

13. Химико-термическая обработка (ХТО)

13.1 Физические основы и цели ХТО

Химико-термическая обработка по сравнению с поверхностной закалкой, например, высокочастотной, обладает некоторыми особенностями и преимуществами:

1. Независимость от внешней формы изделия. С одинаковым успехом можно обрабатывать и сложные, и простые по форме изделия, получая по всей поверхности упрочненный слой одинаковой толщины.

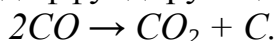
2. Большее различие между свойствами сердцевины и поверхности, чем при поверхностной закалке. При ХТО разница в свойствах определяется различием в строении и в составе, а при поверхностной закалке – только различием в строении.

3. Последствия перегрева поверхности могут быть устранены последующей ТО, тогда как при поверхностной закалке перегрев не может быть устранен, т.к. она является последней операцией.

Обычно при ХТО деталь помещают в среду, богатую элементом, который диффундирует в металл.

В случае газового окружения (наиболее частный случай) при ХТО происходят три элементарных процесса.

Первый процесс – *диссоциация*. Этот процесс состоит в распаде молекул и образования активных атомов диффундирующего элемента. Например:



Второй процесс – *абсорбция*. Происходит на границе газ-металл и состоит в поглощении (растворении) поверхностью свободных атомов.

Третий процесс – *диффузия*. Проникновение насыщающего элемента вглубь. В результате образуется диффузионный слой, на поверхности которого концентрация диффундирующего элемента наибольшая; по мере удаления от поверхности концентрация падает (**рис. 8.1**), глубина проникновения (y на **рис. 8.1**) будет представлять собой толщину слоя.

Процесс ХТО обусловлен способностью инородных атомов диффундировать по кристаллической решетки основного металла, т.е. возникновения процесса *гетеродиффузии*. В данном случае

перемещение инородных атомов происходит в направлении от мест высокой концентрации к местам низкой концентрации. Этот процесс совершается самопроизвольно, т.к. состояние с неравномерной концентрацией обладает большей свободной энергией, чем состояние с равномерным распределением растворенных атомов.

Продолжительность процесса ХТО определяется требуемой глубиной диффузионного слоя.

При постоянных параметрах процесса (температура и др.) увеличение глубины слоя (y) во времени (τ) подчиняется параболическому закону (**рис. 8.2**).

Чем больше толщина уже имеющегося слоя, тем меньше он увеличивается за одинаковый отрезок времени.

8.2. Цементация стали

Процесс цементации известен с давних пор.

При цементации происходит поверхностное насыщение стали углеродом, в результате чего получается высокоуглеродистый поверхностный слой. Так как для цементации берут низкоуглеродистую сталь, то сердцевина остается мягкой и вязкой, несмотря на то, что после цементации сталь подвергается закалке.

Различают два вида цементации: твердую и газовую.

При *твердой цементации* детали запаковывают в ящик, наполненный *карбюризатором* – науглероживающим веществом. Карбюризатором является древесный уголь с различными добавками. Процесс твердой цементации – очень продолжительная операция и занимает, в зависимости от требуемой глубины часто не один десяток часов. В среднем, для образования слоя толщиной 1 мм продолжительность твердой цементации составляет 5 часов.

Увеличение скорости цементации достигается применением цементации в газовых средах.

При газовой цементации герметически закрытая камера печи наполнена цементирующим газом. Время на прогрев ящика и карбюризатора при этом способе цементации не затрачивается, и скорость цементации возрастает тем больше, чем меньшей глубины требуется получить слой.

Цементирующими газами являются окись углерода и газообразные углеводороды – метан, этан, пропан, бутан и др.

Газовая цементация применима для массового производства, а для мелкосерийного или единичного производства экономически целесообразен более простой способ твердой цементации.

Практически цементацию проводят при 900...930 °С, но имеется тенденция повысить температуру цементации до 950...970 °С и выше. Повышение температуры цементации резко увеличивает глубину слоя (**рис. 8.3**).

Цементацию рекомендуется проводить так, чтобы содержание углерода в наружном слое не превышало 1,1...1,2 %. Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств вторичного цементита, обладающего повышенной хрупкостью.

Задача цементации – получить высокую твердость и износостойкость при вязкой сердцевине – не решается одной цементацией. Цементацией достигается лишь выгодное распределение углерода по сечению. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая закалка, при которой на поверхности получается высокоуглеродистый мартенсит, а в сердцевине сохраняется низкая твердость и высокая вязкость. Во всех случаях цементированные детали после закалки для снятия внутренних напряжений подвергаются отпуску при низкой температуре (150...200 °С). В результате такой обработки поверхность имеет твердость HRC 58...62, а сердцевина – порядка HRC 25...35.

В зависимости от требуемых конечных свойств ТО цементованных деталей может отличаться.

1. Для деталей, от которых требуется только поверхностная твердость, а остальные механические свойства не имеют большого значения, применяют закалку непосредственно с цементационного нагрева, т.е. от 900...950 °С (рис. 8.4, а).

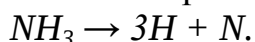
2. При повышенных требованиях к структуре и свойствам деталей последние после цементации охлаждают на воздухе, а затем подвергают закалке от 850...900 °С в зависимости от марки стали (рис. 8.4, б).

3. Для удовлетворения особо высоких требований, предъявляемых к механическим свойствам цементованных деталей, применяют двойную закалку с последующим низким отпуском (рис. 8.4, в). Первую закалку проводят при 850...900 °С, вторая – при 760...800 °С.

8.3. Азотирование стали.

Азотированием называют процесс насыщения стали азотом. Так как азотированный слой сам по себе (без последующей ТО) приобретает высокую твердость, а размеры изделий после азотирования изменяются мало, то в отличие от цементации азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную ТО (закалку с высоким отпуском) и доведенных шлифовкой до точного размера.

Азотирование обычно проводят при 500...600 °С. В железную герметически закрытый муфель, вставленный в печь, помещают детали, подвергаемые азотированию. В муфель из баллона поступает с определенной скоростью аммиак, который разлагается по реакции:



Образующийся атомарный азот диффундирует в металл. Высокая твердость азотированного слоя объясняется большой дисперсностью образующихся нитридов.

Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от ряда факторов, из которых основные: температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали. Зависимость глубины слоя от продолжительности азотирования показана на рис. 8.5. Видно, что для получения слоя толщиной, например 0,6 мм, продолжительность азотирования должна составлять 40 ч (при 550 °С). Скорость наращивания толщины слоя быстро увеличивается с повышением температуры, но возможность повышения температуры ограничена необходимостью получить при азотировании высокую твердость. Мы уже выяснили, что твердость азотированного слоя обусловлена образованием мелкодисперсных нитридов. Чем выше будет температура азотирования, тем более крупные нитриды будут образовываться и тем ниже будет твердость.

Азотирование применяют для повышения: 1) твердости и износостойкости; 2) усталостной прочности; 3) сопротивления коррозии.

8.4. Цианирование стали

Под *цианированием* понимают процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом.

Цианирование можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах. Поэтому различают твердое, жидкое и газовое цианирование (последнее иногда называют нитроцементацией).

Твердое цианирование осуществляется аналогично твердой цементации, только карбюризатор содержит цианистые соли.

Жидкое цианирование – наиболее распространенный вид цианирования стали – проводят в расплавленных цианистых солях.

Газовое цианирование осуществляется в смеси науглероживающих и азотирующих газов (например, смесь светильного газа и аммиака).

Результаты цианирования определяются глубиной слоя и концентрацией углерода и азота в поверхностном слое. На состав и свойства цианированного слоя особое влияние оказывает температура цианирования. Повышение ее увеличивает содержание углерода в слое, снижение – увеличивает содержание азота (**рис. 8.6**). Поэтому цианирование разделяют на высокотемпературное при 800...950 °С и низкотемпературное при 500...600 °С.

Низкотемпературное цианирование применяют для инструмента из быстрорежущей стали, а также для среднеуглеродистых сталей. В результате такой обработки на поверхности возникает тонкий (10...15 мкм) карбонитридный слой $Fe_3(N, C)$, обладающий хорошим сопротивлением износу и менее хрупкий, чем чистые карбиды и нитриды.

Высокотемпературное цианирование применяют для средне- и низкоуглеродистых сталей, простых углеродистых и легированных.

Более низкая температура процесса цианирования и меньшая продолжительность не приводят к росту зерна, как это бывает при цементации. Поэтому после цианирования сразу проводят закалку, в результате чего получается высокая твердость поверхности.

Существенным недостатком цианирования является то, что цианистые соли очень ядовиты. Поэтому цианирование проводят в специально выделенных помещениях, в которых строго соблюдаются правила техники безопасности.

После цианирования детали приобретают матовую красивую поверхность, поэтому цианистые ванны часто используют для придания «товарного» вида продукции. Для этого детали достаточно нагреть под закалку в цианистых ваннах без выдержки.

8.5. Диффузионная металлизация

Диффузионная металлизация – процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали различными металлами. При насыщении хромом этот процесс называется *хромирование*, алюминием – *алитирование*, кремнием – *силицирование* и т.д.

Как и при других видах ХТО, диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

Диффузия хрома, алюминия и других металлов протекает значительно медленнее, чем углерода или азота, потому что азот и углерод образуют с железом растворы внедрения, а металлы – растворы замещения. При

одинаковых температурных и временных условиях это приводит к тому, что диффузионные слои при металлизации получаются в десятки и сотни раз более тонкими, чем при цементации.

Процесс диффузионной металлизации необходимо проводить при очень высоких температурах ($1000...1200^{\circ}\text{C}$) длительное время, что приводит к его удорожанию. Только особые свойства слоя и возможность экономии легирующих элементов обусловили некоторое применение этого процесса в промышленности.

Одним из основных свойств диффузионно-металлизированной поверхности является высокая жаростойкость. Поэтому жаростойкие детали для рабочих температур до $1000...1100^{\circ}\text{C}$ изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

Исключительно высокой твердость (до HV 2000) и высоким сопротивлением абразивному износу обладают борированные слои, вследствие образования на поверхности высокотвердых боридов железа – FeB и Fe_2B ; однако борированные слои очень хрупкие.