



УДК 669.187.56.002.6

# УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ВЫПЛАВКЕ С ИНОКУЛЯТОРАМИ

В. С. Попов, И. М. Билоник, С. П. Бережный, А. Е. Капустян

Показано, что метод электрошлаковой выплавки с вводом инокюляторов в жидкую металлическую ванну позволяет значительно повысить дисперсность структуры и механические свойства литых инструментальных сталей. Изучено влияние размера и количества вводимых инокюляторов на структуру и свойства литых сталей Р6М5 и Х12М электрошлаковой выплавки.

It is shown that the method of electroslag melting with adding of inoculators into molten metal pool allows increase greatly the dispersity of structure and mechanical properties of cast tool steels. The effect of size and amount of added inoculators on structure and properties of cast steels R6M5 and Kh12M of the electroslag melting was studied.

**Ключевые слова:** электрошлаковый металл; инокюлятор; структура металла; механические свойства

Свойства литых инструментальных сталей самым существенным образом зависят от размера литого зерна и дисперсности карбидной сетки, что определяется условиями процесса кристаллизации [1]. Одним из наиболее эффективных способов управления параметрами первичной кристаллизации сталей и сплавов является ввод инокюляторов (гранул) в жидкий металл во время разливки [2].

Цель настоящей работы — исследование возможности диспергирования структуры и повышения механических свойств литых сталей типа Х12 и Р6М5, выплавляемых электрошлаковым методом, путем обработки жидкой металлической ванны инокюляторами.

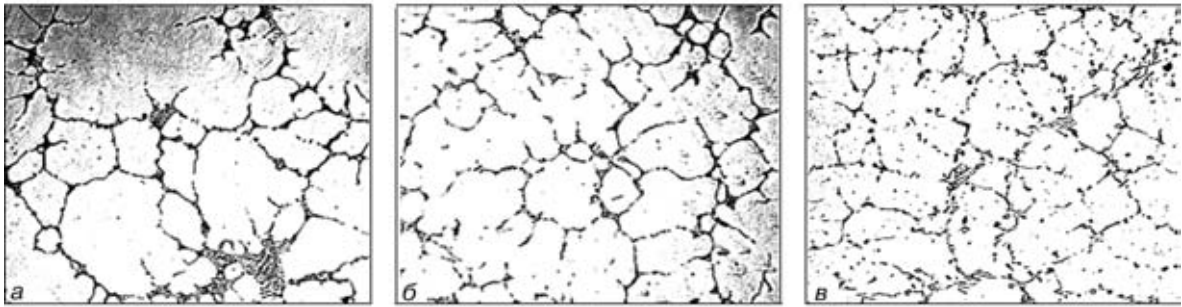
Максимальное диспергирование структуры литых сталей можно получить в том случае, когда вводимые инокюляторы полностью расплавляются в металле [3]. Согласно данным работы [4] полностью расплавляются в металлической ванне инокюляторы радиусом до 1 мм. При этом вводить гранулы в расплав необходимо с относительно малой скоростью [5].

Электрошлаковую выплавку (ЭШВ) опытных образцов из сталей Х12М и Р6М5 проводили на установке А-550 в кристаллизаторе диаметром 55 мм с использованием флюса АНФ-6. В соответствии с приведенными выше данными при ЭШВ отливок диаметром 55 мм целесообразно применять обработку жидкой металлической ванны гранулами радиусом до 1 мм с начальной скоростью их ввода в шлаковую ванну 0,1... 0,2 м/с. Для полноты эксперимента и определения оптимальных размеров гранул применяли инокюляторы двух типоразмеров — 0,5 и 1,0 мм. Химический состав гранул полностью соответствовал химическому составу сталей марок Р6М5 и Х12М. Гранулы вводили в расплав засыпкой на шлак с помощью специального дозатора. Расход гранул варьировали в пределах 5... 30 % от массы расплавляемого расходоуемого электрода.

Электрошлаковую выплавку (ЭШВ) опытных образцов из сталей Х12М и Р6М5 проводили на установке А-550 в кристаллизаторе диаметром 55 мм с использованием флюса АНФ-6. В соответствии с приведенными выше данными при ЭШВ отливок диаметром 55 мм целесообразно применять обработку жидкой металлической ванны гранулами радиусом до 1 мм с начальной скоростью их ввода в шлаковую ванну 0,1... 0,2 м/с. Для полноты эксперимента и определения оптимальных размеров гранул применяли инокюляторы двух типоразмеров — 0,5 и 1,0 мм. Химический состав гранул полностью соответствовал химическому составу сталей марок Р6М5 и Х12М. Гранулы вводили в расплав засыпкой на шлак с помощью специального дозатора. Расход гранул варьировали в пределах 5... 30 % от массы расплавляемого расходоуемого электрода.

## Влияние расхода инокюляторов при ЭШВ на структуру отливок стали Р6М5

Вариант технологии	Радиус инокюлятора, мм	Диаметр ячеек карбидной сетки		Ширина скоплений эвтектики, мм	
		Среднее значение, мм	Балл зерна по ГОСТ 5639-82	Среднее значение	Среднее из максимальных значений на площади 1 мм <sup>2</sup>
ЭШВ		0,15	2	0,055	0,060
ЭШВ с вводом 5 % инокюляторов	0,5	0,15	2	0,054	0,060
	1,0	0,14	2	0,052	0,057
То же 10 % инокюляторов	0,5	0,14	2	0,053	0,058
	1,0	0,10	3	0,048	0,050
То же 25 % инокюляторов	0,5	0,12	3	0,046	0,050
	1,0	0,08	4	0,032	0,035



Микроструктура (X200) отливок стали Р6М5, полученных ЭШВ по обычной технологии (а) и с вводом 10 % (б) и 25 % (в) инокуляторов от массы расплавляемого расходуемого электрода

Исследование микроструктуры образцов, полученных ЭШВ по обычной технологии и с вводом инокуляторов, показало заметное влияние размера гранул и их расхода на геометрические параметры карбидной сетки. Так, при использовании гранул радиусами 0,5 и 1,0 мм и их расходе 20... 25 % от массы расплавляемого расходуемого электрода диаметр ячеек карбидной сетки литых сталей Р6М5 и Х12М максимально уменьшается в среднем в 1,25–1,35 и 1,9–2,0 раза, а ширина скоплений эвтектики — в 1,16–1,23 и 1,65–1,7 раза соответственно по сравнению с аналогичными структурными параметрами отливок ЭШВ без добавки гранул (таблица). При расходе гранул 4... 6 % от массы расплавляемого расходуемого электрода заметных изменений в структуре металла не происходит. Эффект воздействия на строение карбидной эвтектики при расходе гранул 8... 10 % от массы расплавляемого расходуемого электрода наблюдается только в случае ввода гранул радиусом 1,0 мм. В частности, диаметр ячеек карбидной сетки уменьшается в 1,45–1,5 раза, а ширина скоплений эвтектики — в 1,15–1,2 раза. Различное влияние инокуляторов радиусами 0,5 и 1,0 мм при их одинаковом массовом расходе на микроструктуру металла отливок связано с тем, что инокулятор меньшего размера, проходя через шлаковую ванну, прогревается по всему сечению и оплаивается быстрее. Вследствие этого снижается возможность переохлаждения металла на границе жидкой и твердой фаз и увеличивается количество центров и скорость кристаллизации металла. Расход гранул радиусами 0,5 и 1,0 мм более 30 % от массы расплавляемого расходуемого электрода приводит к нестабильному протеканию процесса электрошлаковой выплавки из-за неполного расплавления гранул и «вмораживания» их в литой металл.

Структура металла образцов стали Р6М5, выплавленных по обычной технологии ЭШВ, весьма разнородна, характерны широкие скопления карбидной эвтектики (рис. а). При введении инокуляторов структура электрошлакового металла становится более однородной и дисперсной — измельчается зерно и уменьшается ширина скоплений эвтектики (рис. б). При вводе гранул порядка 25 % от массы расплавляемого расходуемого электрода

все зерна имеют почти одинаковый размер, практически отсутствуют скопления эвтектики (рис. в).

Механические свойства литых сталей Х12М и Р6М5 после обычного ЭШВ и с вводом инокуляторов радиусом 1,0 мм определяли после стандартной термической обработки. Твердость литых сталей Р6М5 и Х12М ЭШВ с введением инокуляторов повысилась в среднем на 2... 4 HRC, а ударная вязкость и предел прочности увеличились в 1,2–1,3 и 1,3–1,4 раза соответственно по сравнению с такими же свойствами сталей Р6М5 и Х12М, полученных традиционным способом ЭШВ, что является следствием диспергирования литой структуры.

Таким образом, ввод инокуляторов в жидкую металлическую ванну при ЭШВ инструментальных сталей положительно влияет на структуру и механические свойства металла. В сталях Р6М5 и Х12М, обработанных инокуляторами, снижается разнородность и уменьшаются размеры скоплений эвтектики: ширина скоплений эвтектики уменьшается в 1,65–1,7 раза, диаметр ячеек карбидной сетки — в 2,0 раза. Повышаются механические свойства металла — твердость на 1... 5 HRC, ударная вязкость и предел прочности в 1,2–1,3 и 1,3–1,4 раза соответственно по сравнению с отливками, выплавленными без добавок гранул.

1. *Электрошлаковый металл* / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев.: Наук. думка, 1981. — 680 с.
2. *Затуловский С. С., Кириевский Б. А., Аленкевич А. В.* Влияние суспензионного литья на структуру, технологические и механические свойства углеродистой стали // Новые методы упрочнения литых сплавов. — Киев.: ИПЛ АН УССР, 1977. — С. 167–175.
3. *Цыкуленко А. К., Скрипник В. П., Нагаевский В. И.* Исследование эффективности ввода макрохолодильников в процессе электрошлаковой выплавки горизонтальных слитков. — Электрошлаковая технология. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 72–75.
4. *К выбору* размеров сферических макрохолодильников, взаимодействующих с расплавом металла / В. И. Нагаевский, А. К. Цыкуленко, В. С. Кошман, А. Д. Чепурной // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1986. — № 2. — С. 8–10.
5. *Численное моделирование движения и нагрева макрохолодильников в шлаковой ванне* / В. Ф. Демченко, А. К. Цыкуленко, А. Н. Барышев, В. П. Андреев // Автомат. сварка. — 1984. — № 9. — С. 24–28.

Запорожский национальный технический ун-т

Поступила 27.11.2003