

Глава 3

Методы управления свойствами обработанных поверхностей деталей машин

3.1. Оценка свойств обработанных поверхностей деталей машин

Необходимые для качественной эксплуатации детали в сборочной единице свойства ее поверхностных слоев задаются на чертеже детали. Обычно регламентируются показатели шероховатости и твердости поверхностей детали.

Для выпускников СПбГЭУ по управлению качеством вопросы нормирования шероховатости обработанных поверхностей рассматриваются в дисциплине «Нормирование точности геометрических параметров изделий», а для экономистов-менеджеров и бакалавров производственного менеджмента — в дисциплине «Основы проектирования и конструирования». Вопросы нормирования твердости обработанных поверхностей для обеих специальностей изучаются в дисциплине «Материаловедение».

При использовании дифференциального метода квалиметрии уровень группы показателей ТП по свойствам обработанных поверхностей слоев детали можно рассчитать по формуле (1.53):

$$Y_{nc} = \frac{Y_{ш} + Y_{тв}}{2}, \quad (1.53)$$

где $Y_{ш}$, $Y_{тв}$ — уровни показателей ТП по шероховатости и твердости обработанных поверхностей деталей соответственно.

В свою очередь, уровень показателей ТП по шероховатости обработанных поверхностей детали рассчитывается по формуле (1.54):

$$Y_{ш} = \frac{1}{d \times m_{ш} \times n_{ш}} \times \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^{m_{ш}} \sum_{i=1}^{n_{ш}} k_{y_{шj/i}}, \quad (1.54)$$

где $j = 1 - m_{ш}$ — количество технологических операций, после которых контролируется шероховатость обработанных поверхностей детали;

$i = 1 - n_{\text{ш}}$ — количество технологических переходов на j -й технологической операции, на которых контролируется шероховатость поверхности, равное числу этих поверхностей; $k_{\text{вш}j}$ (1.55) — коэффициент уровня шероховатости i -й обработанной поверхности на i -м технологическом переходе j -й технологической операции f -й обработанной партии деталей:

$$k_{\text{вш}j} = \frac{k_{\text{ш}}^{\text{б}}}{k_{\text{ш}}^{\text{с}}}, \quad (1.55)$$

где $k_{\text{ш}}^{\text{б}}$ и $k_{\text{ш}}^{\text{с}}$ — коэффициенты шероховатости контролируемой поверхности детали после обработки на технологическом переходе, выполненном по базовому и сравниваемому вариантам, определяемые по общей формуле (1.56).

Для сравнения выбран высотный параметр шероховатости — среднее арифметическое отклонение профиля R_a , который является основным при нормировании шероховатости поверхности:

$$k_{\text{ш}} = \frac{R_a}{R_a^{\text{л}}}, \quad (1.56)$$

где R_a и $R_a^{\text{л}}$ — значения шероховатости поверхности по показателю R_a , заданные на операционном эскизе или чертеже детали; $R_a^{\text{л}}$ — достигнутое значение параметра R_a после выполнения рассматриваемого технологического перехода. Формула (1.56) выбрана потому, что $R_a^{\text{л}} < R_a$, т. е. чем меньше достигнута шероховатость заданной или базовой, тем лучше. В противном случае будет допущен брак.

Твердость обработанных поверхностей большинства распространенных машиностроительных деталей задается на чертежах по Бригеллю HB или Роквеллу HRC . Значение твердости контролируется либо на заготовке при входном контроле перед первой операцией механической обработки, либо после операций термообработки, либо в отсутствие операции термообработки после операций, выполняемых методами холодного поверхностного пластического деформирования (ХППД) (накатывания роликами, дорнования и т. п.).

Уровень показателей ТП по твердости обработанных поверхностей детали рассчитывается по формуле (1.57):

$$Y_{\text{ТВ}} = \frac{1}{d \times m_{\text{т}} \times n_{\text{т}}} \times \sum_{f=1}^d \sum_{j=1}^{m_{\text{т}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{т}}} k_{\text{штв}j}, \quad (1.57)$$

где $j = 1 - m_{\text{т}}$ — количество технологических операций механической и термической обработки, после которых необходимо контролировать твердость обработанных поверхностей; $i = 1 - n_{\text{т}}$ — количество тех-

нологических переходов операций механической обработки или количество поверхностей деталей с контролируемой твердостью после операций механической и термической обработки; $k_{\text{утв}/f_i}$ (1.58) — коэффициент уровня показателя по твердости i -й обработанной поверхности на j -й технологической операции детали, входящей в f -ю партию:

$$k_{\text{утв}/f_i} = \frac{k_{\text{тв}}^c}{k_{\text{тв}}^6}, \quad (1.58)$$

где $k_{\text{тв}}^c$ и $k_{\text{тв}}^6$ — коэффициенты уровня качества по твердости контролируемой поверхности детали после обработки поверхности детали по базовому и сравниваемому вариантам технологической операции, рассчитываемые по общей формуле (1.59):

$$k_{\text{тв}} = \frac{H^{\Delta}}{H^6}, \quad (1.59)$$

где H^6 , H^{Δ} — заданное и достигнутое значения твердости контролируемой поверхности детали после технологического перехода мехобработки или технологической операции термообработки по Бринеллю (HB) или Роквеллу (HRC). Формула (1.59) выбрана потому, что $H^{\Delta} > H^6$, т. е. чем тверже обрабатываемая поверхность, тем лучше. В противном случае будет допущен брак.

3.2. Влияние свойств поверхностных слоев на эксплуатационные свойства деталей машин

Свойства поверхностных слоев деталей машин оказывают влияние на следующие эксплуатационные свойства деталей: износостойкость сопрягаемых поверхностей, усталостную прочность, стабильность посадок и коррозионную стойкость.

1. **На износостойкость сопрягаемых поверхностей машины** влияют следующие их свойства:

- макронеровность (погрешность формы);
- волнистость;
- микронеровность (шероховатость);
- микротвердость;
- остаточные напряжения.

Первоначально рассмотрим влияние шероховатости трущихся поверхностей на их износ (рис. 1.17).

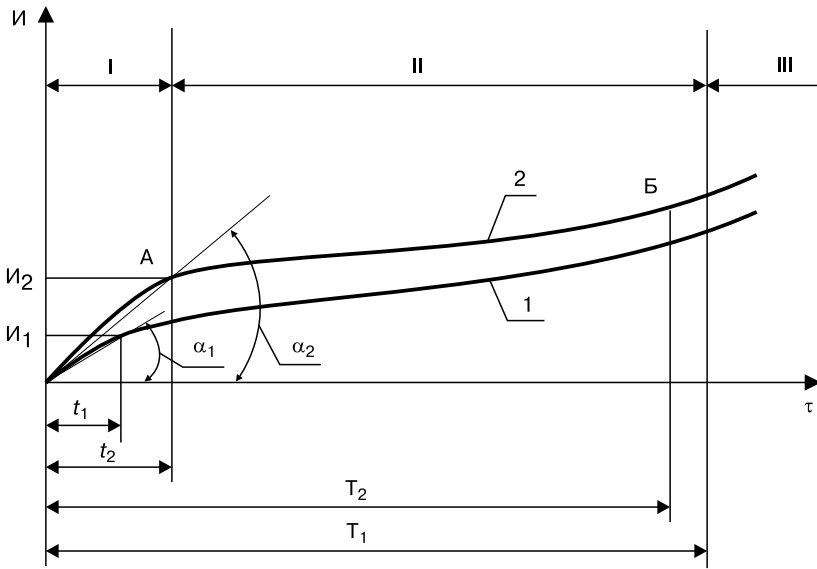


Рис. 1.17. Зависимости износа трущихся поверхностей деталей с меньшей (1) и большей (2) шероховатостями от времени

В начальный период износа I изнашиваются выступающие части поверхности — гребешки микронеровностей, слой смазки удерживается на поверхности до тех пор, пока удельное давление не превысит определенного значения, при котором смазка в выступающих точках выдавливается и возникают сухое трение, упругое и пластическое деформирование на этих участках, что приводит к интенсивному изнашиванию контактирующих поверхностей. Таким образом, после приработки параметр шероховатости поверхности R_z отличается от полученного после механической обработки.

На участке II нормального износа А–Б его интенсивность значительно меньше и постоянна, и этот участок определяет срок службы детали. За точкой Б начинается период III интенсивного катастрофического износа, поэтому в этой точке необходимо остановить машину и направить ее в ремонт. Значение начального износа I_1 превышает износ за весь дальнейший срок службы. Если рабочие поверхности трущейся пары (кривая 1) имеют меньшую шероховатость, чем пары 2 (кривая 2), то значение начального износа $I_1 < I_2$, его интенсивность $\text{tg}\alpha_1 < \text{tg}\alpha_2$ и продолжительность $t_1 < t_2$. Интенсивность и длительность нормального износа будут зависеть от свойств трущихся материалов

и условий работы, а длительность работы трущейся пары с меньшей шероховатостью будет больше $T_1 > T_2$.

Во втором случае значение запаса на износ, оставшееся от общего допустимого износа, останется малым, что приведет к сокращению срока службы машины.

На начальный износ сопряженных деталей влияют также форма и направление неровности относительно направления скольжения поверхностей. Наименьший износ трущейся пары достигается при совпадении направления неровности на обеих деталях с направлением скольжения. Наклеп (поверхностное упрочнение) уменьшает износ поверхности в 1,5–2 раза. Волнистость и погрешности формы трущихся поверхностей уменьшают поверхность контакта и увеличивают удельные нагрузки по сравнению с расчетными, что приводит к повышению износа поверхностей.

2. Усталостная прочность при уменьшении высоты микронеровности возрастает, причем тем больше, чем больше чувствительность материала детали к концентрации напряжений, так как чем острее впадины микронеровностей, тем больше возможности появления трещин от усталости металла.

Наклеп и остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое повышают усталостную прочность, а остаточные напряжения растяжения снижают ее.

3. Стабильность посадок деталей в значительной степени зависит от шероховатости поверхности.

Характер подвижной посадки изменяется в связи с изнашиванием сопрягаемых поверхностей. Для получения прочного неподвижного соединения микронеровности должны быть возможно ниже, при запрессовке гребешки сминаются и диаметр вала становится меньше предварительно измеренного, а отверстия — больше предварительно измеренного, сила же запрессовки и натяг — меньше, чем рассчитывалось.

Если же соединение осуществится благодаря тепловому воздействию (охлаждение вала или нагрев втулки), то микронеровности способствуют повышению прочности соединения.

4. Коррозионная стойкость поверхностей металлических деталей под действием газов, жидкостей и атмосферного влияния при снижении шероховатости повышается. Коррозирующие вещества собираются на дне впадин неровностей поверхности, распространяясь в глубь металла, они разрушают гребешки шероховатости, образуя новые и т. д., поэтому в некоторых ответственных машинах, работающих в неблагоприятных атмосферных условиях, полируют даже те по-

верхности деталей, которые в обычных условиях могли бы не обрабатываться. Наклеп ускоряет коррозию в 1,5–2 раза, это объясняется тем, что при пластической деформации поликристаллического материала в нем создаются микронеровности, способствующие возникновению большего числа очагов коррозии.

3.3. Методы технологического обеспечения заданных свойств поверхностных слоев детали

Заданные свойства поверхностных слоев детали обеспечиваются технологически в три этапа.

1. Выбор маршрута обработки поверхности.

Маршрут включает:

1. Черновые методы обработки, при которых снимается бóльшая часть припусков, примерно $2/3$, например черновым точением с большой подачей, что повышает производительность. При этом шероховатость поверхности и глубина дефектного слоя высоки.

2. Чистовые методы, при которых снижается примерно $1/4$ припуска и достигается заданная точность с меньшей подачей и большей скоростью.

3. Отделочные методы, при которых снимается оставшаяся часть припуска и обеспечиваются заданные свойства поверхности.

После черновых и чистовых методов могут применяться разные методы термической обработки, подробно изучаемые в дисциплинах: «Материаловедение» и «Экспертиза и управление качеством промышленных материалов».

При назначении припусков на черновую и чистовую обработку стараются сохранить положительные качества, полученные от предшествующей обработки в силу технологической наследственности (наклеп поверхностного слоя, остаточные напряжения сжатия и т. д.).

В основном качество поверхности зависит от отделочного метода обработки.

2. Выбор отделочного метода обработки. Выбирают метод обработки резанием или холодным поверхностным пластическим деформированием (ХППД).

Каждому методу обработки резанием и ХППД свойственны определенный диапазон высоты неровностей (указываемый в технологических справочниках) и схема расположения штрихов от инструмента, влияющих на износостойкость поверхности детали.

Например, при строгании штрихи параллельны (рис. 1.18).

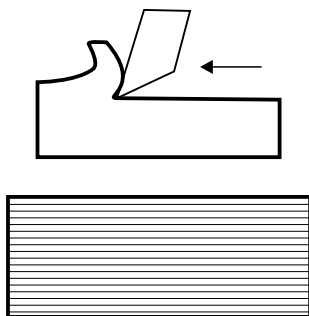


Рис. 1.18. Схемы расположения штрихов от инструмента на поверхности детали при строгании

При *обработке лезвийным инструментом* превалируют силовые факторы процесса резания, результат силового воздействия при пластической деформации — разрушение структуры, поворот и смещение кристаллов и наклеп поверхностного слоя, характеризуемый повышением микротвердости и снижением вязкости. В поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия или растяжения в зависимости от режима обработки.

При *обработке абразивным инструментом*, например шлифованием, превалируют тепловые явления. В поверхностном слое происходят структурные преобразования, и на границах зерен образуются зоны закалики и отпуска, возникают остаточные напряжения.

При *применении методов ХППД* повышается твердость поверхностного слоя, в нем возникают остаточные напряжения сжатия, снижается шероховатость, повышается предел выносливости детали. Например, при обкатывании роликами обточенных деталей из стали 45 предел выносливости может быть повышен в 3 раза.

Выбранный метод отделочной обработки обеспечивает различные значения параметров качества поверхности в зависимости от режимов обработки.

3. Выбор режимов обработки. Режимы обработки по-разному влияют на качество поверхностного слоя деталей.

Например, при точении глубина резания не влияет на шероховатость поверхности, при увеличении подачи шероховатость поверхности растет (рис. 1.19. кривая 1), а при увеличении скорости резания (рис. 1.19, кривая 2) шероховатость поверхности сначала растет, достигает максимума при скорости 20–30 м/мин и затем снижается. Такая зависимость шероховатости от скорости связана с образованием