

Рисунок 1 – Схема одноэлектродной печи ЭШП

По принципу формирования слитка различают кристаллизаторы-изложницы, короткие подвижные и комбинированные (для фасонных отливок).

Первый тип упрощает конструкцию печи ЭШП, поскольку слиток длиной  $L_c$  наплавляют в неподвижном кристаллизаторе. Для этого длина кокиля равна:

$$L_k = L_c + H_{шл} + \Delta l,$$

где  $\Delta l$ — конструктивный размер для размещения системы охлаждения.

Для получения отливок большей длины используются подвижные кристаллизаторы. В этом случае печи ЭШП оснащаются специальными механизмами перемещения.

Использование в конструкциях водоохлаждаемых кристаллизаторов материалов с высокой теплопроводностью (медь, хромистая бронза) обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла, что способствует формированию его мелкозернистой структуры с относительно равномерным распределением первичных карбидов и высоких эксплуатационных свойств инструментального материала.

УДК 669.14.018.252

### **Модифицирование быстрорежущей стали Р6М5Л наноструктурированным диборидом титана**

Студенты гр. 104318 Ермак А.Н., Степутенко А.А.  
 Научные руководители – Рудницкий Ф.И., Николайчик Ю.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В последние годы мировая наука предлагает различным отраслям промышленности, в том числе и металлургии, нанотехнологии и наноматериалы, что позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства изделий.

Основываясь на результатах, полученных в предыдущих исследованиях, целью данной работы является попытка улучшения структуры и повышения эксплуатационных свойств быстрорежущих сталей путем введения в расплав наноструктурированного диборида титана. Титан выбран, как один из элементов, наиболее эффективно повышающих ударную вязкость

литой стали, бор использован с целью повышения твердости, теплостойкости и устойчивости против истирания. То есть задачей исследования является повышение, как ударной вязкости, так и износостойкости инструментальной стали.

Диборид титана в наноструктурированном виде вводили в печь с расплавленной сталью методом продувки его через футерованную фурму инертным газом (аргоном) после полного раскисления стали. Твердость образцов определяли непосредственно в литом состоянии, после отжига, закалки и отпуска. Ударную вязкость и износостойкость изучали после полной термической обработки. Микроструктура исследуемых образцов, приведенная на рисунке 1, свидетельствуют о том, что в результате наномодифицирования измельчается первичное зерно, сетка ледебуритной эвтектики разрывается, эвтектика приобретает тонкое строение и располагается в виде изолированных колоний. Эвтектическая составляющая по морфологическому типу скелетообразная, что характерно для борсодержащей быстрорежущей стали. Однако механизм разрушения экспериментальной стали близок к механизму разрушения стали, модифицированной титаном – внутризеренный. На поверхностях разрушения экспериментальной стали, модифицированной наноструктурированным диборидом титана (рисунок 1, б), отсутствуют фасетки скола, присутствующие на фрактограммах борсодержащей стали. Напротив, в поверхностях разрушения наномодифицированной стали преобладает ямочный микрорельеф, что свидетельствует о высокой энергоемкости такого механизма и повышенной ударной вязкости образцов.

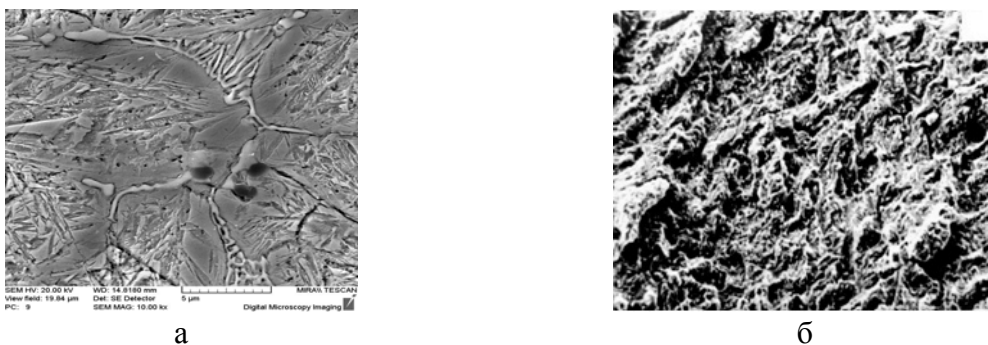


Рисунок 1 – Микроструктура (а) и поверхность разрушения (б) литой быстрорежущей стали Р6М5Л, модифицированной наноструктурированными добавками диборида титана

В результате проведенных исследований установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах оказывает заметное влияние на морфологию структуры литой быстрорежущей стали, приводит к измельчению зерна (в 1,5 – 2 раза), раздроблению эвтектики, уменьшению количества неметаллических включений (в 1,5 – 2,5 раз) за счет инокулирующего, поверхностно-активного и рафинирующего воздействия и также за счет микролегирующего эффекта – образования карбоборидов, обладающих высокой твердостью. При этом повышается ударная вязкость в 1,2 – 1,3 раза, теплостойкость литой стали на 1 – 1,5 НРС и износостойкость в 1,5 раза.

### Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф.И. Влияние модифицирования на структуру и свойства литых вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей. // МиТОМ 1989. №2. С.27-32.
2. Рудницкий Ф.И., Хараев Ю.П. Применение растровой электронной микроскопии и микроанализа для исследования механизма модифицирования быстрорежущих сталей // Тез. докл 3 ей республ. научн.-техн. конф. «Применение электронной микроскопии в науке и технике» 29-30 октября 1991. БелНИНТИ Госплана БССР.- Минск, 1991.- С. 85.