

ЗАКАЛКА СТАЛИ В ВЫБРОПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Многообразие применяемых марок сталей, изделия из которых подвергаются закалке, предъявляет все новые требования к закалочным средам. Поэтому поиски, разработки и исследования новых закалочных сред, определение границ их применения имеют важное значение в деле технического прогресса промышленности.

Изучение влияния охлаждающей способности закалочных сред на структуру и свойства сплавов представляет и значительный теоретический интерес, позволяя дополнить теорию фазовых превращений в стали новыми данными.

В практике термической обработки наиболее применимы в качестве закалочных сред вода, растворы на ее основе и минеральные масла.

Вода и ее растворы обладают высокой охлаждающей способностью, однако им свойственно слишком быстрое охлаждение в области низких температур (300–150°C) и, главное, резкое изменение охлаждающей способности в зависимости от температуры охлаждаемого изделия из-за изменения агрегатного состояния среды в процессе охлаждения в ней изделий. Коэффициент теплообмена α в воде при температуре охлаждаемого изделия 800°C равен 2000; при 400°C–4000; при 250°C – 19000; при 100°C – 3000 ккал/м²·час·°C.

Минеральные масла обладают меньшей скоростью охлаждения, во и их охлаждающая способность резко меняется в процессе охлаждения изделий в нем. Так, при температуре охлаждаемого изделия 800°C $\alpha = 500$; при 400°C – 2500; при 250°C – 650; при 100°C – 370 ккал/м²·час·°C.

В интервале мартенситного превращения в сталях, где желательно медленное охлаждение, жидкие закалочные среды обладают максимальной охлаждающей способностью. Это приводит к образованию в закалываемых изделиях больших структурных и термических напряжений.

В качестве новой закалочной среды регулируемой охлаждающей способностью в последнее время нашел применение псевдооживленный газом (кипящий) слой порошкообразных и зернистых материалов (песок,

кварц, корунд и пр.) /2,3/.

Недостатком кипящего слоя как закалочной среды является его невысокая охлаждающая способность.

Максимальное значение коэффициента теплоотдачи в кипящем слое находится в верхнем температурном интервале охлаждения при закалке и составляет $600-620 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}$, что недостаточно для закалки изделий из большинства конструкционных марок сталей /4,5/.

Вторым фактором, противодействующим широкому использованию кипящего слоя в качестве закалочной среды, является осаждение твердой фазы кипящего слоя на поверхностях деталей, имеющих значительную горизонтальную составляющую (детали с впадинами, отверстиями и т.д.). Осевшие частицы твердой фазы выполняют роль теплоизоляции, и покрытая ими поверхность остается незакаленной.

Этих недостатков в значительной мере лишен так называемый вибропсевдооживленный, т.е. псевдооживленный с помощью вибрации слой (виброслой), где интенсивное перемешивание частиц достигается вибрированием засыпки. Слой дисперсного материала (песок, корунд и пр.) загружается в сосуд, которому сообщается колебательное движение по вертикали. Частицы во время колебаний в определенные промежутки времени отрываются от дна сосуда, куда устремляется находящийся в межзеренном пространстве воздух.

Внутри слоя образуются вихри частиц и газа, создается интенсивное хаотичное движение частиц. Однородная охлаждающая среда получается при условии, когда ускорение движения частиц, получаемое от вибрации, в 2-3 раза больше ускорения силы тяжести.

Исследование коэффициента теплообмена виброслоя с металлом в интервале температур от 850 до 100°C показало, что виброслой по сравнению с кипящим слоем обладает повышенной охлаждающей способностью; коэффициент теплообмена в нем достигает $1150 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}$.

Обладая охлаждающей способностью, близкой к маслу, виброслой сохраняет преимущества кипящего слоя: линейную зависимость коэффициента теплообмена от температуры охлаждаемого изделия, возможность регулирования охлаждения в нем за счет изменения параметров вибрации (частоты и амплитуды колебания) и характеристик охлаждаемого материала.

Линейная зависимость коэффициента теплообмена при охлажде-

нии в вибростое позволяет с достаточной точностью и быстротой производить тепловые расчеты закалки в нем изделий.

Как известно, расчетная формула для определения времени охлаждения до заданной температуры имеет вид:

$$\tau = \frac{W \cdot d \cdot c}{\alpha \cdot f} \ln \frac{t' - t_{\text{ср.}}}{t'' - t_{\text{ср.}}}, \quad (6)$$

где τ - время охлаждения тела от температуры t' до t'' ;
 t' - температура тела в начале охлаждения;
 t'' - то же, в конце охлаждения;
 $t_{\text{ср.}}$ - температура охлаждающей среды;
 W - объем охлаждаемого тела;
 d - удельный вес тела;
 c - удельная теплоемкость тела;
 α - коэффициент теплоотдачи охлаждаемой среды.

При пользовании этой формулой следует допускать, что коэффициент теплоотдачи α постоянен в данном температурном интервале.

В случае охлаждения в масле (тем более в воде) зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры охлаждаемого изделия становится очень резкой в связи с изменениями агрегатного состояния закалочной среды. Поэтому усреднять величину коэффициента теплоотдачи в широком температурном интервале нельзя.

Этот интервал приходится делить по температурной шкале на множество участков, в пределах которых коэффициент теплоотдачи можно усреднять без большой погрешности. Однако дробление температурного интервала делает расчеты громоздкими, что приводит к увеличению суммарной погрешности.

В случае охлаждения в вибростое имеет место линейная зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры изделия, и коэффициент теплоотдачи изменяется незначительно. Так, для вибростоя песка с диаметром частиц 200 мкм при частоте колебаний

$f = 24$ герц и амплитуде $A = 3,0-3,5$ мм он изменяется от 650 ккал/м²·час·°C при 850°C до 500 ккал/м²·час·°C при 100°C.

Следовательно, для расчета времени охлаждения при закалке

изделий в виброслое можно брать среднее значение коэффициента теплообмена для всего интервала охлаждения. Для подтверждения этого производился расчет времени, необходимого для охлаждения цилиндрических образцов в интервале температур от 800 до 100°С¹. По полученным данным построены расчетные кривые охлаждения в виброслое и в масле (рис. I).

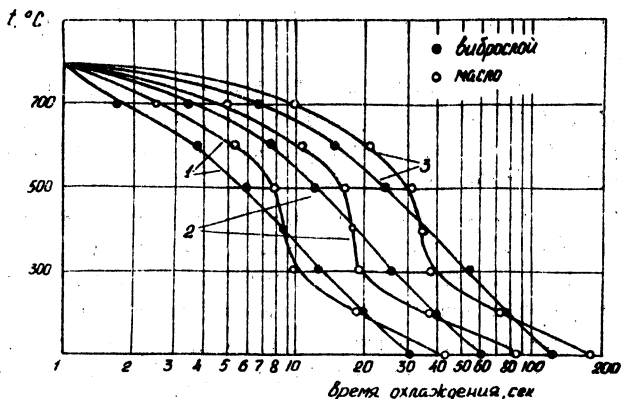


Рис. I. Расчетные кривые охлаждения в виброслое песка марки КО2 и масле стальных образцов различных диаметров: 1 - диаметр 10 мм; 2 - диаметр 20 мм; 3 - диаметр 40мм

Как видно из рис. I, рассчитанное время охлаждения в виброслое образца диаметром 10 мм от 800 до 100°С с дроблением температурного интервала на 100°С каждые, равно 30 сек. Рассчитанное по той же формуле при среднем значении коэффициента теплообмена $\alpha = 540$ ккал/м² час °С, время охлаждения $\tau = 31,08$ сек.

При охлаждении в масле усреднение коэффициента теплообмена в том же интервале охлаждения до $\alpha = 1000$ время охлаждения составит 17 сек. вместо 44 сек.

Приведенные расчетные кривые охлаждения находятся в хорошем соответствии с характеристическими кривыми охлаждения для этих сред, приведенными в работах /4,5/. Охлаждение в виброслое

¹Высота образцов равнялась трем диаметрам

происходит равномерно во всем интервале температур, охлаждение же в масле до 500°C идет медленнее, чем в виброслое, затем резко возрастает, а ниже 150°C скорость охлаждения в виброслое выше, чем в масле.

Результаты закалки образцов и деталей из сталей, калящихся на масле, подтвердили, что вибропсевдоожиженный слой может быть использован как закалочная среда, близкая по охлаждающей способности к маслу /7/.

Большой интерес представляют проведенные исследования по влиянию закалки в виброслое образцов из цементированной стали 18Х2Н4ВА /8-10/.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о значительном повышении механических свойств деталей при закалке их в виброслое: твердость цементированной поверхности образцов после закалки в виброслое на 1-2 единицы HRC выше, чем при закалке в масле; предел прочности при растяжении, относительное удлинение, сужение и ударная вязкость образцов после закалки в виброслое выше, чем эти же характеристики после закалки в масле.

Микроструктурный анализ цементированных образцов из стали 18Х2Н4ВА, закаленных в виброслое, показал, что в этом случае дисперсность структурных составляющих выше, чем при закалке в масле. Рентгеноструктурным исследованием этих же образцов установлено, что уровень напряжений сжатия, глубина их распространения, а также напряжения II рода в образцах, закаленных в виброслое, значительно выше, чем у закаленных в масле /8,10/.

Положительное влияние закалки в виброслое на структуру и свойства цементированной стали 18Х2Н4ВА позволили применить виброслой в качестве закалочной среды для закалки тяжело нагруженных зубчатых колес.

Сравнительные стендовые испытания шестерен из стали 18Х2Н4ВА, закаленных в масле и виброслое, показали значительное повышение усталостной прочности зубьев шестерен, закаленных в виброслое.

Л и т е р а т у р а

1. П е т р а ш Л. В. Закалочные среды. Машигиз, М., 1959.
2. В а р ы г и н н. Н. МИТОМ, № 6, 1961.
3. А н т и ф е е в В. А. и др. "Вестник машиностроения", № 5, 1966.
4. В а с и л ь е в Л. А. и др. В сб. "Новое в технологии машиностроения", ч. II, НИЦ МТЗ, Минск, 1967.
5. К а л ь т м а н И. И., В а с и л ь е в Л. А. и др. Труды СКБ-3 Минавтопрома, вып. I, 1967.
6. Н е м ч и н с к и й А. Л. Тепловые расчеты термической обработки. Судпромгиз, М., 1955.
7. Т а м а р и н А. И., К а л ь т м а н И. И., В а с и л ь е в Л. А. МИТОМ, № 3, 1968.
8. В а с и л ь е в Л. А., Т о ф п е н е ц Р. Л. "Изв. АН БССР", № 3, 1970.
9. В а с и л ь е в Л. А., В а с и л ь е в а Л. А. МИТОМ, № 7, 1972.
10. В а с и л ь е в Л. А. МИТОМ, № 2, 1973.