

Качество закалки зависит от температуры и скорости нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

Виды закалочных сред:

Группы охлаждающей среды		Разновидности охлаждающих сред
Жидкие	На основе воды	Вода Растворы неорганических соединений Растворы органических соединений Водно-масляные эмульсии Водяной туман
	На базе масел	Растительные масла Обычные минеральные масла Минеральные масла с улучшающими добавками Минеральные быстроохлаждающие масла Высокотемпературные минеральные масла
	Расплавленные соли и металлы	Охлаждающие среды на базе солей Водно-соляные охлаждающие среды Расплавленные металлы
Газовые		Воздух Нейтральные газы Смесь нейтральных и восстановительных газов Защитные атмосферы Сжатые газы
Твердые		Плиты, матрицы, формы (возможно охлаждаемые водой) Самопроизвольное охлаждение путем отвода тепла в глубь сечения

Наиболее эффективной, экономически выгодной, энергосберегающей и экологичной является газовая закалка за счёт повышения качества деталей после закалки, отсутствие необходимости дополнительной операции в виде мойки деталей (в случае закалки в масле).

УДК 621.785.5

### **Особенности определения хрупкости диффузионных борированных слоев на стали**

Студентка гр.104510 Баранова Т.Н.  
Научный руководитель – Дашкевич В.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью данной работы являлось изучение особенностей определения хрупкости диффузионных борированных слоев, систематизация данных по методикам их определения.

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения деталей машин и инструментов является борирование, позволяющее повысить твердость и износостойкость [1].

Главным недостатком боридных слоев является их повышенная хрупкость. Хрупкость борированных слоев определяется совокупностью внутренних и внешних факторов, опреде-

ляющих их формирование. К внутренним факторам можно отнести фазовый состав, марку стали обрабатываемой детали, сочетание ее состава и термической обработки с толщиной и структурой слоя, характер распределения напряжений в слое и детали. К внешним факторам относят: состав среды и температурно-временные параметры обработки.

Повышенная хрупкость выражается в склонности к образованию трещин и сколов и объясняется анизотропией свойств боридных фаз ( $FeB$  и  $Fe_2B$ ), напряженным состоянием, а также модулем упругости. Наибольшее распространение для оценки хрупкости борированных слоев получили методы определения микрохрупкости при измерении микротвердости и твердости по методу Виккерса алмазной пирамидой [2]. Позднее эти методики были распространены на твердые сплавы [3] и тугоплавкие соединения [4].

**1. Оценка балла хрупкости.** Под хрупкостью понимается свойство твердых тел разрушаться без макроскопически выраженной остаточной деформации [5].

Балл хрупкости является качественной характеристикой борированных слоев; проводится по методике оценки хрупкости, применяемой для азотированных слоев, с 4-балльной шкалой [6].

Балл хрупкости определяется по внешнему виду отпечатка алмазной пирамиды в соответствии со шкалой хрупкости, которая проводит градацию отпечатков по количеству и характеру трещин и сколов. Различают 4 балла хрупкости:

1 – нехрупкие слои без искажения формы отпечатка и без трещин;

2 – слегка хрупкие слои без существенного искажения формы отпечатка, при этом допускается образование 1-2 небольших трещин, расположенных параллельно сторонам отпечатка на некотором расстоянии или начинающихся и замыкающихся на одной стороне отпечатка;

3 – хрупкие слои, имеющие искаженные отпечатки и трещины, начинающиеся от вершин отпечатка (1 или 2 трещины), либо двойные трещины, расположенные вдоль всех сторон отпечатка, либо совокупность описанных трещин;

4 – очень хрупкие слои, имеющие множественные трещины (3-5 трещин), расположенные на значительном расстоянии вдоль всех сторон отпечатка, либо трещины, начинающиеся от всех вершин отпечатка, либо совокупность описанных трещин.

Балл 1 и 2 по этой шкале соответствует работоспособным пластичным диффузионным слоям, балл 3 соответствует недопустимой хрупкости слоев и полностью бракует деталь.

**2. Количественная оценка балла хрупкости.** Для сравнительной оценки боридной зоны может быть рекомендована методика оценки микрохрупкости с помощью микротвердомера [2]. В основу методики положено определение двух результатов:

- изменения числа отпечатков с определенными трещинами при повышении нагрузки;
- изменения числа трещин около одного отпечатка.

После нанесения отпечатков они внимательно анализируются с фиксированием характера возникшей при нагружении трещины. Затем каждому отпечатку присваивается определенный балл хрупкости в соответствии с разработанной шкалой (таблица 1). Несмотря на субъективный подход, характер образующихся трещин с высокой степенью достоверности описывает свойства хрупкого исследуемого материала.

Таблица 1 – Условная шкала оценки балла хрупкости

Балл хрупкости	Характер отпечатка
0	Без видимых трещин и сколов
1	Одна небольшая трещина
2	Одна трещина, не совпадающая с продолжением диагонали отпечатка. Две трещины в смежных углах отпечатка
3	Две трещины в противоположных углах отпечатка
4	Больше трех трещин. Один-два скола у сторон отпечатка
5	Разрушение формы отпечатка

Суммарный балл хрупкости слоя определяется по формуле:

$$Z_p = 0 \cdot n_0 + 1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + 3 \cdot n_3 + 4 \cdot n_4 + 5 \cdot n_5$$

где  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  – количество отпечатков из общего числа с определенным баллом хрупкости (0, 1, 2, 3, 4, 5).

Обычно общее число отпечатков составляет от 25 до 100.

Чтобы учесть темп нарастания упругой деформации перед хрупким разрушением с ростом нагрузки  $P$ , рассчитывают отношение приращения суммарного балла хрупкости к приращению нагрузки.

$$\Delta Z / \Delta P \approx (\partial Z / \partial P)_p$$

Зная суммарный балл хрупкости определяют условный показатель хрупкости материала (диффузионного слоя) [7]:

$$\gamma_p = Z_p \left( \frac{\partial Z}{\partial P} \right)_p$$

### 3. Относительное удлинение.

В качестве одной из оценок пластичности боридных слоев используют их склонность к отслаиванию при определении относительного удлинения [8]. Отслаивание боридного слоя в большинстве случаев начинается при общем относительном удлинении или сжатии, равном не менее 1,5 %. Двухфазные боридные слои (FeB – Fe<sub>2</sub>B) начинают отслаиваться при пластической деформации 1,5 – 3 %, а однофазные (Fe<sub>2</sub>B) при 3 – 4,5 %. Пластичность двухфазного боридного слоя составляет 2 %. С увеличением толщины слоя склонность к отслаиванию боридных слоев увеличивается [1].

**4. Испытания на возникновение трещин при изгибе.** Для дополнительной (сравнительной) оценки пластичности боридных слоев, можно также использовать методику определения предельной пластичности путем испытаний на изгиб в соответствии с ГОСТ 1419-90. Испытания на изгиб в данном случае проводят до возникновения на поверхности борированных образцов первой трещины. Сопоставляя величину нагрузки, при которой происходит возникновение первой трещины, можно провести сравнительную оценку пластичности боридных слоев, полученных при различных способах борирования.

**5. Напряжение скола.** Напряжение скола ( $\sigma_{ск}$ ) является минимальным напряжением в образце, вызывающим скол слоя. Оно является результирующим от действия напряжения среза  $\sigma_{ск}$  и напряжения отрыва  $\tau_{отр}$ .

Напряжение скола является интегральной характеристикой хрупкости слоя, самопроизвольно учитывающей физико-механические свойства самих боридов (микротвердость, модуль упругости), фазовый состав, соотношение фаз, их дисперсность и взаимное расположение в слое и на поверхности, напряженное состояние слоя и его пластичность. Чем больше величина  $\sigma_{ск}$ , тем меньше хрупкость, а значит более пластичным является слой [9]. Напряжение скола  $\sigma_{ск}$  определяется при вдавливании алмазной пирамиды на поверхность шлифа по формуле [10]:

$$\sigma_{ск} = \frac{0.174 \cdot P}{2 \cdot l^2 + c \cdot l}$$

где  $P$  — нагрузка на индентор при измерении микротвердости;

$L$  — минимальное расстояние от центра отпечатка до края образца, при котором не происходит скалывание боридного слоя;

$c$  — диагональ отпечатка

### Список использованных источников

1. Ворошнин, Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1978. – 240 с.
2. Икорникова, Н.Ю. Микротвердость / Н.Ю. Икорникова, Л.А. Пикунова – М.: Изд. АН СССР. – 1951. – С. 226 – 233.

3. Palmquist, S. // *Jernkontorets Annaler*. – Швеция: 1957. – №5 (V. 141). – P. 300-307.
4. Твердость и хрупкость металлоподобных соединений / Г.В. Самсонов [и др.] // *Физика металлов и металловедение*. – 1959. – Т. 8. Вып. 4. – С. 622-630.
5. Многоязычный толковый словарь «Металлы: Строение, Свойства, Обработка» / Под ред. проф. В.Я. Кершенбаума, проф. Б.А. Прусакова. – М.: Издательский Центр «Наука И Техника», 1999. – 710 с.
6. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
7. Глазов, В.М. Микротвердость металлов / В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович. – М.: Металлургиздат, 1962. – 224 с.
8. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенко, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин; под ред. Л.С. Ляховича – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
9. Крукович, М.Г. Разработка теоретических и прикладных аспектов управления структурой и свойствами борированных слоев и их использование при производстве транспортной техники // Дисс. докт. техн. наук. – М.: МНИТ, ВНИИЖТ, 1995. – 416 с.
10. Григоров, П.К. Методика исследования хрупкости борированного слоя / П.К. Григоров, Б.Б. Катханов // Повышение надежности и долговечности деталей машин: труды НИИТМа. – Ростов-на-Дону: 1972. – Вып. XVI. – С. 97-99.

УДК 621.78.061

### **Вакуумная термообработка металлических изделий**

Студентка гр. 104211 Шкут В.А.  
Научный руководитель – Вейник В.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Термическая обработка в вакууме и методы вакуумной плавки сегодня широко используются для создания широкого спектра материалов, получение которых невозможно никаким другим способом. При термообработке в соляных ваннах и печах с окислительной или защитной атмосферой у обрабатываемых деталей на поверхности образуется либо пленка оксидов, либо окалина. В общепромышленных электропечах достаточно тяжело контролировать деформацию и коробление деталей по целому ряду причин:

- тепловой удар из-за погружения деталей в расплав солей,
- пластическая деформация при переносе металлоизделий в закалочный бак,
- коробление, возникающее при закалке в электропечах с защитной или окислительной атмосферой.

Для решения этой проблемы стали применять вакуумные электропечи сопротивления.

Вакуумные технологии незаменимы для производства специальных сплавов, которые не могут быть получены вне вакуума или инертной атмосферы вследствие их высокой окисляемости. Контролируемая атмосфера ограничивает формирование окисных неметаллических включений в расплаве.

Вакуумная термообработка металлических изделий быстроразвивающаяся технология машиностроения. Для проведения термообработки в термическом цехе партия деталей помещается в вакуумную печь. Вакуумная печь представляет собой камеру, работающую под давлением, оснащённую теплоизоляцией и системой нагрева. После загрузки камера вакуумируется так, что воздух удаляется из камеры, т.е. нет риска окисления деталей. Детали нагреваются в вакууме или конвективно. При конвективном нагреве, инертный газ, обычно азот, при давлении до 2 бар, подаётся в камеру после вакуумирования. Путём перемешивания газа во время нагрева достигается высокая равномерность температуры в деталях и садке, что снижает возможность появления короблений. После соответствующей выдержки при