

РАЗДЕЛ 1

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА

1.1. Строение и свойства поверхностных слоев

1.1.1. Описание поверхностного слоя

В наиболее общем случае поверхностью (поверхностным слоем) деформированного тела (элемента, детали) считается внешний слой, который имеет строение и физические, механические, трибологические и прочие свойства, отличающиеся от свойств слоев, расположенных глубже (основание).

Следует отметить, что свойства поверхностного слоя, то есть структура и характеристики, получаемые им вследствие обработки детали, зависят в первую очередь от формирующей технологии и технологии, которая придает поверхности специальные физико-химические и механические свойства. Полученные эксплуатационные свойства, как правило, не являются постоянными во времени:

– могут изменяться самопроизвольно без влияния внешних параметров, например, в результате естественного старения, релаксации напряжений, ползучести и т.д.;

– могут изменяться под влиянием внешних факторов, которые возникают во время эксплуатации детали, например, в результате нагрузки, трения, коррозии.

1.1.2. Строение поверхностного слоя

Строение поверхностного слоя, называемое структурой, зависит непосредственно от вида обработки детали. Более подробное его схематическое строение показано на рис. 1.1 [125]. Здесь можно выделить собственно непосредственную поверхность (основной поверхностный слой) металла детали и дополнительный слой

различного назначения и строения из другого материала, который называется покрытием.

1.1.3. Изменение состояния поверхностного слоя

Полученный в результате технологической операции поверхностный слой с определенными параметрами, как правило, испытывает одну или несколько последовательных разнообразных обработок (например черновое точение – чистовое точение – цементация – закалка – шлифовка), в результате чего образуются поверхностные слои, отличающиеся свойствами от основного исходного поверхностного слоя.

Направление изменений значений параметров (свойств) поверхностного слоя может быть разным. В частности, если речь идет о по-верхностной прочности, то поверхностный слой в процессе образования или эксплуатации может испытывать упрочнение или разупрочнение по отношению к исходному состоянию.

Упрочнение – это повышение поверхностной прочности, которое заключается в изменении механических свойств под влиянием холодного деформирования, например технологического обжата (накатки) или трения в процессе эксплуатации. Вследствие упрочнения происходит изменение физических, химических и, прежде всего, механических свойств: возрастание твердости, усталостной прочности, сопротивления износу, жесткости и снижения ударной вязкости и пластичности. Под влиянием пластической деформации поверхностный слой со стохастическим расположением зерен может подвергаться тестированию, то есть определенному приведению в порядок его строения (структуры).

Разупрочнение – это снижение поверхностной и усталостной прочности. Причинами разупрочнения поверхностного слоя выступают:

– снижение твердости ниже ее исходного значения или ниже твердости основания (сердцевины), что может произойти после термической обработки (отпуска, обжига) или во время эксплуатации вследствие возникновения в процессе трения высокой локальной или даже объемной температуры;

– уменьшение межкристаллической однородности поверхностного слоя, что приводит к снижению твердости и поверхностной прочности, например, вследствие превышения предельной пластической деформации, химического или физического воздействия окружающей среды при коррозии, при сухом трении, при разрушении исходных зерен материала поверхностного слоя;

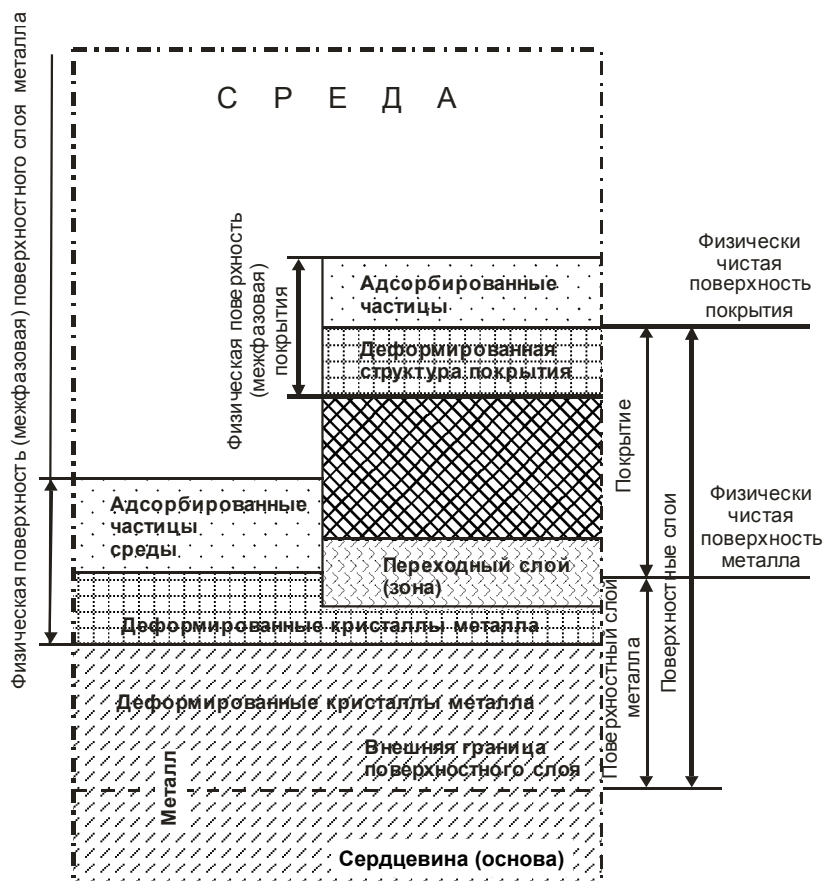


Рис. 1.1. Схематическое строение поверхностного слоя

1.1.4. Свойства поверхностного слоя

В процессе обработки поверхность приобретает комплекс свойств, которые, в общем, называют “качеством поверхности”. Она зависит от двух следующих основных комплексных составляющих:

- ее геометрии, то есть геометрической структуры как границы (контура) элемента;

– физико-химических и механических свойств поверхностного обрабатываемого слоя материала, которые обусловлены процессами образования поверхности.

Качество поверхности проявляет меньшее или большее влияние на эксплуатационные свойства материалов: поверхностную прочность, усталостную прочность, износостойкость, коррозионную стойкость и т.п. Кроме этого, в соединениях с натягом, в соединениях с малым или нулевым зазором качество поверхности играет значительную роль.

Поверхностный слой имеет значительную неоднородность физико-химического состояния. Его свойства в момент образования можно описать рядом взаимосвязанных параметров: геометрических, геометрически-физико-химических и физико-химических (рис. 1.2) [125].

1.1.4.1. Геометрическая структура поверхности

Все реальные поверхности деталей всегда имеют неидеальную поверхность. Комплекс отклонений от идеально гладкой поверхности, отображающий состояние реальной поверхности, описывает геометрическая структура поверхности. Различают три вида отклонений: макрогеометрические, волнистость поверхности, микрогеометрические (шероховатость).

Отклонения, связанные с геометрической формой поверхности элемента, называются макрогеометрическими. Для цилиндрических элементов это – овальность и огранка (отклонения контура от окружности), нецилиндричность (отклонения образующих от прямолинейности при сохранении прямолинейности оси цилиндра), конусность (отклонения образующих на некоторый угол относительно оси цилиндра). Для плоских поверхностей отклонениями формы является выпуклость и вогнутость (плоскостность). Указанные отклонения формы поверхности обусловлены неточностью процессов механической обработки. Их измерение осуществляется с помощью разных измерительных приборов и инструментов.

Волнистость поверхности – это система выступов и впадин с регулярным или нерегулярным шагом, где высота волн является относительно малой в сравнении с их шагом (в границах 1:40...1:100 и больше). Различают продольную и поперечную волнистость. Такое отклонение поверхности возникает вследствие неравномерной подачи инструментов и вынужденных колебаний в системе станок – инструмент – изделие. Измерение волнистости поверхности

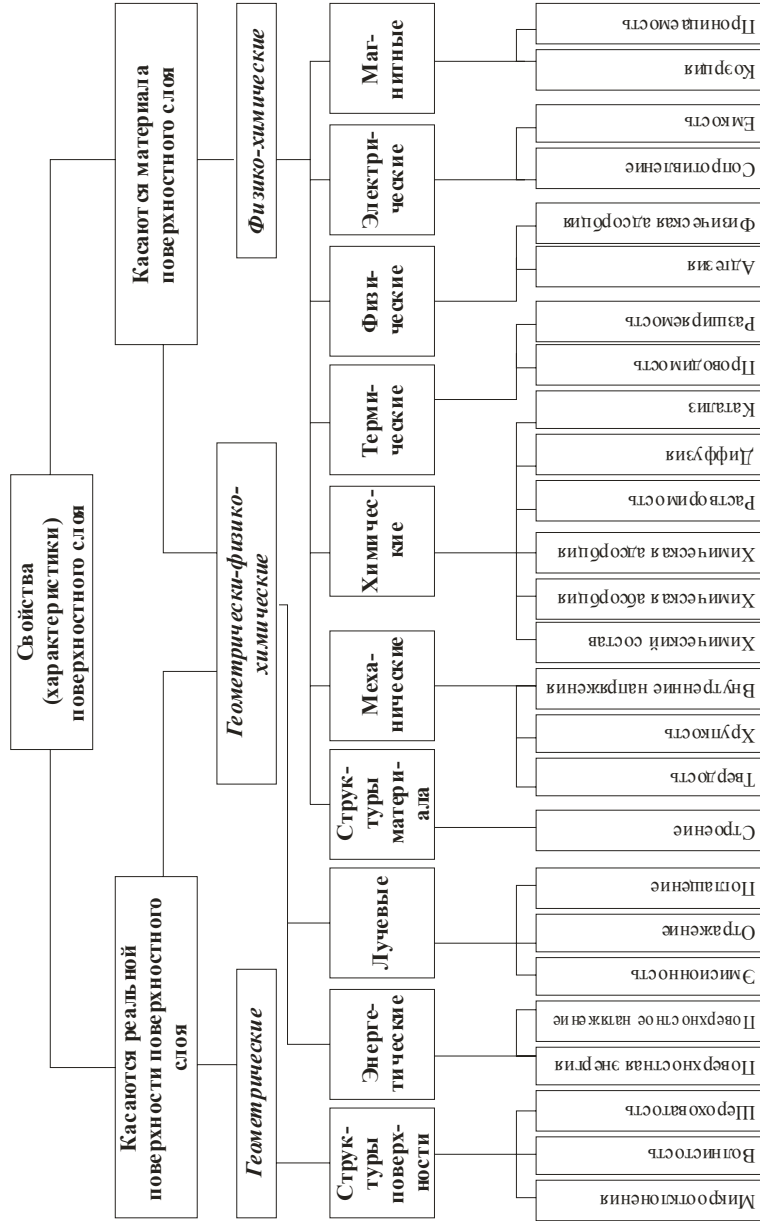


Рис. 1.2. Свойства поверхностного слоя

В процессах преобразования и обработки материала на поверхности элементов возникают микрогеометрические отклонения (шероховатость). Они образуют совокупность микровыступлений (микронеровностей) с шагом (2...800 мкм) и высотой (0,03...400 мкм). Шероховатость, как и волнистость, может быть регулярной (с одинаковым шагом) и нерегулярной. Измерение шероховатости по-верхности осуществляется профилометрами. Реальная поверхность, которая возникает в результате различных видов формирующей обработки, имеет разные несовершенства. Известно свыше 30 [125] видов несовершенств поверхности, которые возникают вследствие:

- действия других тел: борозды, царапины, выпуклости, пряди;
- нагрузок и несовершенств обрабатываемого материала: трещины, разрывы, щели, расслоения, пузыри, наросты, утолщения, спекания, включения, лепестки;
- коррозии: следы коррозии, пятна, углубления;
- эрозии: ямки, кратеры.

Чаще всего встречаются: несовершенства, обусловленные механической обработкой и процессами коррозии; борозды, возникающие при обработке материалов и взаимном перемещении деталей; царапины, которые подобны бороздам, лишь не имеют скругленного дна; трещины; поры.

1.1.4.2. Физико-химические свойства поверхностного слоя

а) Металлографическая структура

Металлографической структурой называется внутреннее строение поверхностного слоя, которое указывает на размещение ее составляющих элементов (кристаллов, зерен, расположения атомов в кристаллической решетке). Различают макро- и микроструктуры. Первую из них можно наблюдать невооруженным глазом, а вторая заметна лишь под микроскопом.

От металлографической структуры зависят другие свойства поверхностного слоя [125]:

- механические (твердость, пластичность, внутренние напряжения, усталостная прочность, износостойкость, ударная вязкость и др.);
- химические (абсорбция, коррозионно-химическая стойкость);
- электрохимические (коррозионно-электрохимическая стойкость);
- термофизические (проводимость, расширяемость, адсорбция, адгезия);

- электрические (сопротивление, емкость);
- магнитные (коэрция, проницаемость).

Металлы и подавляющее большинство неметаллов имеют кристаллическое строение с определенным расположением атомов, ионов или молекул в элементарных ячейках кристалла. Структура поверхностного слоя в наибольшей мере из всех его параметров зависит от вида обработки. Поверхностный слой может иметь структуру:

- исходную, которая возникает при затвердевании металла или сплава;
- производную, которая получается из исходной структуры после рекристаллизации в твердом состоянии вследствие фазовых преобразований или пластической обработки.

Локально структура может иметь дефекты (несовершенства) материала: микротрещины, щели, поры, включения разного вида, вырывы, шаржированные (вдавленные) твердые частицы и т.д.

б) Твердость

Твердость – это свойство материала противодействовать пластическим деформациям или возникновению трещин при его локальной нагрузке. Она является условной характеристикой, которая создает возможность сравнения сопротивления разных материалов их поверхностному повреждению (рис. 1.3, 1.4) [144, 148].

С целью определения твердости особых зон поверхностного слоя (зерен или составляющих структуры) проводится измерение их микротвердости.

Твердость зависит от вида материала, его структуры, получаемой в результате обработки, в особенности упрочняющей термической и химико-термической обработки.

в) Хрупкость

Хрупкость – это свойство материала разрушаться под действием внешней нагрузки без заметных пластических деформаций. Она зависит от вида материала и его состава, вида нагрузки, температуры, окружающей среды, вида поверхностного или объемного упрочнения материала.

Свойством, обратным к хрупкости, является вязкость, которая указывает на способность материала пластически деформироваться без разрушения (образования трещин).

г) Остаточные напряжения

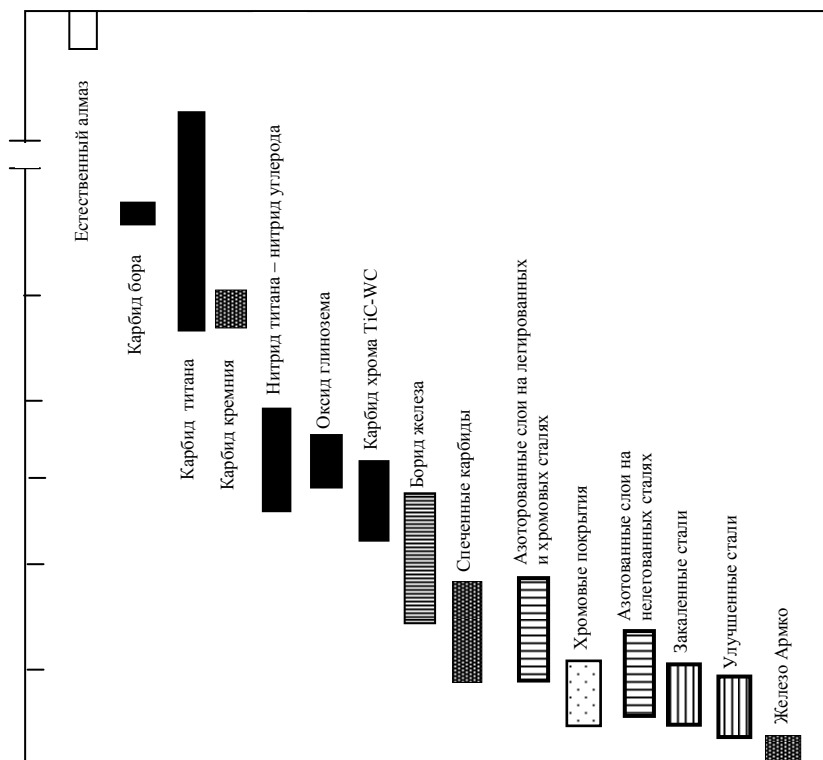


Рис. 1.3. Твердость материалов, покрытий и поверхностных слоев

Остаточные напряжения могут быть вызваны процессами обработки материалов – тогда возникают технологические напряжения, либо эксплуатационными операциями – тогда возникают эксплуатационные напряжения. В технологических процессах образования поверхности и изделия можно указать на такие остаточные напряжения:

- закалочные, вызванные изменениями объема вследствие фазовых превращений при нагревании и охлаждении;
- литейные, вызванные застыванием и отвердеванием металла;
- сварочные, вызванные фазовыми изменениями и термическим расширением металла.

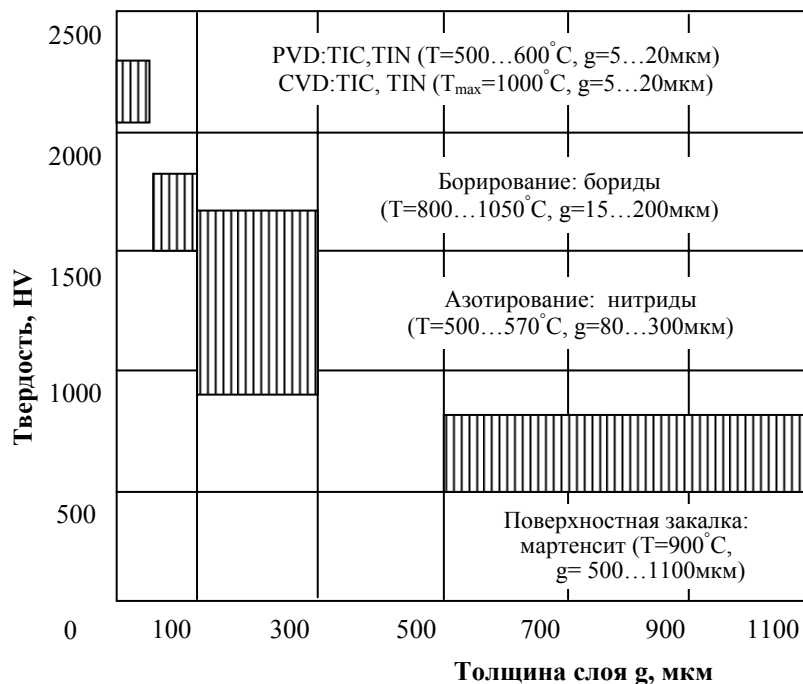


Рис. 1.4. Твердость поверхностного слоя при различных видах обработки

1.1.4.3. Эксплуатационные свойства поверхностного слоя

Поверхностный слой всегда формируется с определенной целью и всегда предназначен для взаимодействия с внешними факторами – физическими и химическими. Эксплуатационные свойства поверхностного слоя появляются в результате взаимодействия исходных свойств с внешними влияниями. Ими могут быть: механические нагрузки (в т.ч. переменные), трение, влияние эксплуатационной среды (окислительной, восстановительной, пассивирующей) либо их комбинация. Эксплуатационные свойства изменяются в процессе применения изделия. Важнейшие эксплуатационные свойства поверхностного слоя указаны на рис. 1.5 [125].

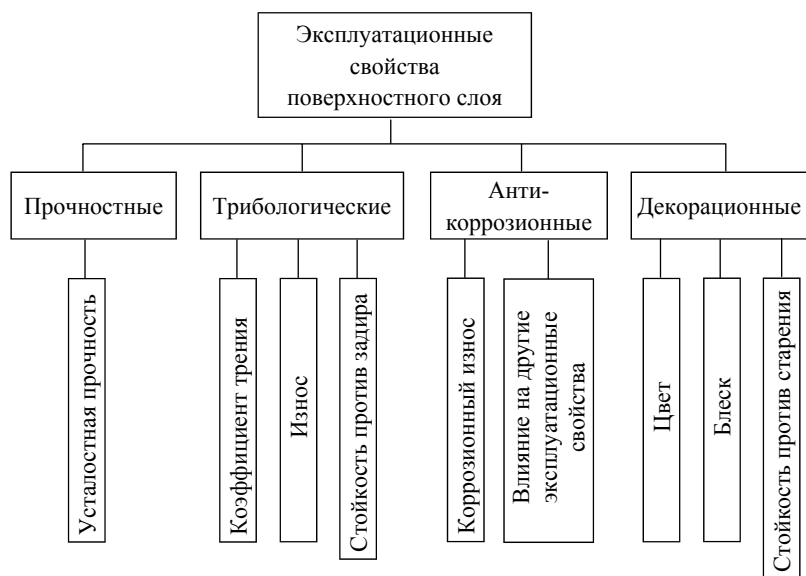


Рис. 1.5. Эксплуатационные свойства поверхностного слоя

1.2. Методы исследования состояния поверхностного слоя

С целью исследования состояния поверхностей трения и структуры поверхностных слоев применяют различные физические методы. Наиболее известными и распространенными являются: а) оптическая и электронная микроскопия; б) электронная, рентгеновская и тепловая нейтронная дифракция; в) электронно-зондовый анализ, лазерный и ионный микрозондаж; г) эмиссионная ОЖЭ (Аугера) и абсорбционная спектроскопия [18, 43, 75, 81, 137, 150].

Оптическая металлография. Исследования проводятся с использованием разной конструкции оптических микроскопов при увеличениях 100...2000 в светлом и темном поле с целью качественного определения фазового и структурного состава сплавов, а также количественного содержания фаз, размера, формы и