

СТРУКТУРА СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЦЕМЕНТАЦИИ И ЗАКАЛКИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

1. Цель работы

- Изучить структуру цементованной стали.
- Изучить структуру стали после закалки токами высокой частоты.

2. Теоретическая часть

Цементация (науглероживание) - химико-термическая обработка (ХТО) заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя металла (изделия) углеродом. Цель цементации - получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя изделий с сохранением высокой вязкости их сердцевины, что достигается термической обработкой после цементации.

Обычно цементации подвергают изделия из конструкционных углеродистых и легированных сталей с низким содержанием углерода (до 0,25 %) и проводят её при температурах 900-950°C и выше, т. е. нагрев стали проводится до аустенитного состояния (выше критической точки A_{c3}) в связи с повышенной растворимостью углерода в аустените по сравнению с ферритом. С повышением температуры цементации и увеличением времени выдержки увеличивается глубина цементированного слоя. Однако при возрастании температуры сверх 950°C, вместе с ускорением процесса насыщения стали углеродом, происходит и сильный рост зерна аустенита, что нежелательно. Поэтому высокотемпературную цементацию при 980-1050°C рекомендуется применять для наследственно мелкозернистых сталей, не боящихся роста зерна аустенита при нагреве.

В зависимости от агрегатного состояния внешней среды, в которую помещают обрабатываемое изделие, различают цементацию в твердой, жидкой и газовой средах. В промышленности, в основном, применяют два вида цементации: цементацию твердым карбюризатором* и более прогрессивную - газовую цементацию.

*Карбюризатор - среда, способная обеспечить науглероживание (цементацию) металла (изделия) в данных условиях.

При цементации в твердом карбюризаторе, изделия укладывают в металлические ящики, куда засыпают древесный уголь, смешанный с 20...25 % $BaCO_3$ (для ускорения

процесса) и 3,5...5 % CaCO_3 (для предотвращения спекания частиц карбюризатора). При нагреве в печи ящиков с изделиями и карбюризатором образуется атомарный углерод, который диффундирует в сталь. Длительность такой цементации 5...24 часа.

Для газовой цементации в качестве карбюризатора используют природный газ (состоящий в основном из метана CH_4); контролируемые атмосферы, получаемые в специальных генераторах; а также жидкие углеводороды (керосин, бензол и др.), каплями подаваемые в герметичное рабочее пространство печи, где они образуют активную газовую фазу, богатую атомарным углеродом.

Газовая цементация является основным процессом при массовом производстве, а цементацию в твердом карбюризаторе используют в мелкосерийном производстве. Газовая цементация, по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе, имеет ряд преимуществ: сокращается время цементации до 3...12 часов, т. к. отсутствует малотеплопроводный твердый карбюризатор; процесс газовой цементации легко регулировать (меняя состав и расход газа) и механизировать; улучшаются условия труда; сокращается производственная площадь цеха; упрощается дальнейшая термическая обработка.

При цементации, как и при других разновидностях ХТО, одновременно протекают несколько процессов:

1. Образование в окружающей среде (или в отдельном реакционном объеме) диффундирующего элемента в атомарном (ионизированном) состоянии (*термическая диссоциация*);

2. *Адсорбция* («прилипание») атомов (ионов) на поверхность металла с образованием химических связей между ионами насыщающего элемента и основного металла;

3. *Диффузия* адсорбированных атомов от поверхности в глубь обрабатываемого металла (изделия). Термодинамической движущей силой диффузии является разница в концентрации диффундирующего элемента.

В результате протекания этих процессов химический состав поверхностного слоя меняется, образуется градиент концентраций насыщающего элемента в поверхностных и нижележащих слоях. Концентрация диффундирующего элемента уменьшается от поверхности в глубь металла (рис.1). Как следствие этого изменяется структура и свойства стали. После медленного охлаждения в структуре цементованного слоя можно различить (от поверхности к сердцевине) следующие зоны:

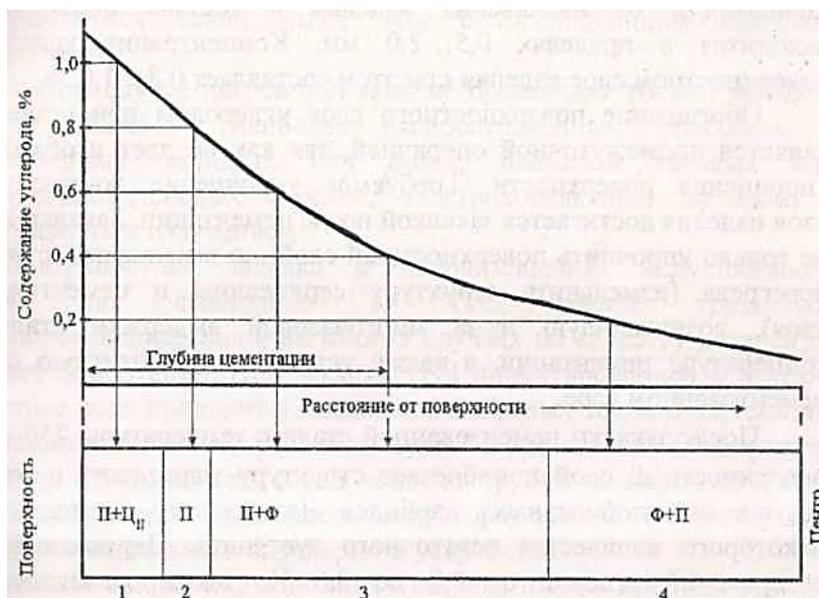


Рис. 1. Характер распределения концентрации углерода и изменение микроструктуры по зонам в образце малоуглеродистой стали после цементации:

1 - зона заэвтектоидная, 2 - зона эвтектоидная, 3 - зона доэвтектоидная, 4 - зона доэвтектоидная, соответствующая структуре исходной стали до цементации.

- 1) *заэвтектоидную*, состоящую из перлита и вторичного цементита образующего сетку по бывшему зерну аустенита;
- 2) *эвтектоидную*, состоящую из одного пластинчатого перлита, и
- 3,4) *доэвтектоидную* зону, состоящую из перлита и феррита.

Количество феррита в этой зоне непрерывно возрастает по мере приближения к сердцевине. Сердцевина будет иметь структуру исходной (до цементации) стали.

Таким образом, изучая структуру цементированной стали после медленного охлаждения, можно определить глубину цементации. За техническую глубину цементации часто принимают расстояние от поверхности до зоны, где концентрация углерода равна 0,4%, т. е. структура состоит из 50 % перлита и 50 % феррита. Глубину цементации определяют металлографически (на отожженных образцах) при увеличении 100...500X. Глубина цементации в зависимости от назначения изделия и состава стали обычно находится в пределах 0,5...2,0 мм. Концентрация углерода в поверхностном слое изделия при этом составляет 0,8... 1,0 %.

Обогащение поверхностного слоя углеродом при цементации является промежуточной операцией, так как не дает необходимого упрочнения поверхности. Требуемое упрочнение поверхностного слоя изделия достигается закалкой после цементации. Закалка должна не только упрочнить поверхностный слой, но и исправить структуру перегрева (измельчить

структуру сердцевины и цементованного слоя), возникающую из-за многочасовой выдержки стали при температуре цементации, а также устранить цементитную сетку в цементованном слое.

После закалки цементованной стали с температуры 750-780°C поверхностный слой приобретает структуру мартенсита с мелкими частицами глобулярных карбидов (вторичного цементита), и некоторого количества остаточного аустенита. Переходный слой, содержащий углерод от 0,8 до 0,6%, также закаливается на мартенсит. Зона с меньшим содержанием углерода (0,6-0,35%) воспринимает неполную закалку, т. е. в её структуре, кроме мартенсита, сохраняется некоторое количество феррита, так как при таком содержании углерода температуры 750-780°C находятся выше $A_{с2}$, но ниже $A_{с3}$. Малоуглеродистая сердцевина не принимает закалки и сохраняет феррито-перлитную структуру с небольшим количеством перлита (15-30%)¹.

Окончательной операцией термической обработки после цементации и закалки является низкий отпуск при температуре 160-180°C, уменьшающий остаточные напряжения и не снижающий твердость поверхностных слоев изделия ($HRC_3 = 58-63$)

Химико-термическая обработка стальных изделий, и в том числе цементация, является достаточно трудоемким и длительным процессом. Для получения высокой твердости и прочности в поверхностном слое детали в сочетании с вязкой сердцевиной в промышленности используют также поверхностную закалку среднеуглеродистой стали, состоящую в нагреве поверхностного слоя закаливающейся стали выше $A_{с3}$ с последующим быстрым охлаждением.

В этом случае нагрев под закалку производят токами высокой частоты (ТВЧ) - наиболее распространенным способом, в расплавленных металлах или солях, пламенем газовых или кислород-ацетиленовых горелок, электроконтактным методом, а также лазерным излучением.

Поверхностная закалка с использованием индукционного нагрева по сравнению с ХТО, менее трудоемка, высокопроизводительна и во многих случаях по качеству деталей не уступает цементации. При закалке ТВЧ индуктированное в изделие магнитное поле приводит к появлению вихревых токов и выделению джоулевого тепла в нагреваемом теле. После нагрева в индукторе (индуктор представляет собой медные трубки с циркулирующей внутри водой для охлаждения индуктора) деталь охлаждается с помощью специального спрейерного устройства.

Использование индукционного нагрева токами высокой частоты позволяет очень быстро нагреть поверхность стальной детали. Максимальная температура поверхности

¹ Если для цементации взять низкоуглеродистые легированные стали типа 12ХНЗА, 18ХГТ, 25ХРМ, 18Х2Н4НА

определяется временем пропускания тока через индуктор, а глубина прогрева - частотой тока: чем выше частота, тем меньше глубина прогрева (частота тока может быть от 50 Гц до $10^5 \dots 10^6$ Гц).

Схематически график изменения температуры по глубине детали показан на рис. 2.

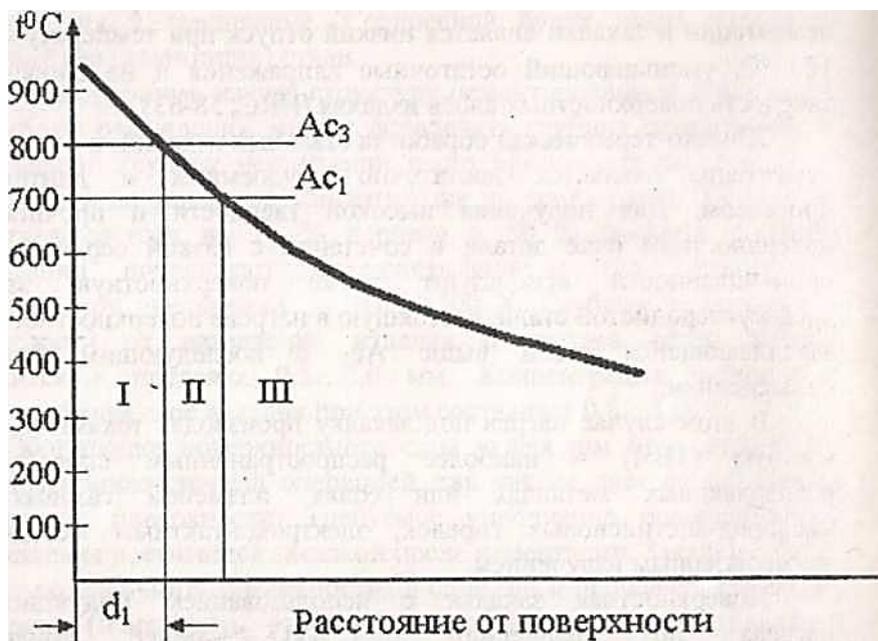


Рис. 2. Схема изменения температуры по глубине детали при нагреве ТВЧ

Если мы будем нагревать, например, сталь 45, то на глубине d_1 температура превысит A_{c3} ; под поверхностным слоем I находится второй слой, нагретый до температуры выше A_{c1} , но ниже A_{c3} . Наконец, под вторым слоем, находится слой III - сердцевина, в которой температура нагрева не достигла A_{c1} .

При последующем быстром охлаждении первый слой получит полную закалку на мартенсит. Второй слой - неполную закалку. В структуре этого слоя кроме мартенсита будет феррит, количество которого тем больше, чем дальше зона от поверхности. Третья зона - вообще не воспримет закалку и сохранит структуру исходной отожженной стали, т. е. Ф+П.

Таким образом, после закалки поверхность детали с мартенситной структурой будет иметь самую высокую твердость. По мере удаления от поверхности твердость уменьшается.

Высокая твердость мартенсита обусловлена искажениями кристаллической решетки, связанными с большими внутренними напряжениями; высокой плотностью дислокаций, различного рода границ и субграниц, затрудняющих движение дислокаций, а также возникновением фазового наклепа за счет увеличения объема при превращении аустенита в мартенсит.

3. Необходимое оборудование и материалы

1. Микроскопы металлографические.

2. Коллекции микрошлифов

а) шлиф№1 - сталь 20 после цементации и медленного охлаждения

б) шлиф№2 - сталь 20 после цементации и закалки в воде с температуры 760...780°C.

в) шлиф№3 - сталь 45 после закалки ТВЧ.

4. Порядок проведения лабораторной работы и записи результатов эксперимента

В данной работе необходимо исследовать изменение микроструктуры образцов стали 20 после цементации, цементации и закалки и стали 45 после закалки ТВЧ.

Для этого исследуемый образец поместить на предметный столик микроскопа так, чтобы под объективом оказался самый край образца. Медленно перемещая столик, изучить изменение микроструктуры по глубине образца. Результаты наблюдений занести в рабочую тетрадь, последовательно изображая схемы структур, от поверхности к центру по зонам с учетом изменения химического состава образцов №1 и 2 в ходе цементации и с учетом градиента температур в образце № 3 перед закалкой. Схемы структур зарисовать карандашом в прямоугольниках размером 30 x 120 мм с выделением 4-х характерных зон в образцах №1 и 2 в каждом и 3-х зон в образце № 3.

5. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Тему и цель работы.

2. Основные теоретические положения.

3. Рисунки.

4. Схемы структур по образцам и зонам.

5. Выводы с объяснением экспериментальных результатов в соответствии с целью работы.

6. Ответы на контрольные вопросы (устно).

6. Контрольные вопросы

1. Какая химико-термическая обработка называется цементацией?

2. Какова цель цементации?

3. Какие стали подвергают цементации?

4. При каких температурах ведут цементацию и почему?

5. Назовите разновидности цементации в зависимости от агрегатного состояния внешней среды для цементации?
6. Перечислите достоинство газовой цементации?
7. Какие основные процессы протекают при цементации?
8. Что принимают за техническую глубину цементации?
9. Почему после цементации необходима термическая обработка?
10. Что такое закалка ТВЧ?
11. Как влияют частота тока и время пропускания тока на результаты закалки ТВЧ?
12. Какие стали можно подвергать закалке ТВЧ?
13. Будут ли отличаться структуры в центре образцов № 1,2 и 3?