

2 Поверхностный слой и его влияние на эксплуатационные свойства деталей

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Влияние технологии изготовления деталей на их ресурсные характеристики в основном проявляется в поверхностном слое. В этом разделе курса мы рассмотрим основные аспекты данного влияния.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Процесс накопления деформации и разрушение, как при статическом, так и при циклическом деформировании начинается с поверхности детали.

Причины:

- различные воздействия в процессе эксплуатации
- разница в состоянии энергетических связей частиц материала на поверхности и под ней
- пониженная несущая способность поверхностного слоя
- технологическая наследственность детали

Поверхностный слой – наружный слой детали, граничащий с окружающей средой или с сопряженной деталью и имеющий механические свойства, структуру, фазовый и химический состав изменённые по сравнению с основным металлом, из которого изготовлена деталь

Как было отмечено ранее, процесс накопления деформации и разрушение, как при статическом, так и при циклическом деформировании, в основном, начинается с поверхности детали.

Это объясняется рядом причин.

Во-первых, механическими, тепловыми, коррозионными и другим воздействиями на поверхностный слой в процессе эксплуатации изделий.

Во-вторых, разницей в состоянии энергетических связей частиц материала на поверхности и под ней. Об этом мы поговорим позднее.

В-третьих, пониженной несущей способностью поверхностного слоя. Зёрна этого слоя в среднем половиной своего объема находятся в материале, а наполовину как бы срезаны поверхностью. Поэтому сопротивление деформации поверхностного слоя ниже сопротивления нижележащих слоев.

В-третьих, в процессе изготовления детали на её поверхности возникают неровности и повреждения,

а в прилегающем слое металла, изменяются структура, фазовый и химический состав. В детали возникают остаточные напряжения.

Совокупность этих факторов определяет технологическую наследственность детали, под которой понимают явление частичного сохранения в обработанной детали погрешностей исходной заготовки, её механических и физико-химических свойств, а также свойств и погрешностей, формируемых предшествующими технологическими операциями.

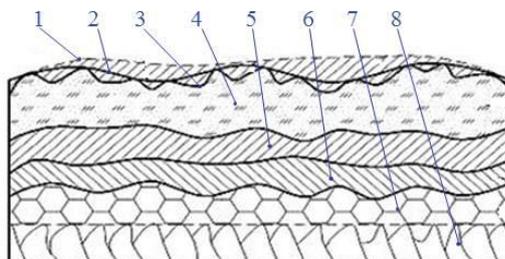
Перенос свойств объекта от предшествующих операций к последующим называют технологическим наследованием.

Таким образом, поверхностным слоем называется наружный слой детали, граничащий с окружающей средой или с сопряженными деталями и имеющий механические свойства, структуру, фазовый и химический состав изменённые по сравнению с основным металлом, из которого изготовлена деталь.

Глубина поверхностного слоя зависит от способа получения детали и определяется дислокационной структурой, возникшей вследствие пластической деформации при обработке. Она может колебаться от нескольких микрометров до нескольких миллиметров.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Схема строения поверхностного слоя



Неровности поверхности: 1 — отклонения формы;
2 — волнистость; 3 — шероховатость;

Параметры физико-химического состояния:

4 — адсорбированная зона; 5 — зона химического взаимодействия; 6 — граничная зона металла; 7 — зона металла с измененной структурой, фазовым и химическим составом;
8 — основной металл

Состояние поверхностного слоя характеризуют рядом параметров, которые могут быть выделены в две основные группы:

- это геометрические параметры или неровности поверхности, к которым относятся отклонения формы, волнистость и шероховатость

- и параметры физико-химического состояния, при рассмотрении которых выделяют адсорбированную зону, зону химического взаимодействия, граничную зону и зону металла с измененной структурой, фазовым и химическим составом.

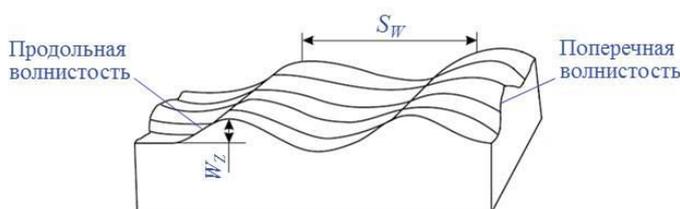
На поверхностях деталей также могут присутствовать искусственно созданные слои и покрытия, обеспечивающие специальные свойства, такие как сопротивление коррозии, износостойкость и т.д.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Неровности поверхности можно разграничить по значению отношения их шага S к высоте H

- отклонения формы $S/H > 1000$,
- волнистость $40 < S/H < 1000$
- шероховатость $S/H < 40$

Волнистость поверхности – совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину (шаг 1...10 мм). Высота неровностей волнистости и высота шероховатости практически одинаковы.



Причины возникновения волнистости – погрешности процесса обработки: изменения сил и температуры, приводящие к неоднородности физико-химических свойств поверхностного слоя.

Неровности поверхности условно можно разграничить по значению отношения их шага к высоте. Для отклонений формы это отношение больше 1000, для шероховатости – меньше сорока. В промежуточном интервале находится волнистость поверхности – совокупность неровностей с шагом 1...10 мм. При этом высота неровностей волнистости и шероховатости практически одинаковы.

Волнистостью поверхности называется совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину. Волнистость, образующаяся при изготовлении детали, называется технологической, а в процессе эксплуатации машины – эксплуатационной. По расположению волн относительно движения режущего инструмента волнистость подразделяется на продольную и поперечную.

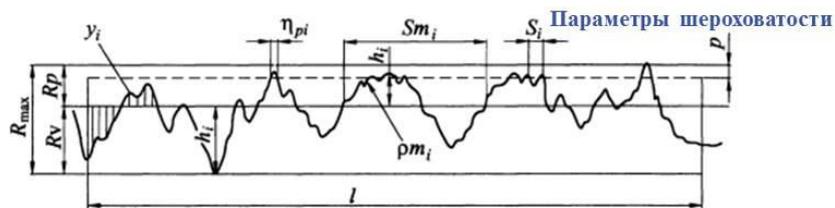
Технологическая волнистость возникает вследствие различных погрешностей процесса обработки. Процесс волнообразования, в основном, характеризуется периодическим изменением силы и температуры в зоне резания. Это происходит из-за биения круга при шлифовании или заготовки при точении, вследствие неравномерности подачи и т.д. Такие изменения приводят к неоднородности физико-химических свойств поверхностного слоя.

Так, шероховатость и микротвердость волнистой поверхности во впадинах больше, чем на вершинах.

В большинстве случаев это ухудшает эксплуатационные свойства детали: снижается точность посадок, герметичность сопряжений и т.д.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины



Шероховатость поверхности после обработки резанием – это геометрический след инструмента, искаженный в результате влияния таких факторов, как

- пластическое и упругое деформирование материала заготовки после хода инструмента;
- вибрации технологической системы;
- копирование микронеровностей режущих кромок инструмента или абразивных зерен;
- образование нароста на передней поверхности инструмента и наливов на обработанной поверхности заготовки.

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины. Мы будем рассматривать этот комплексный показатель с точки зрения его влияния на свойства поверхностного слоя и ресурсные характеристики деталей.

Шероховатость поверхности после обработки резанием – это геометрический след инструмента, искаженный в результате влияния следующих факторов

- пластического и упругого деформирования материала после хода инструмента;
- вибраций технологической системы;
- копирования микронеровностей режущих кромок инструмента или абразивных зерен;
- образования нароста на передней поверхности инструмента и наливов на обработанной поверхности.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Рекомендуемые параметры шероховатости рабочих поверхностей деталей машин

Эксплуатационные свойства	Параметры шероховатости рабочих поверхностей	Направление неровностей
Контактная жесткость	$Ra, Sm, tp, (Rp)$	или \perp
Износостойкость		
Прочность	R_{max}, Sm	
Усталостная прочность		
Контактная прочность	$Ra, Sm, tp, (Rp)$	
Фреттингостойкость		
Виброустойчивость		
Коррозионная стойкость	Ra, Sm, S	–
Прочность сцепления покрытий	Ra, Sm	или \perp
Герметичность соединений	$Ra, Sm, tp, (Rp)$	
Прочность посадок	$Ra, tp, (Rp)$	
Теплопроводность	$Ra, Sm, tp, (Rp)$	

Примечания. 1. (Rp) – нестандартизованный параметр шероховатости, оказывающий основное влияние на эксплуатационные свойства.

2. || или \perp – параллельное или перпендикулярное расположение следов обработки относительно изображенной на чертеже проекции.

На сегодняшний день известны порядка 30 параметров шероховатости, которые соотносятся с эксплуатационными свойствами деталей, некоторые из них приведены в таблице.

Влияние шероховатости поверхности на сопротивление усталости и коррозии, а также на качество защитных покрытий близко по характеру.

2.1 Структура и геометрические параметры поверхностного слоя

Влияние шероховатости поверхности на свойства деталей

Коррозионная стойкость и усталостная прочность повышаются с уменьшением R_a , R_z и R_{max} и увеличением шага неровностей S_m .

Глубокие впадины с малыми радиусами закругления дна, увеличивают неоднородность поверхности, концентрацию напряжений и вероятность образования очагов коррозии.

Факторы, влияющие на сопротивление усталости

- **Направление неровностей.** Оно должно совпадать с линией действия нагрузки. При перпендикулярном направлении рисок, долговечность снижается в несколько раз.
- **Развитость поверхности** (развертка неровностей в одну линию). Увеличение развитости приводит к снижению выносливости, т.к. часть металла в выступах находится вне связи с глубинными зернами, что облегчает пластическое течение поверхностного слоя
- **Характер неровностей** (нерегулярный более благоприятен, чем однонаправленный)
- **Другие характеристики поверхностного слоя**, например, растягивающие остаточные напряжения и прижоги при шлифовании

Износостойкость и контактная жесткость возрастают с увеличением относительной опорной длины профиля t_p , т.к. увеличивается площадь контакта, уменьшается удельная нагрузка, снижается коэффициент трения. Высотные параметры в основном оказывают негативное влияние.

Усталостная прочность и коррозионная стойкость повышаются с уменьшением высотных параметров и с увеличением шага неровностей профиля, так как в этом случае увеличиваются радиусы закругления впадин между неровностями.

Так, специалистами ОКБ Туполева, было установлено, что с увеличением высоты неровностей с 2 до 20 мкм сопротивление усталости снижается в 3-4 раза. Это объясняется тем, что микронеровности, в частности глубокие впадины с малыми радиусами закругления дна, увеличивают неоднородность поверхности, концентрацию напряжений и вероятность образования очагов коррозии.

Кроме высоты неровностей на долговечность влияет их направление относительно действия нагрузки. Так, например, в нормативную документацию по изготовлению ответственных деталей самолетов введено требование, что направление рисок после абразивной обработки должно совпадать с линией действия нагрузки. В противном случае, при перпендикулярном направлении рисок, долговечность будет снижена в несколько раз.

Большое влияние на сопротивление усталости имеет развитость поверхности, представляющая развертку неровностей в одну линию, которая в зависимости от вида обработки может увеличиваться от 10 до 200 раз по сравнению с номинальной длиной поверхности.

Увеличение развитости поверхности приводит к снижению выносливости, т.к. значительная часть металла в выступах находится вне связи с глубинными зернами, что облегчает пластическое течение поверхностного слоя.

Также установлено, что с точки зрения влияние на выносливость нерегулярный характер неровностей более благоприятен, чем однонаправленный.

Таким образом, на финишных операциях рекомендуется назначать процессы, создающие наименьшую развитость поверхности и нерегулярный микрорельеф, например, виброшлифование вместо лезвийной обработки.

Для обеспечения ресурса деталей недостаточно нормировать только параметры шероховатости, так как она в значительной степени зависит от других характеристик

поверхностного слоя. Например, шлифование на неуправляемом оборудовании может привести к возникновению растягивающих остаточных напряжений, а также к прижогам, что снижает сопротивление усталости, больше чем его повышает уменьшение шероховатости.

Такие эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей, как износостойкость, контактная жесткость, а также прочность прессовых посадок возрастают с увеличением относительной опорной длины профиля.

Это объясняется увеличением площади контакта и, соответственно, уменьшением удельной нагрузки на поверхности, а также снижением коэффициента трения за счет сглаживания неровностей.

Высотные же параметры шероховатости здесь, в основном оказывают негативное влияние. В то же время стремление к снижению высотных параметров для повышения износостойкости не всегда дает положительный эффект. Это объясняется очень тесным сближением твердых тел, которое приводит к молекулярному взаимодействию поверхностей,

к увеличению сцепления и, как следствие, к возрастанию износа.

В отличие от более шероховатых поверхностей, в процессе трения которых происходит механическое зацепление неровностей и их смятие или срез, при минимальной шероховатости контактирующих поверхностей происходит схватывание с дальнейшим вырыванием частиц металла и увеличение износа.