

Условия формирования слоев	Микротвердость Н <sub>μ</sub>		Износ, мг/см <sup>2</sup>
	боридная звтектика	стальная составляю- щая борид- ного слоя	
Сталь 45. Поверхностно не упрочняе- мая (закалка при 820 °С + отпуск при 200 °С)	—	650	900
Сталь 45. Поверхностно-легирован- ная в литом состоянии	700	300	300
Сталь 45. Поверхностно-легирован- ная после закалки при 820 °С	1100	700	150
Сталь 5ХНМ. Поверхностно не упроч- ненная (закалка при 860 °С + отпуск при 480 °С)	—	480	400
Сталь 5ХНМ. Поверхностно-легиро- ванная в литом состоянии	800	400	150
Сталь 5ХНМ. Поверхностно-легиро- ванная после закалки при 860 °С	1300	800	80
Сталь 5ХНМ. Поверхностно-легиро- ванная (закалка при 860 °С + отпуск при 250 °С)	1250	800	80
Сталь 5ХНМ. Поверхностно-легиро- ванная (закалка при 860 °С + отпуск при 480 °С)	1100	700	100
Сталь 5ХНМ. Поверхностно-легиро- ванная (закалка при 860 °С + отпуск при 650 °С)	900	400	150

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б е л ь с к и й Е.И., С и т к е в и ч М.Б., Р о г о в В.А. Диффузионное упрочне-  
ние стальных изделий из обмазок в условиях печного нагрева. — Изв. вузов. Черная ме-  
таллургия, 1980, № 5, с. 116—119. 2. Б е л ь с к и й Е.И., С и т к е в и ч М.В., Т р а й -  
м а к Н.С. Упрочнение литых и деформированных инструментальных сталей. — Мн.: На-  
ука и техника, 1982. — 280 с. 3. Г р и г о р о в П.К., К а т х а н о в Б.Б. Методика опре-  
деления хрупкости борированного слоя. — В сб. трудов НИИТМАШ: Повышение надеж-  
ности и долговечности деталей машин. Вып. XVI. Ростов н/Д, 1972, с. 97—98.

УДК 621.785.52

М.В. СИТКЕВИЧ, В.А. СТЕФАНОВИЧ, С.Л. ЗАЯЦ

### ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА БОРИРОВАННЫХ СЛОЕВ

В последнее время в производственную практику все шире внедряются  
новые прогрессивные методы изготовления технологической оснастки, по-  
зволяющей в значительной степени сократить затраты, уменьшить расход  
дефицитной инструментальной стали, повысить стойкость инструмента. К

таким методам в первую очередь относится производство технологической оснастки методами точного литья.

Диффузионное упрочнение литого инструмента является существенным резервом повышения их стойкости. Наиболее эффективное повышение износостойкости технологической оснастки обеспечивает процесс борирования. При этом борирование весьма рационально осуществлять с помощью обмазок, разработанных на кафедре "Материаловедение и литейное производство" Белорусского политехнического института, которые позволяют проводить химико-термическую обработку во время нагрева под закалку в окислительной печной среде без использования специального оборудования.

Однако в настоящее время в литературе практически не имеется сведений об использовании химико-термической обработки применительно к литым сталям, которые имеют специфическую структуру, в результате чего и диффузионные процессы в них протекают несколько иначе, чем в деформированных сталях.

Так, литая заготовка имеет, как правило, три характерные зоны: 1) мелкодисперсных кристаллов; 2) столбчатых дендритов; 3) крупных равноосных зерен. Между этими зонами да и в самих зонах наблюдается перераспределение углерода и легирующих элементов (прямая и обратная, зональная и дендритная ликвации) [2].

Следует отметить, что изменяя параметры кристаллизации, можно регулировать размеры зон и зерен, уровень ликваций, степень текстурованности.

Для установления влияния литой структуры на закономерности формирования и свойства диффузионных слоев на основе боридов железа были использованы образцы стали 5ХНМ, полученные в результате литья в металлический кокиль, цирконовую керамическую форму и керамическую форму, подогретую до 300–400 °С.

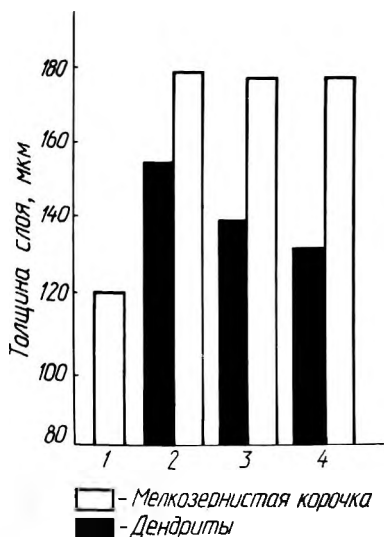
Металлографический анализ образцов показал, что толщина мелкодисперсной зоны находится в пределах 0,8–1,5 мм, а зоны дендритов более 50 мм, причем междендритное расстояние у всех образцов различное: наименьшее при литье в кокиль, наибольшее при литье в подогретую форму. Наибольший интерес представляют данные по закономерностям формирования и свойствам боридных слоев в мелкозернистой зоне и на дендритах.

Химико-термическую обработку проводили в электрической печи при 880 °С в течение 4 ч в обмазке на основе порошковой смеси следующего состава: 58 %  $V_4C$  + 2 %  $V_2O_3$  + 35 % железной окалины + 5 % NaF. Обмазку наносили слоем не менее 5 мм.

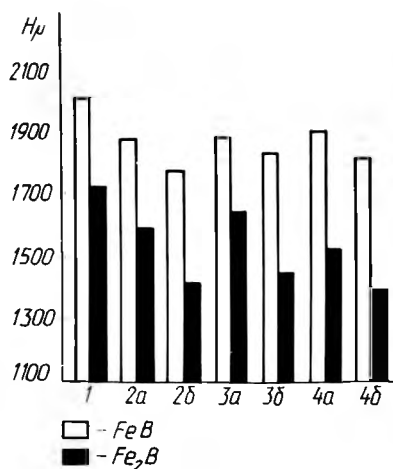
Влияние условий кристаллизации на толщину слоя представлено на рис. 1. Как видно из рисунка, на литых сталях формируются диффузионные боридные слои в 1,1–1,5 раза более глубокие, чем на деформированной. Причем наиболее развитые слои получаются на мелкозернистой корочке и их толщина практически не зависит от условий кристаллизации. Несколько меньше толщина боридных слоев в зоне, где исходная структура имела дендритное строение. Причем чем выше дисперсность дендритов, тем больше толщина боридного слоя. Так, на образцах, отлитых в металлический кокиль, толщина боридного покрытия в дендритной зоне составляет 154 мкм, в то время как на образцах, отлитых в подогретую форму, — 134 мкм.

Такое влияние условий кристаллизации на толщину боридного слоя, оче-

видно, можно связать с перераспределением легирующих элементов в процессе кристаллизации, а также обезуглероживанием тонкого поверхностного слоя отливки. Кроме того, литой металл, как показывают исследования, имеет множество дефектов кристаллического строения. Все это оказывает существенное влияние на коэффициент диффузии бора.



Р и с. 1. Влияние исходной структуры стали 5ХНМ на толщину боридного слоя ( $t = 880^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 4$  ч): 1 — деформированная; 2 — литье в кокиль; 3 — литье в циркониевую керамическую форму; 4 — литье в подогретую форму

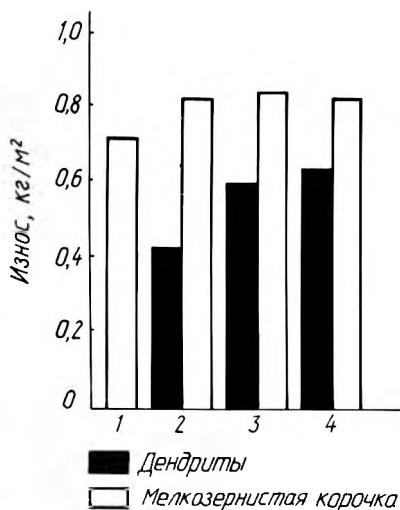


Р и с. 2. Влияние исходной структуры стали 5ХНМ на твердость боридных фаз ( $t = 880^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 4$  ч): 1 — деформированная; 2 — литье в кокиль; 3 — литье в циркониевую керамическую форму; 4 — литье в подогретую форму; а — зона мелкозернистых кристаллов; б — зона дендритов

Дюрометрические исследования выполнялись на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н. Для разделения фаз боридного слоя применялось цветное травление в щелочном растворе пикриновой кислоты при  $35\text{--}40^\circ\text{C}$ . При этом фаза  $\text{Fe}_2\text{B}$  окрашивалась в желтый, а  $\text{FeB}$  — в коричневый цвета. Результаты исследований представлены на рис. 2. Твердость боридных фаз, полученных на литой стали, имеет несколько меньшее значение, чем на деформированной. Эта разница особенно существенна, если боридный слой получен на мелкозернистой корочке. Причем условия кристаллизации практически не оказывают существенного влияния на твердость боридных фаз. Снижение твердости боридов, полученных на литых сталях, очевидно, связано с меньшей степенью их легирования, а также с изменением напряженного состояния между боридным слоем и матрицей.

Испытания на изнашивание проводили по следующей схеме: три образца зажатых в оправке скользят по диску (контртело) под давлением 5,0 МПа и скорости 0,42 м/с. Результаты испытаний представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, боридные слои, полученные на дендритной зоне литой стали, имеют в 1,2–1,7 раз большую износостойкость, чем в случае борирования дефор-

мированных образцов. Причем наибольшую износостойкость имеют боридные слои, полученные на дендритах сталей, отлитых в кокиль. Металлографический анализ показал, что они обладают ярко выраженной игольчатостью, которая обеспечивает большее сцепление боридного слоя с матрицей. В связи с этим в процессе изнашивания происходит его меньшее выкрашивание



Р и с. 3. Влияние исходной структуры стали 5ХНМ на износостойкость боридного слоя (путь трения – 1 км):

1 – деформированная; 2 – литье в кокиль; 3 – литье в цирконовую керамическую форму; 4 – литье в подогретую форму

Наиболее низкая износостойкость у боридных слоев, полученных на мелкозернистой корочке, причем она не зависит от условий кристаллизации. Повышенный их износ, очевидно, можно объяснить их меньшей легированностью.

В результате исследований установлено, что состояние исходной структуры (в данном случае литой) оказывает существенное влияние на закономерности формирования и свойства боридных слоев. Так, на литых сталях формируются диффузионные слои в 1,1–1,5 раз более толстые, чем на деформированной. Причем толщина боридного покрытия существенно зависит от условий кристаллизации литой стали. Износостойкость боридных слоев, полученных на образцах с дендритной структурой, в 1,2–1,7 раза выше, чем слоев, полученных на деформированной стали.

УДК 621.785.52:067.5:668

Л.Г.ВОРОШНИН, С.В.ПОБЕРЕЖНЬ

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНЕСЕНИЯ КАРБИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СПЛАВА Т15К6

Использование неперетачиваемого твердосплавного режущего инструмента без нанесения износостойких защитных покрытий (карбидных, нитридных, боридных и др.) недопустимо.

Покрытия наносятся на инструмент различными методами. На специали: