие же формы, но буртом вверх, а центральной стержень выполнялся без холодильников. Отливка находилась в форме не более 4 ч. Ни на одной из 60 втулок в последующем не наблюдалось задиров, как это было на втулках, отлитых по первой технологии.

Структура пластмасс зависит от величины и содержания в них кристаллитов. Существенное влияние на структуру оказывают скорость процесса охлаждения расплавленной массы полиамида и вид термообработки. Чем больше в пластике кристаллической структуры, тем он более износостоек. Опыт показал, что шестерня из заготовки, отлитой в форму с температурой 20 С, имела уже через несколько тысяч оборотов значительный износ зубьев, а шестерня, при изготовлении которой литейная форма была нагрета до 60 С, проработала несколько миллионов оборотов без заметных следов износа. Замедленное охлаждение способствует увеличению содержания кристаллической составляющей.

Внутренние кольца подшипников можно изготовить из горячекатаной стали на горизонтально-ковочных машинах. Волокна в этом случае выходят под разными углами к дорожке качения, имея местами ориентацию, близкую к торцевой. Если заготовку выполнить из короткой трубы с выкаткой желоба в горячем состоянии, то волокна располагаются под не большим углом к

рабочей поверхности. Испытания подтвердили большую долговечность подшипников с внутренними кольцами, изготовленными последним способом.

Влияние качества обработанной поверхности на эксплуатационные свойства деталей

Влияние шероховатости поверхности

От шероховатости поверхности зависят основные эксплуатационные свойства деталей машин: износостойкость, сопротивление усталости, жесткость, контактная выносливость, коррозионная стойкость и др.

Трение и изнашивание в значительной степени связаны с высотой, формой неровностей поверхности и направлением рисок (штрихов) обработки [18, 19].

В начальный период работы трущихся поверхностей их контакт происходит по вершинам неровностей. В результате этого фактическая поверхность соприкосновения составляет лишь небольшой процент от расчетной, поэтому в местах фактического контакта по вершинам неровностей возникают большие давления, часто превышающие предел текучести и даже предел прочности трущихся металлов.

Под действием этих давлений при неподвижных поверхностях в точках контакта происходят упругое сжатие и пластическая деформация смятия неровностей, а при взаимном перемещении поверхностей – срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, приводящие к интенсивному начальному износу трущихся деталей и увеличению зазоров трущейся пары. Повышенному начальному износу в некоторых случаях способствуют возникновение в точках контакта высоких мгновенных температур и срыв окисной пленки, покрывающей металлы, что сопровождается молекулярным сцеплением трущихся металлов и образованием узлов схватывания.

При работе деталей в легких и средних условиях высота неровностей в период начального износа трущихся поверхностей уменьшается на (65...75)%, что приводит к увеличению фактической поверхности их контакта, а следовательно, к снижению фактического давления.

Во время начального износа, протекающего в период приработки, происходит изменение размеров и формы неровностей, а также направления обработочных рисок. При этом высота неровностей уменьшается или увеличивается до некоторого оптимального значения, которое различно для разных условий трения. Если оптимальную для данных условий трения высоту неровностей удастся создать в процессе механической обработки, то в процессе износа она не изменяется, а время приработки и износ оказываются наименьшими.

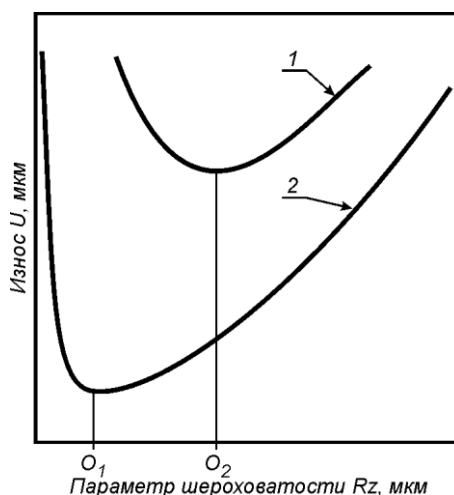


Рисунок 1 – Зависимость износа от высоты неровностей поверхности (П.Е. Дьяченко)

Графики износа (рисунок 1) показывают, что при оптимальной высоте неровностей (точки O_1 и O_2) начальный износ металла является наименьшим. В более тяжелых условиях работы кривая 2 износа смещается вправо и вверх, а точки оптимальной шероховатости – вправо в сторону увеличения высоты неровностей.

Увеличение высоты неровностей по сравнению с оптимальным значением повышает износ за счет возрастания механического зацепления, скалывания и среза неровностей поверхности. Уменьшение высоты неровностей против оптимального значения приводит к резкому возрастанию износа в связи с возникновением молекулярного сцепления и заедания плотно соприкасающихся поверхностей повышенной гладкости, этому способствуют выдавливание смазки и плохая смачиваемость смазкой зеркально-чистых поверхностей.

Задачей конструктора, проектирующего новые машины, является назначение шероховатости трущихся поверхностей, соответствующей ее оптимальному значению, при котором износ и коэффициент трения при данных условиях изнашивания являются наименьшими.

Однако на изнашивание влияет не только высота микронеровностей, но и их форма. В ряде случаев поверхности с одинаковой высотой, но различной формой неровностей будут различно изнашиваться из-за большой разницы в относительной опорной длине профиля. Так, поверхность *a* (рисунок 2) будет изнашиваться интенсивнее поверхности *б*.

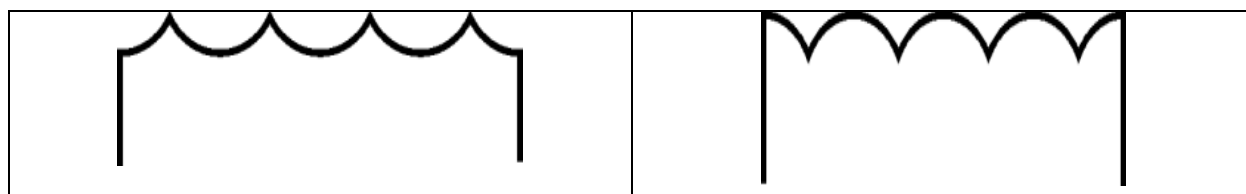


Рисунок 2-Различная форма шероховатости при равных высоте и шаге

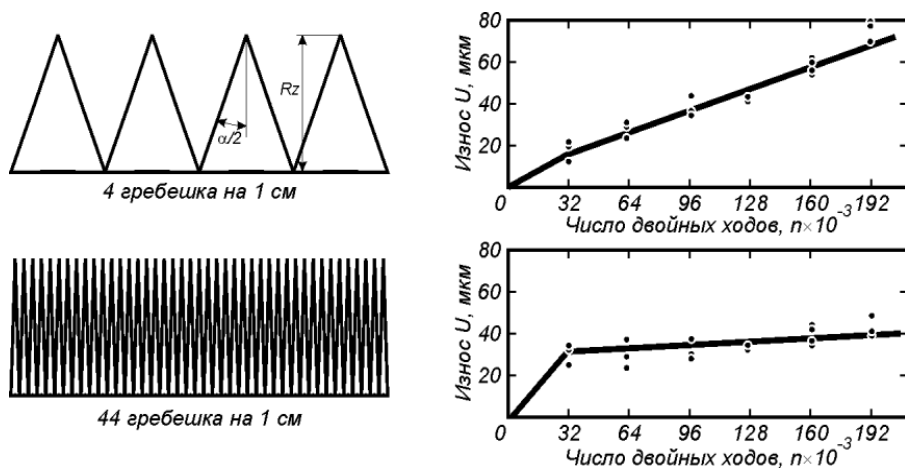


Рисунок 3 – Форма неровностей (а) и кривые износа (б) стальных образцов

На рисунке 3-а представлены формы неровностей двух образцов, имеющих одинаковые размеры опорной длины профиля ηp , а на рисунке 3-б – кривые износа этих образцов. Тонкие и многочисленные неровности обеспечивают большую износостойкость, чем крупные неровности большого шага.

Через 160 000 двойных ходов износ поверхности с неровностями большого шага достиг 60 мкм, в то время как износ поверхности с тонкими неровностями малого шага был меньше 40 мкм.

Влияние направления неровностей на износостойкость также различно в разных условиях трения и при разных размерах неровностей. Эксперименты показывают, что при жидкостном трении и малой высоте неровностей направление риска значения не имеет, однако при увеличении шероховатости более выгодным оказывается параллельное направление риска и скорости движения.

При граничном трении поверхностей с малыми неровностями и параллельным направлением неровностей и скорости движения возникающие схватывание и износ оказываются больше, чем при перпендикулярном направлении. Для поверхностей с большей шероховатостью, когда схватывания не происходит, параллельное направление риска дает наименьший износ.

Коэффициент трения тоже связан с направлением неровностей и их высотой. При сочетании поверхностей, имеющих одинаковое направление неровностей, и при их перпендикулярном направлении к движению коэффициент трения достигает наибольшего значения. При перпендикулярном направлении неровностей трущихся поверхностей или при их беспорядочном расположении, что наблюдается при суперфинишировании, коэффициент трения минимален.

Контактная выносливость. Снижение высоты неровностей повышает контактную выносливость, то есть работоспособность деталей в условиях трения качения. Чем меньше высота неровностей на рабочих поверхностях контактируемых деталей (например, поверхности шаров и желобов колец шариковых подшипников), тем меньшая вероятность появления усталостных трещин в концентраторах (впадинах микронеровностей) при контактных циклических нагрузках и тем позднее наступит усталостное выкрашивание.

Усталостная прочность деталей сильно зависит от шероховатости их поверхностей. Наличие на поверхности детали, работающей в условиях циклической и знакопеременной нагрузок, отдельных дефектов и неровностей способствует концентрации напряжений, которые могут превысить предел прочности металла. В этом случае поверхностные дефекты и обработочные риски играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений сплошности металла поверхностного слоя и его разрыхления, являющихся первопричиной образования усталостных трещин.

Качество поверхностного слоя существенно влияет на **коррозионную стойкость**. Продукты коррозии накапливаются во впадинах микронеровностей и оказывают свое разрушительное действие, проникая вглубь металла и приводя к отделению микрочастиц и образованию новой поверхности. Исследованиями установлено, что с увеличением высоты неровностей коррозионная стойкость снижается, а с ее уменьшением и увеличением опорной длины профиля и среднего шага неровностей, наоборот, повышается.

Точность сопряжения, установленная чертежом и определяемая зазором в соединении, в значительной степени зависит от шероховатости соприкасающихся поверхностей.

Ранее указывалось, что в период начального износа высота неровностей может уменьшиться на (65...75)%. При малых размерах деталей и шероховатости поверхностей с $R_z = (3...10)$ мкм двойная высота неровностей $2R_z$ соизмерима с полем допуска T на изготовление детали. Это означает, что в период начального износа поверхностей дополнительный зазор в соединении может достигнуть значения допуска на изготовление детали и точность соединения будет полностью нарушена. Вместо требуемого чертежом соединения седьмого качества точности фактически возникает соединение восьмого или девятого, нарушается характер посадок и т. п.

Для предотвращения этого необходимо во всех случаях ответственных сопряжений, от которых требуется длительное сохранение установленной конструктором точности, вести обработку деталей при достижении минимальной шероховатости трущихся поверхностей.

При этом рекомендуется устанавливать необходимую высоту шероховатости в зависимости от требуемой точности проектируемого сопряжения посредством расчета по формулам [19]:

при диаметре сопряжения свыше 50 мм: $R_z = (0,10...0,15) T$;

при диаметре сопряжения от 18 до 50 мм: $R_z = (0,15...0,20) T$;

при диаметре сопряжения менее 18 мм: $R_z = (0,20 \dots 0,25) T$.

Прочность прессовых соединений непосредственно связана с шероховатостью сопряженных поверхностей. С увеличением высоты неровностей сопряжений поверхностей прочность прессовых соединений снижается. Например, прочность прессового соединения ступицы вагонного колеса с осью при высоте неровностей 36,5 мкм оказалась на 40% ниже прочности такого же соединения с высотой неровностей 18 мкм (несмотря на то, что натяг во втором соединении был на 15% меньше).

Таким образом, высота шероховатости, направление штрихов обработки, форма и шаг неровностей, размеры опорной поверхности и другие геометрические характеристики микрорельефа поверхности оказывают влияние на все важные эксплуатационные показатели деталей машин, приборов и оборудования.

Влияние упрочнения поверхностного слоя

Упрочнение (наклеп) поверхностного слоя, характеризуемое возрастанием твердости, затрудняет образование и развитие усталостных трещин, что повышает **предел выносливости деталей машин**. Эффективность наклепа в этом случае зависит от условий работы детали, ее конструктивных особенностей (наличие концентраторов в виде канавок, галтелей и др.) и свойств материала. В деталях из менее пластичных сталей эффективность наклепа уменьшается [15, 19].

Повышение твердости поверхностного слоя повышает **сопротивляемость изнашиванию**, так как снижается способность к истиранию трущихся поверхностей. Упрочнение повышает износостойкость в тех случаях, когда отсутствует явление перенаклепа. В случае перенаклепа, когда уже начались необратимые процессы микроскопических нарушений сплошности металла и разрывов межатомных связей по плоскостям скольжения, даже при еще продолжающемся упрочнении и повышении твердости, износостойкость начинает снижаться.

Вследствие наклепа затруднено образование и развитие усталостных трещин. Сказанное полностью относится и к деталям, работающим в условиях **трения качения**, то есть испытывающим циклические контактные нагрузки. С повышением степени упрочнения образование зон поверхностного выкрашивания замедляется, то есть контактная усталость возрастает. Однако в случае перенаклепа **контактная усталость** не только возрастает, но может существенно понизиться.

Коррозионная стойкость после упрочнения пластическим деформированием, как правило, понижается. После холодного пластического деформирования сталь может поглощать количество водорода в 100 раз больше по сравнению с неупрочненной сталью.

Влияние остаточных напряжений

Установлено, что остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое повышают предел выносливости, а растягивающие напряжения, наоборот, понижают его [15, 19].

Особенно значительно влияние остаточных напряжений при наличии в деталях разного рода концентраторов. При наведении остаточных сжимающих напряжений путем нагрева до 600 С с последующим быстрым охлаждением, то есть без наклепа, у образцов из стали 45 с охватывающими втулками, служащими концентраторами напряжений, предел выносливости повысился со 115 до 215 МПа, т.е. на 87%.

Эффективность действия остаточных напряжений и других характеристик поверхностного слоя на изнашивание определяется значением удельного давления, скорости скольжения, наличием смазки. Например, при трении без смазочного материала о чугунный вкладыш с удельным давлением 135 МПа образцы из стали 45 с наведенными обкатыванием остаточными сжимающими напряжениями и наклепом оказались менее износостойкими по сравнению с необкатанными. Однако при том же давлении, но с применением смазочного материала, у обкатанных образцов, наоборот, износостойкость повысилась.

При больших давлениях и скоростях трения без смазочного материала или при ограниченной смазке может происходить высокий локальный нагрев, приводящий к разупрочнению отдельных микрообъемов и к схватыванию, т.е. возникновению металлических связей. Наличие молекулярного взаимодействия трущихся поверхностей и диффузия атомов ускоряет отрыв отдельных частиц металла. Поскольку при разупрочнении происходит релаксация остаточных напряжений и наклепа, то они, естественно, не оказывают влияния на изнашивание. При неполной релаксации напряжений и наклепа эффективность их влияния снижается.

Установлено, что остаточные сжимающие напряжения в сочетании с наклепом, созданным ППД, повышают износостойкость при трении качения. В зависимости от значений напряжений сжатия и наклепа износостойкость возрастает на (50...150)%. Более чем в два раза повышается долговечность, например шариковых подшипников и опор качения буровых долот, у которых остаточные напряжения в поверхностном слое желобов внутренних колец создавались обкатыванием и упрочнением механическими щетками. Бандажи и ролики шаровых мельниц, в которых остаточные сжимающие напряжения и наклеп также создавались обкатыванием, в условиях эксплуатации показали увеличение долговечности в (2,4...8,5) раз.

Положительное влияние остаточных сжимающих напряжений объясняется тем, что они увеличивают сопротивление пластической деформации при трении качения. Это затрудняет образование и развитие усталостных трещин и задерживает начало поверхностного выкрашивания. Наклеп поверхностного слоя, создаваемый при упрочнении, усиливает положительную роль остаточных напряжений сжатия. Остаточные растягивающие напряжения, наоборот, способствуют пластической

деформации в процессе трения и, естественно, они будут ускорять начало выкрашивания.

Остаточные напряжения оказывают определенное влияние на коррозионную стойкость. Так, остаточные растягивающие напряжения способствуют коррозионному растрескиванию (коррозионной статической усталости), наблюдаемому во многих коррозионно-агрессивных средах. Сжимающие напряжения препятствуют коррозионному растрескиванию.