

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический университет

Т.Ю. Степанова

Технологии поверхностного упрочнения деталей машин

Учебное пособие

Иваново 2009

УДК 621.8

Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009.- 64с.- ISBN – 5-9616-0315-4.

Пособие написано в соответствии с программой курсов «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и «Механика». В нем изложены основные сведения о методах упрочнения поверхности деталей машин, приводится классификация методов отделочно-упрочняющей обработки. Содержится информация о параметрах состояния поверхностного слоя, структурных несовершенствах в реальных кристаллах, образовании и размножении дислокаций.

Пособие предназначено для студентов немашиностроительных специальностей.

Ил. 23, Библиогр.: 6 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты: кафедра технологии автоматизированного машиностроения Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина; кандидат технических наук В.В. Киселев (Ивановский институт государственной пожарной службы МЧС России).

ISBN-5-9616-0315-4

©Степанова Т. Ю., 2009

© ГОУВПО Ивановский
государственный
химико-технологический
университет, 2009

Введение

Одним из важнейших показателей, определяющих спрос на проектируемый объект, является его качество. Обеспечение необходимого качества возможно при удовлетворении эксплуатационных требований, предъявляемых к деталям машин.

Работоспособность и надежность детали обеспечиваются за счет выполнения следующих основных требований: прочности, жесткости и стойкости к различным воздействиям (износу, вибрации, температуре и др.). Выполнение требований прочности при статическом, циклическом и ударном нагружениях должно исключить возможность разрушения, а также возникновения недопустимых остаточных деформаций. Требования жесткости к детали или контактной поверхности сводятся к ограничению возникающих под действием нагрузок деформаций, нарушающих работоспособность изделия, к недопустимости потери общей устойчивости для длинных деталей, подвергающихся сжатию, и местной – у тонких элементов. Должна быть обеспечена износостойкость детали, которая существенно влияет на долговечность работы механизма. Достаточно, чтобы для каждой детали выполнялись не все перечисленные выше требования, а лишь те, которые связаны с ее эксплуатацией.

Детали, испытывающие максимальные напряжения на поверхности (изгиб, контактные напряжения), для повышения сопротивления усталости подвергают поверхностному упрочнению. Существуют следующие методы поверхностного упрочнения: механический, термический, химико-термический, лазерная закалка, ионная имплантация и др.

1. Механические методы поверхностного упрочнения деталей машин

Требования по созданию долговечных машин можно удовлетворить не только разработкой современных конструкционных решений и применением новых высокопрочных материалов, но и путем изменений поверхностного слоя деталей машин.

Процессом, обеспечивающим получение стабильных показателей по качеству поверхности, является **поверхностное пластическое деформирование**, которое подразделяется на сглаживающее и упрочняющее.

1.1. Параметры состояния поверхностного слоя деталей машин

Поверхностный слой детали – это слой, у которого структура, фазовый и химический состав отличаются от основного материала, из которого сделана деталь.

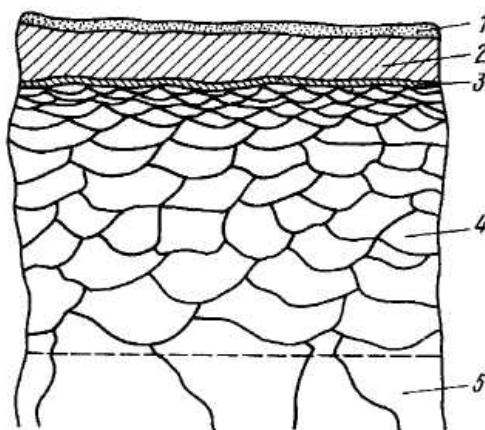


Рис.1.1. Схема поверхностного слоя детали

В поверхностном слое можно выделить следующие основные зоны (рис.1.1):

1. адсорбированных из окружающей среды молекул и атомов органических и неорганических веществ. Толщина слоя $1 \pm 0,001$ мкм;
2. продуктов химического взаимодействия металла с окружающей средой (обычно оксидов). Толщина слоя 10 ± 1 мкм;
3. граничная толщиной несколько межатомных расстояний, имеющая иную, чем в объеме, кристаллическую и электронную структуру;
4. с измененными параметрами по сравнению с основным металлом;
5. со структурой, фазовым и химическим составом, который возникает при изготовлении детали и изменяется в процессе эксплуатации.

Толщина и состояние указанных слоев поверхностного слоя могут изменяться в зависимости от состава материала, метода обработки, условий эксплуатации. Оценка этого состояния осуществляется методами химического,

физического и механического анализа. Многообразие параметров состояния поверхностного слоя и методов их оценки не позволяет выделить единственный параметр, определяющий качество поверхностного слоя. На практике состояние поверхностного слоя оценивается набором единичных или комплексных свойств, которые оценивают качество поверхностного слоя.

Эти параметры характеризуют:

- геометрические параметры неровностей поверхности;
- физическое состояние;
- химический состав;
- механическое состояние.

Геометрические параметры неровностей поверхности оцениваются параметрами шероховатости, регулярных микрорельефов, волнистости.

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей с относительно малыми шагами. Примерное отношение высоты неровностей к шагу менее 50.

Волнистость поверхности – это совокупность неровностей, имеющих шаг больший, чем базовая длина, используемая для измерения шероховатости. Отношение высоты к шагу более 50 и менее 1000.

Волнистость в России не стандартизирована, поэтому для ее оценки используют параметры шероховатости.

Регулярные микрорельефы – это неровности, которые, в отличие от шероховатости и волнистости, одинаковы по форме, размерам и взаиморасположению.

Регулярный микрорельеф получают обработкой резанием или поверхностным пластическим деформированием роликами, шариками, алмазами.

Физическое состояние поверхностного слоя деталей в технологии упрочнения наиболее часто характеризуется параметрами структуры и фазового состава.

Структура – это характеристика металла, зависящая от методов изучения его строения. Выделяют следующие типы структур:

- кристаллическая;
- субструктура;
- микроструктура;
- макроструктура.

Кристаллическая структура. Металлы представляют собой кристаллы с трехмерной периодичностью. Основой кристаллической структуры является трехмерная решетка, в пространстве которой располагаются атомы. В зависимости от характера расположения атомов в кристаллической решетке структуры чистых металлов разделяются на ряд типов (рис.1.2).

Субструктура. В реальном металле кристаллическая структура имеет множество дефектов, которые в значительной степени определяют его свойства. Совокупность дефектов решетки и их пространственное распределение в кристалле называется субструктурой. Здесь кристаллы могут

образовывать более крупные фрагменты – кристаллиты, блоки, зерна, фрагменты, полигоны. Размер субмикрзерна: $10^{-2} \div 10^{-5}$ см.

Микроструктура – это структура, определяемая с помощью металлографических микроскопов. Этот анализ позволяет определить наличие, количество и форму структурных составляющих сплава.

Размер субзерна: $10^{-3} \div 10^{-4}$ см.

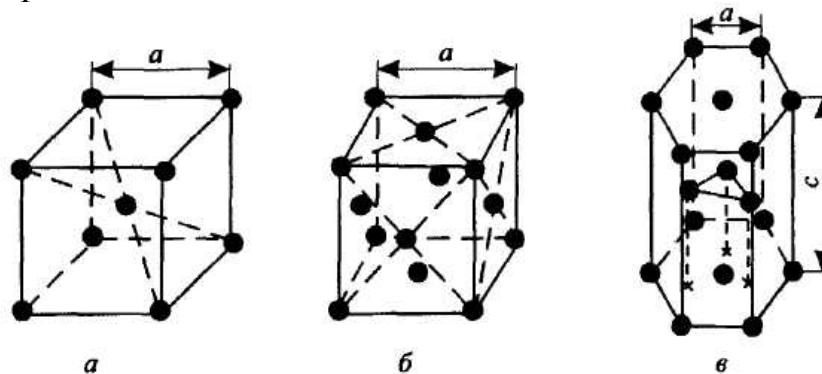


Рис.1.2. Типы кристаллической структуры:

а - объемно - центрированная кубическая; б - гранецентрированная кубическая; в - гексагонально-плотнупакованная

Макроструктура – это структура, которая определяется невооруженным глазом или при небольших увеличениях. С помощью макроанализа определяют трещины, неметаллические включения, примеси и др.

Физическое состояние характеризуется числом и концентрацией фаз, распределением фаз по поверхностному слою, объемом сплава и др.

Исследование физического состояния осуществляется экспериментальными методами физики твердого тела: дифракционными и микроскопическими.

Химический состав характеризуется элементным составом сплава и фаз, концентрацией элементов в объеме фаз, сплава и др.

Исследования химического состава поверхностного слоя позволяют оценить адсорбцию из окружающей среды молекул и атомов органических и неорганических веществ, диффузионные процессы, процессы окисления и другие, происходящие при обработке металлов.

Механическое состояние металла определяется параметрами:

- сопротивлением деформированию: предел упругости, предел пропорциональности, предел текучести, предел прочности, твердость и др.;
- пластичностью: относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость и другие, устанавливаемые специальными испытаниями образцов.

Например, в процессе пластической деформации, которая всегда сопровождается механической обработкой, все характеристики механического состояния поверхностного слоя изменяются: показатели сопротивления

деформированию увеличиваются, а показатели пластичности уменьшаются. Это явление называют *деформационным упрочнением*.

В инженерной практике деформационное упрочнение поверхностного слоя определяют измерением твердости H или микротвердости. Для этого твердость измеряют на поверхности металла и внутри металла (при помощи послойного травления). В результате устанавливают толщину упрочненного слоя h_H и степень деформационного упрочнения δ_H :

$$\delta_H = (H_{\text{обр}} - H_{\text{иск}}) / H_{\text{иск}},$$

где $H_{\text{обр}}$ и $H_{\text{иск}}$ - соответственно твердость (микротвердость) металла после и до обработки.

Важной характеристикой состояния поверхностного слоя являются *остаточные напряжения*.

Остаточные напряжения – это упругие напряжения, которые остались в детали после обработки. В зависимости от объема тела, в которых рассчитывают остаточные напряжения, они условно подразделяются на остаточные напряжения:

- первого рода, уравновешенные в макрообъемах тела;
- второго рода, уравновешенные в пределах размера зерен;
- третьего рода, уравновешенные в пределах нескольких межатомных расстояний.

В зависимости от характера и интенсивности физико-механических процессов, происходящих при обработке, остаточные напряжения могут иметь различный знак:

- (+) - растягивание;
- (-) - сжатие.

Условие равновесия требует, чтобы в объеме детали сумма проекций всех сил была равна нулю. Поэтому в детали есть область со сжимающими и растягивающими остаточными напряжениями.

В инженерной практике остаточные напряжения первого рода принято представлять в виде проекции на оси заданной системы координат. Например, для тела вращения используют понятия осевых σ_x^0 , окружных (тангенциальных) σ_t^0 и радиальных σ_r^0 остаточных напряжений.

Обобщенно можно сказать, что остаточные напряжения первого рода есть результат неравномерных пластических деформаций различных слоев детали (искривление детали).

Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на прочность и долговечность деталей машин и конструкций. Остаточные сжимающие напряжения, возникающие в поверхностном слое, повышают циклическую прочность деталей, т.к. они разгружают поверхностные слои от напряжений, вызванных нагрузками и, наоборот, растягивающие остаточные напряжения уменьшают прочность деталей вследствие повышения напряженности поверхностного слоя.

1.2. Структурные несовершенства в реальных кристаллах

В соответствии с современными взглядами на строение металла, существенное различие теоретической и физической прочности объясняется наличием структурных несовершенств (дефектов) кристаллов.

Структурные дефекты оказывают существенное влияние на упрочнение и разрушение металла при обработке.

Структурные несовершенства в кристаллах возникают в результате кристаллизации металла, термической обработки, пластической деформации и др.

Структурные несовершенства (дефекты) кристалла по геометрическому признаку подразделяются на 4 группы:

- точечные;
- линейные;
- поверхностные (плоские);
- объемные.

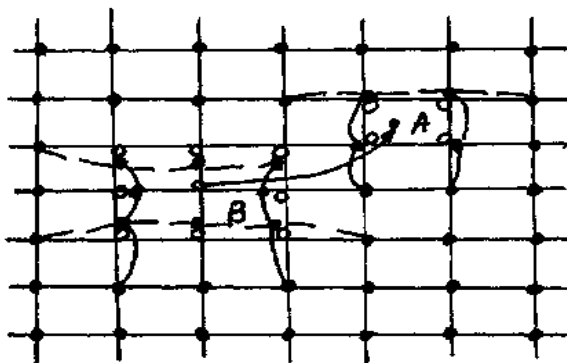


Рис.1.3. Точечные дефекты в плоскости простой кубической решетки:
А - дислоцированный атом; В - вакансии

Точечные дефекты по своим размерам сопоставимы с размерами атома. В чистых кристаллах возможны два типа точечных дефектов (рис.1.3):

- вакансии;
- межузельные атомы.

Вакансии образуются при удалении атома из узла решетки, а *межузельный атом* при введении атома в межузельное пространство.

Образование вакансий и межузельных атомов связано с тем, что колеблющиеся около положения равновесия атомы могут под влиянием привнесенной извне энергии выходить из положения равновесия, образуя после себя в узле кристаллической решетки пустоту (вакансию) и, соответственно, межузельный атом. Множество вакансий и межузельных атомов может быть увеличено резким охлаждением металла, пластической деформацией, облучением высокоэнергетическими лучами, магнитным полем и др.

Например, количество точечных дефектов в кристаллах при пластической деформации можно определить по зависимости:

$$n/N = (10^{-5} \div 10^{-6}) \varepsilon,$$

где

n - предельное число равновесных точечных дефектов;

N - общее число атомов;

ε – деформация, %.

В качестве точечных дефектов чистых металлов можно также рассматривать примесные атомы замещения и внедрения (рис.1.4).

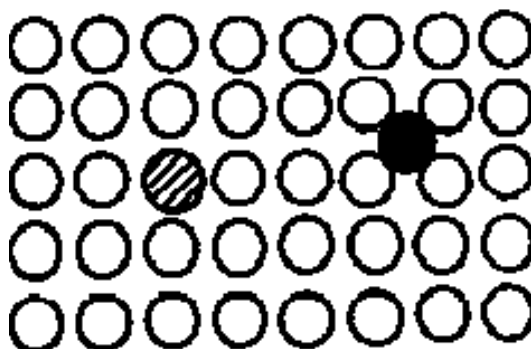


Рис.1.4. Точечные дефекты в плоскости простой кубической решетки:

◻ - примесные атомы внедрения; ● – атомы замещения

Все точечные дефекты образуют локальные искажения кристаллической решетки, повышая тем самым энергию, зависящую от размера введенных атомов и расстояние между ними.

Линейные дефекты кристаллической решетки имеют размеры, близкие к атомным в двух измерениях и значительную протяженность в третьем. К этому виду дефектов относятся дислокации, простейшими из которых являются краевые и винтовые.

На рис.1.5 показана модель краевой дислокации на примере простого кубического кристалла. Она образуется путем внедрения в кристалл лишней плоскости атомов ABCD называемой экстраплоскостью. Граница экстраплоскости – линия CD – является краевой дислокацией. Экстраплоскость действует как клин, создавая сильное искажение кристаллической решетки, особенно в окрестности атомов, расположенных на линии дислокации CD.

Если экстраплоскость расположена сверху дислокации, то дислокацию называют *положительной* и обозначают знаком \perp . Дислокация является *отрицательной*, если экстраплоскость расположена под ней. В этом случае она обозначается знаком ∇ .

Винтовая дислокация (рис.1.6) образуется при смещении части кристалла, разделенного плоскостью ABCD, относительно другой в направлении АВ.

Линия DC есть винтовая дислокация. В зависимости от направления движения дислокации бывают правого и левого вращения.

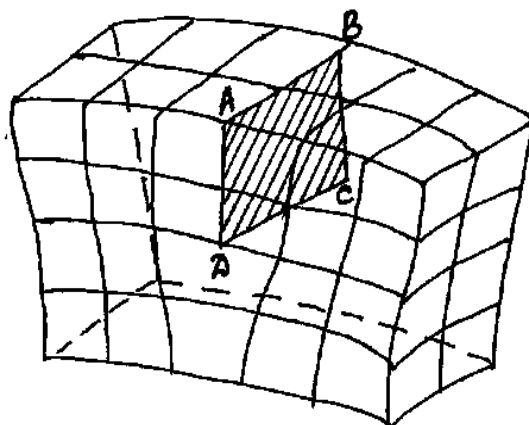


Рис.1.5. Модель положительной краевой дислокации

К *линейным* относят смешанные дислокации, в которых содержатся части в виде краевой и винтовой дислокации.

Поверхностные дислокации – это дефекты, имеющие значительную протяженность в двух направлениях. К ним относятся границы между субзернами, зернами, межфазные границы, дефекты упаковки кристаллической решетки, скопление дислокаций в одной плоскости и др.

Объемные дефекты имеют протяженность во всех трех измерениях. К этим дефектам относится совокупность точечных, линейных и поверхностных дефектов, которые приводят к искажению кристаллической решетки в больших объемах кристалла.

Кроме того, к объемным дефектам относят наличие фаз, дисперсных выделений, различных включений, а также неравномерность распределения напряжений и деформаций в макрообъемах.

Наличие дефектов кристаллической решетки вызывает ее искажение. Мерой искаженности решетки является вектор Бюргерса, характеризующий энергию дислокации и силы, действующие на нее. Это отрезок, замыкающий контур Бюргерса. Понятие о векторе и контуре Бюргерса дает рисунок 1.7.

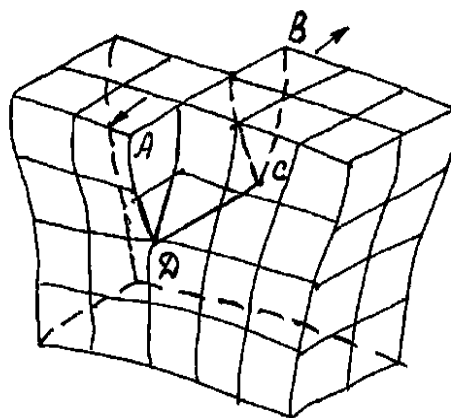


Рис.1.6. Модель винтовой дислокации