

**ПОВЕРХНОСТНОЕ
УПРОЧНЕНИЕ
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

УПРОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Упрочнение в технологии металлов, означает повышение сопротивляемости материала заготовки или изделия разрушению или остаточной деформации.

Упрочнение характеризуется степенью **Упрочнения** – показателем относительного повышения значения заданного параметра сопротивляемости материала разрушению или остаточной деформации по сравнению с его исходным значением в результате упрочняющей обработки, а также (в ряде случаев) глубиной Упрочнения (толщиной упрочнённого слоя). **Упрочнение** обычно сопровождается снижением пластичности. Поэтому практически выбор способа и оптимального режима упрочняющей обработки определяется максимальным повышением прочности материала при допустимом снижении пластичности, что обеспечивает наибольшую конструкционную прочность.

Упрочнение — повышение сопротивления заготовки (детали) разрушению или деформации. В зависимости от условий эксплуатации детали имеют тот или иной вид разрушения, а следовательно, их конструкционная прочность будет определяться различными характеристиками **конструкционной прочности материала (КПМ)**.

УПРОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛА

- Характеристики КПМ

- кратковременные

- временное сопротивление, предел текучести, относительное сужение при разрыве, ударная вязкость и т.д., которые определяют сопротивление материала действующим нагрузкам при однократном их приложении.

- временные

- длительная прочность, сопротивление усталости, контактная выносливость, износ, термостойкость, коррозия под напряжением и др., которые зависят от продолжительности нагружения.

ВИДЫ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА

- Упрочняющая обработка
 - Поверхностное пластическое деформирование (ППД)
 - Термомеханическая обработка (ТМО)
 - Химико-термическая обработка (ХТО)

ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ (ППД)

•Виды ППД

- накатка и раскатка роликами и шариками
- обкатка зубчатыми валками
- алмазное выглаживание
- дорнование
- гидроабразивная
- вибрационная
- дробеструйная
- и др. способы обработки

Поверхностное пластическое деформирование - это метод обработки деталей без снятия стружки, при котором пластически деформируется только поверхностный слой деталей.

В результате ППД уменьшается шероховатость поверхности, увеличивается твердость (микротвердость) металла, в поверхностном слое детали возникают сжимающие остаточные напряжения.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ (ППД)

- По характеру взаимодействия инструмента с деталью методы ППД подразделяются
 - Ударные
 - Ударное ППД осуществляется нанесением инструментом случайно распределенных или регулярных ударов по детали
 - Статические (накатывание, выглаживание, дорнование (деформирующее протягивание), поверхностное редуцирование).
 - Статическое ППД осуществляется перемещением инструмента вдоль обрабатываемой поверхности с постоянной или закономерно изменяющейся силой деформирования или глубиной внедрения.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ (ППД)

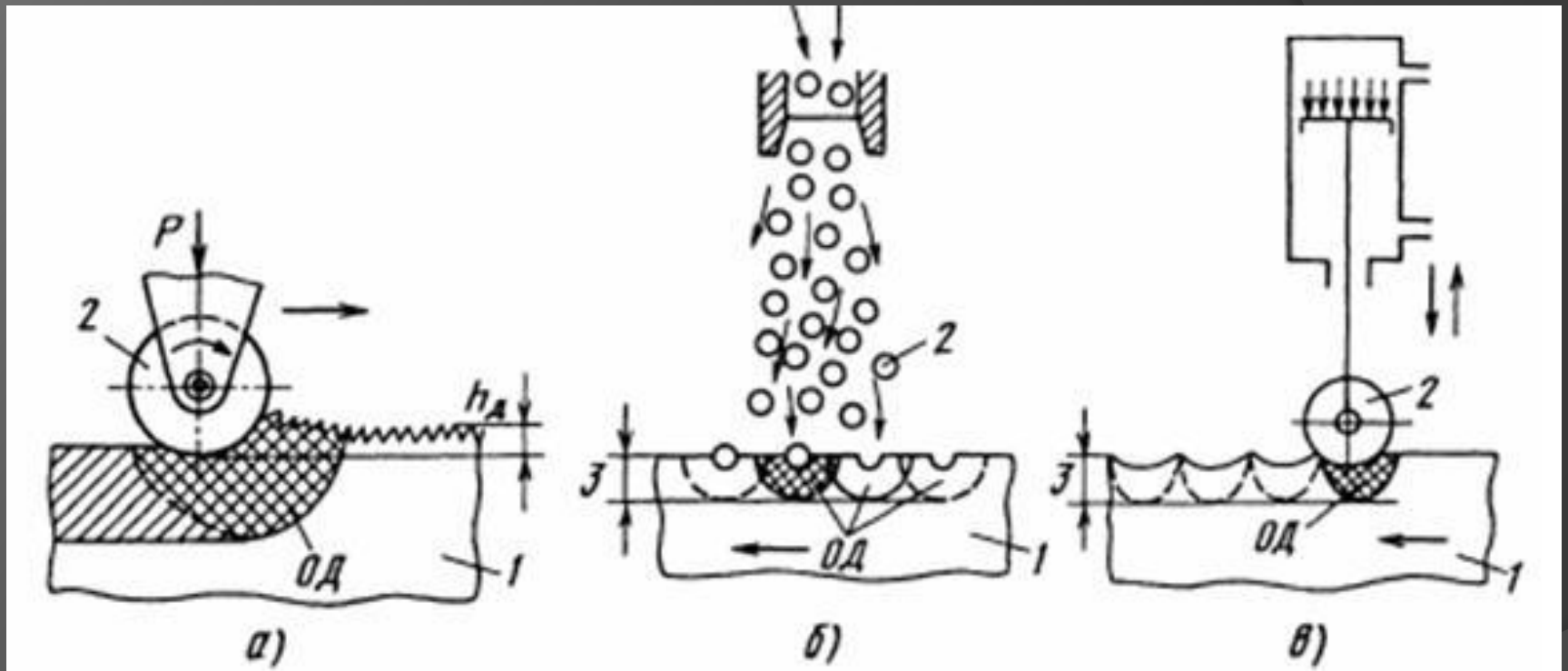


Рис. 1. Схемы статического (а) и ударного (б) и (в) ППД

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ (ППД)

После достижения определенного значения Γ рост практически прекращается.

Зависимость от степени деформации сдвига « Γ » определяется опытами на растяжение, сжатие или др., однако, согласно гипотезе о единой кривой упрочнения, эта зависимость будет справедлива и для ППД.

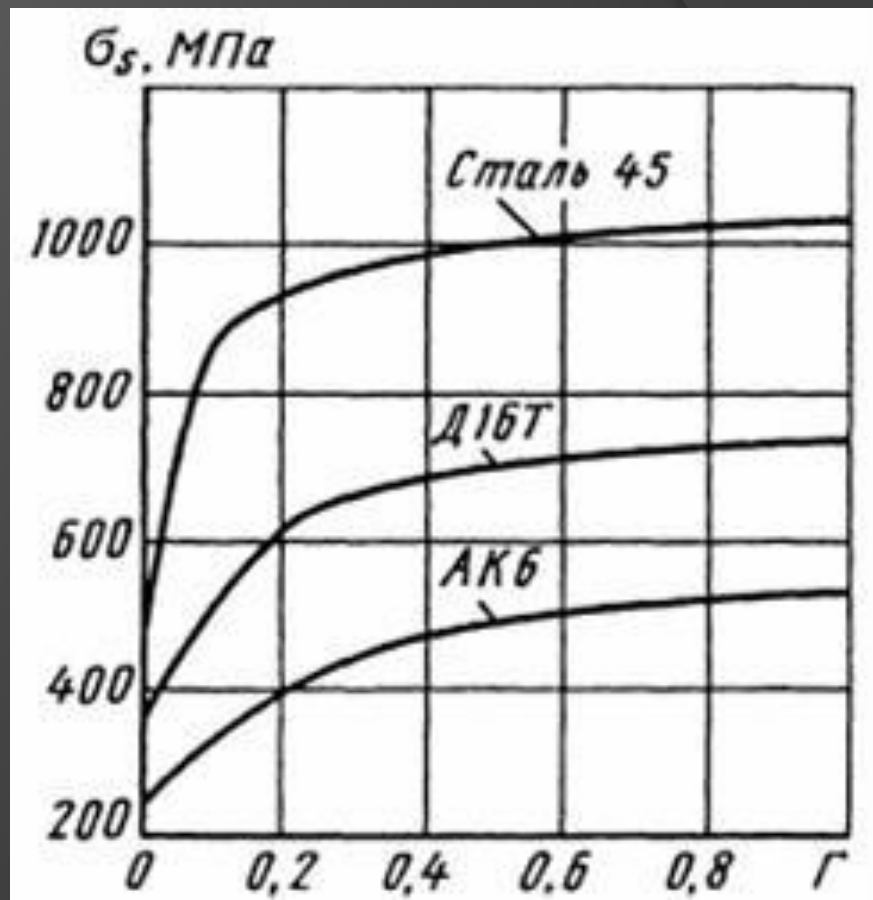


Рис. 2. Кривые упрочнения

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ (ППД)

Достоинства ППД:

1. технологическая универсальность и экономичность метода.
2. повышается выносливость деталей в 1,5—2,3 раза, сопротивление схватыванию, контактная выносливость, и другие эксплуатационные показатели изделия.

Особенности (специфика):

Для каждого материала имеется такое значение накопленной деформации, превышение которого не приводит к дальнейшему упрочнению металла. Более того, при чрезмерном увеличении произойдет сильное снижение ресурса пластичности металла и, как следствие, снижение эксплуатационных характеристик детали.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

Упрочнение при термической обработке металлов обеспечивается, в частности, при закалке с последующим отпуском. Улучшению прочностных свойств значительно способствуют и определённые виды термомеханической обработки (в т. ч. горячий и холодный наклёп).

Термомеханическая обработка (ТМО) относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов.

При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка (закалка предварительно деформированной стали в аустенитном состоянии).

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

•Виды ТМО

- *отжиг I рода*
- *отжиг II рода*
- *закалка без полиморфного превращения*
- *закалка с полиморфным превращением*
- *отпуск и старение*

Термическая обработка — совокупность технологических операций, связанных с нагревом, выдержкой и охлаждением. Основная задача нагрева стали — перевод структуры в аустенитное состояние и получение возможно более мелкого зерна.

Термическая обработка включает следующие основные типы: *отжиг I рода, отжиг II рода, закалка без полиморфного превращения, закалка с полиморфным превращением, отпуск и старение*. Каждый из этих типов термической обработки качественно отличается один от другого характером фазовых и структурных превращений.

ВОЗМОЖНОСТИ

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

Виды ТМО и их особенности

отжиг I рода

проведение не связано с фазовыми превращениями. Различают следующие разновидности отжига I рода: гомогенизация, рекристаллизация, уменьшение остаточных напряжений.

отжиг II рода

изотермический, сфероидизирующий. Разновидностью отжига II рода является также нормализация.

полумартенситного

сплавов цветных металлов. Он применяется также для сталей, в частности — мартенситно-стареющих.

полумартенситным

подвергают титановые сплавы, но особенно широко ее применяют в производстве стальных деталей.

Отпуск

В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск. Закалка с высоким отпуском называется улучшением.

старение

Старение подразделяется на естественное (20°C) и искусственное с нагревом до определенной температуры.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

применяют
для
режущего,
измерительно
го
инструмента,
деталей
подшипников

Низкий отпуск (150...250 °С)

качества, а
также
деталей
после
поверхностно
й закалки,
цементации,
нитроцементаци
и
цианирования

Структура
стали
(0,45...0,8%
C) после
среднего
отпуска —
троостит

Отпуск

Средний отпуск (350...500 °С)

троостит
или
трооститом
нсит с
твердостью
40...50 HRC.
Температуру
отпуска
следует
выбирать
таким
образом,
чтобы не
вызывать
необратимой
отпускной
хрупкости
(отпускной
хрупкости I
рода).

соотношение
прочности и
вязкости
стали
Легирующие
элементы Mo,
W, Cr, V

Высокий отпуск (500...680 °С)

замедляют
процессы
диффузии и
коагуляцию
карбидов,
поэтому
происходящи
е при отпуске,
в
легированных
сталях
смещаются к
большим
температурам
. Это
позволяет
полнее снять
остаточные
закалочные
напряжения.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

- В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают
 - **Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)**
 - **Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО).**

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)

Сущность **высокотемпературной термомеханической** обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке.

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладоломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

Последующий отпуск при температуре $100...200^{\circ}\text{C}$ проводится для сохранения высоких значений прочности.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО)

Низкотемпературная термомеханическая обработка (аусформинг).

Сталь нагревают до аустенитного состояния. Затем выдерживают при высокой температуре, производят охлаждение до температуры, выше температуры начала мартенситного превращения ($400...600^{\circ}\text{C}$), но ниже температуры рекристаллизации, и при этой температуре осуществляют обработку давлением и закалку .

Низкотемпературная термомеханическая обработка, хотя и дает более высокое упрочнение, но не снижает склонности стали к отпускной хрупкости. Кроме того, она требует высоких степеней деформации ($75...95\%$), поэтому требуется мощное оборудование. Низкотемпературную термомеханическую обработку применяют к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит, которые имеют вторичную стабильность аустенита.

Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два - четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения.

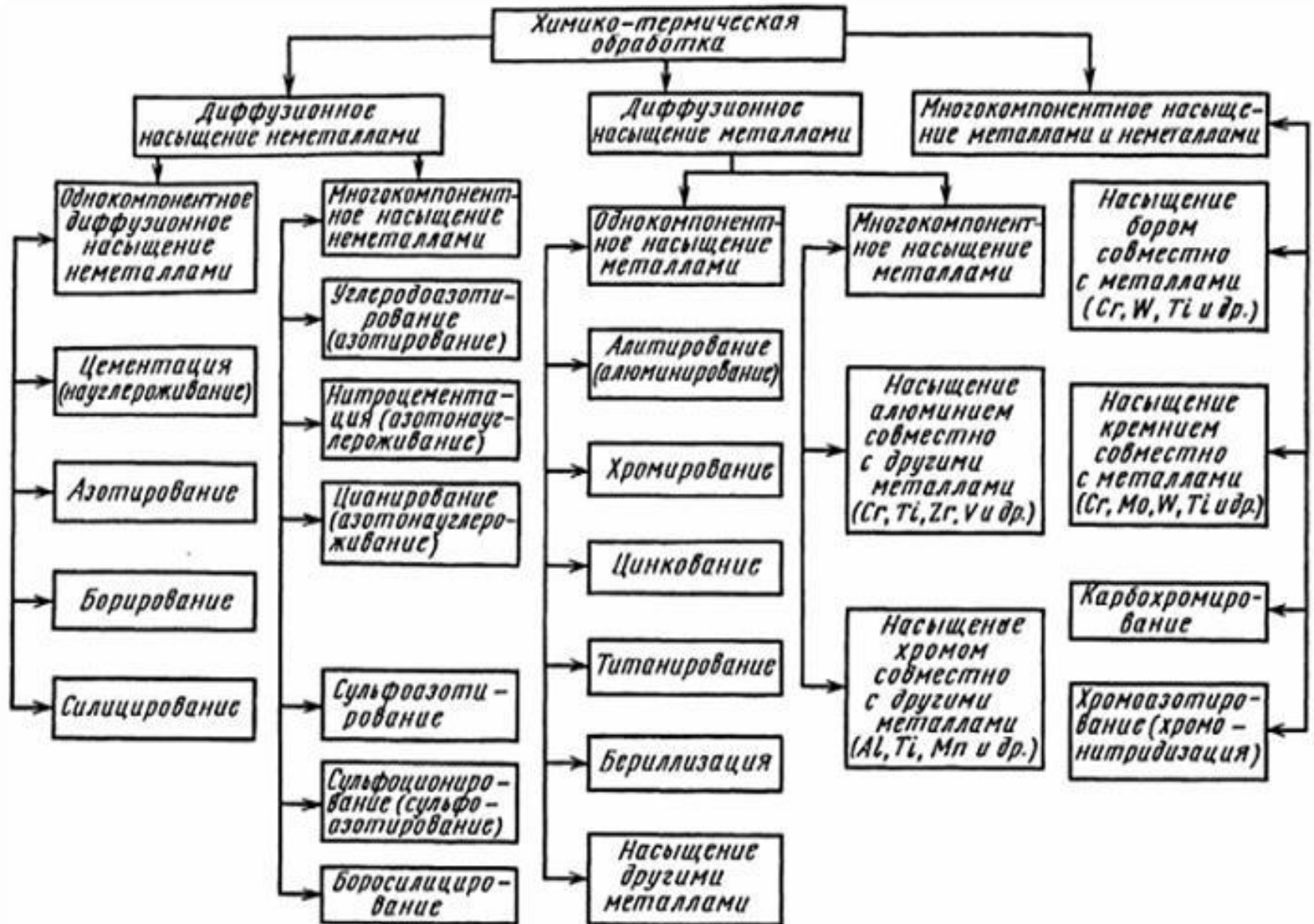
ВОЗМОЖНОСТИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Упрочнение химико-термическим воздействием - совокупность процессов диффузионного насыщения поверхностного слоя одним или несколькими химическими элементами в сочетании с предварительной или последующей термической обработкой.

При ХТО формируется одно- или многокомпонентный диффузионный слой, обладающий комплексом высоких механических и физико-химических свойств. ХТО включает большое число способов .

Диффузионное насыщение неметаллами (С, N, В) используют для упрочнения поверхности деталей машин и инструментов. Насыщение поверхности металлами (Cr, Al, Zn, Ti, Вe и др.) или Si и В с металлами применяют для получения защитных покрытий, стойких к коррозии и коррозионно-механическому изнашиванию при нормальных и высоких температурах. Ниже рассмотрены основные способы упрочняющей ХТО.

ВИДЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)



ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

- Основные способы упрочняющего ХТО
 - Цементация
 - Высокотемпературная вакуумная цементация (ВВЦ)
 - Нитроцементация (НЦ)
 - Ионная цементация (ИЦ)
 - Азотирование
 - Борирование

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Высокотемпературная вакуумная цементация (ВВЦ) осуществляется в специальных установках при температуре 1000... 1100 °С в среде метана с двухступенчатым режимом его подачи. На первой стадии парциальное давление метана составляет 150...400 гПа; поверхность детали интенсивно насыщается углеродом до образования карбидов и выщеления сажи (углеродный потенциал достигает 100%). На второй стадии метан удаляют из камеры, что стимулирует диффузионное рассасывание углерода в слое. Время процесса существенно сокращается.

Недостатком ВВЦ являются неравномерность науглероживания деталей сложной формы из-за образования застойных зон и неравномерного выпадения сажи, укрупнение зерна и снижение механических свойств слоя и сердцевины.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Ионная цементация (ИЦ) отвечает требованиям гибкой, интенсивной и энергосберегающей технологии. Сущность ее состоит в том, что детали помещают на катод в газоразрядную камеру, через которую при небольшом расходе (до $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$) и пониженном давлении ($1,3 \dots 26 \text{ гПа}$) прокачивают углеродсодержащую газовую смесь ($\text{CH}_4 + \text{АГ} + \text{H}_2$).

Между катодом и анодом от специального источника электропитания прикладывают постоянное или пульсирующее напряжение ($400 \dots 800 \text{ В}$), которое возбуждает тлеющий разряд, ионизирующий газовую среду. Положительные ионы, разгоняясь в прикатодной области, бомбардируют поверхность деталей, очищают ее (за счет катодного распыления) от оксидов и возможных загрязнений и поставляют насыщаемый элемент. Тлеющий разряд в 3—5 раз ускоряет внешний массоперенос [μ достигает $(350 \dots 400) \cdot 10^2 \text{ см/с}$], формирует высокий углеродным потенциал у поверхности и, как следствие, высокий градиент концентрации углерода в приповерхностных слоях.

В результате ускоряется и диффузионный массоперенос; время насыщения при температуре процесса $920 \dots 950 \text{ }^\circ\text{C}$ для получения слоев толщиной $1,0 \dots 1,5 \text{ мм}$ сокращается до 2—3 ч.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Ионная цементация (ИЦ) Преимущества

- 1) высокая равномерность науглероживания и, как следствие, уменьшение деформации деталей;
- 2) гибкость управления составом газовой среды и электрическими параметрами процесса;
- 3) отсутствие внешнего и внутреннего окисления;
- 4) возможность замены специальных покрытий, в том числе медных, для защиты отдельных поверхностей от науглероживания путем установки защитных экранов (втулок, пробок и т.п.);
- 5) возможность обработки коррозионностойких сталей типа 20Х13 за счет удаления оксидной пленки на начальной стадии процесса — катодного распыления;
- 6) снижение до 80% расхода газового карбюризатора и до 50% потребления электроэнергии.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Нитроцементация (НЦ) — процесс диффузионного насыщения поверхности азотом и углеродом, осуществляемый в среде науглероживающего газа и аммиака. Этот процесс аналогичен цементации и проводится на том же оборудовании.

Продолжительность насыщения 6—7 ч. Нитроцементированный слой имеет мартенситно-аустенитную структуру, содержит 0,7...0,9% С и 0,1...0,3% N. Присутствие азота повышает износостойкость, теплостойкость, выносливость при изгибе, а также контактную долговечность. НЦ более технологична, чем цементация. При ее проведении не требуется подстуживания перед закалкой, увеличивается прокаливаемость слоя, снижаются деформация и коробление деталей.

Важное преимущество ИНЦ — отсутствие внешнего и внутреннего окисления, которое снимает ограничения на толщину диффузионного слоя и допустимую концентрацию азота.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Азотирование — насыщение легированных сталей азотом. В отличие от цементации и нитроцементации азотирование формирует слой более твердый (800...1200HV) и в 1,5—4 раза износостойкий, имеющий повышенную (до 450°С) теплостойкость и высокий уровень (600...800 МПа) остаточных сжимающих напряжений, способствующих увеличению предела выносливости гладких образцов на 25...30%, а с концентраторами напряжений — в 2 раза и более. Незначительное коробление является важным преимуществом азотирования.

Такой процесс применяют для упрочнения зубчатых колес, работающих в условиях умеренных контактных нагрузок, кулачковых и коленчатых валов, гильз цилиндров и других деталей.

Недостатки **Азотирования** - большая длительность (24...90 ч) и небольшая (0,3...0,5 мм) толщина диффузионного слоя, ограничивающая уровень контактных нагрузок.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО)

Борирование. Насыщение поверхностей бором применяют для обеспечения высокой (1500...2000HV) твердости и износостойкости. Износостойкость борированной стали 45 в 4—6 раз выше износостойкости цементованных и в 1,5—3 раза нитроцементованных сталей. Борированному слою свойственна также высокая теплостойкость (до 700 °С), окалино- стойкость (до 800 °С) и коррозионная стойкость в различных агрессивных средах.

Борирование применяют для деталей нефтяных насосов, дисков турбобура, пальцев и втулок гусеничных машин и других деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Недостатки борирования — высокая хрупкость слоя и малая его толщина (0,1...0,2 мм). Борированный слой склонен к скалыванию и имеет небольшую несущую способность. В зависимости от технологии получения борированный слой может быть однофазным, состоящим из столбчатых кристаллов борида Fe_2B (1500HV), или двухфазным ($FeB+Fe_3B$), в котором расположенные сверху кристаллы борида FeB обладают высокой (2000HV) твердостью и хрупкостью.

ДРУГИЕ ВИДЫ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

- Упрочнение обеспечивается также применением:
 - электрофизических и электрохимических методов обработки,
 - ультразвуковой,
 - электроэрозионной,
 - магнитоимпульсной,
 - электрогидравлической,
 - электроннолучевой,
 - фотоннолучевой,
 - анодно-химической,
 - электроискровой,
 - воздействием взрывной волны,
 - лазера
 - и др.