

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДОБАВОК ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ ОТХОДОВ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Л. В. Судник<sup>1</sup>, Ф. И. Рудницкий<sup>2</sup>, К. Ф. Рудницкий<sup>1</sup>, Ю. А. Николайчик<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством»,  
ул. Платонова, 12б, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: lsudnik@tut.by

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
e-mail: stl\_minsk@tut.by

Поступила 09.08.2017 г.

*В работе рассмотрены вопросы влияния наноструктурированных добавок на процессы формирования структуры и физико-механических свойств быстрорежущих сталей в процессе рециклинга металлоотходов.*

**Введение.** Альтернативой используемой сейчас технологии изготовления режущего инструмента является технология производства литого инструмента. Обладающая рядом достоинств, несвойственных сложившейся технологической схеме изготовления инструмента, и лишенная многих ее недостатков, литейная технология предоставляет широчайшие возможности в области регулирования технологических, эксплуатационных и экономических характеристик инструмента.

При использовании литейной технологии появляется возможность переплава отходов инструментального производства (инструментальный лом, стружка, немерные отходы проката, металлоабразивный шлам) и предотвращается потеря ценных легирующих элементов при сбросе отходов в отвалы или смешивании их с ломом углеродистой стали.

Форма литых заготовок максимально приближена к форме готового инструмента, что значительно снижает металлоемкость продукции и объем работ по механической обработке заготовок. С применением точных методов литья можно получать заготовки, не требующие черновой механической обработки, а подвергаемые только шлифованию и затачиванию режущих кромок. В некоторых случаях возможно получение литого инструмента, подвергаемого сокращенному циклу термической обработки или не требующего ее вовсе.

**Материалы и методы исследований.** В результате большого количества реакций, проте-

кающих в процессе кристаллизации, для структуры литой быстрорежущей стали характерно одновременное существование следующих структурных составляющих:  $\delta$ -эвтектоида, аустенита или продуктов его распада и ледебуритной эвтектики (рис. 1).

Наличие ледебуритной эвтектики в значительной степени определяет физикомеханические и эксплуатационные свойства инструмента из литой стали – обеспечивает высокую износостойкость, но способствует повышенной хрупкости, располагаясь вокруг первичных зерен в виде сетки. Поэтому при разработке технологии получения литых заготовок первостепенной задачей является достижение таких условий охлаждения, при которых формируется разорванная сетка эвтектических карбидов в виде локальных участков (колоний). В этом случае сохранится

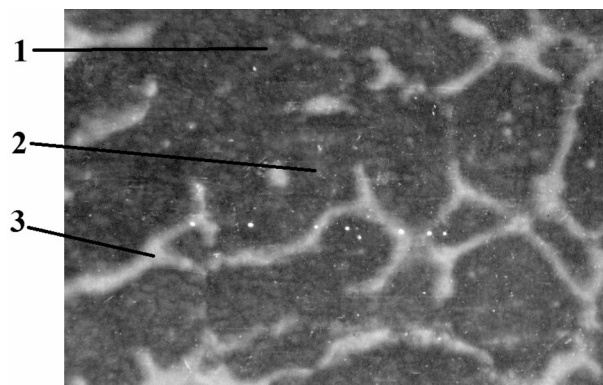


Рис. 1. Микроструктура стали P6M5, полученной литьем в металлическую форму ( $\times 1000$ ): 1 –  $\delta$ -эвтектоид; 2 – мартенсит; 3 – ледебуритная эвтектика



ственно веерообразная или пластинчатая на базе карбидов  $M_2C$  и  $M_6C$ . В некоторых участках присутствуют карбиды MC в виде тонких сплошных пластин. По описанию структура образцов, полученных в данном эксперименте, полностью соответствует структуре стали данного состава (0,8–0,88 % C, 3,8–4,3 % Cr; 5,5–6,5 % W; 4,5–5,5 % Mo, 1,87–2,1 % V), кристаллизующейся в условиях скоростей охлаждения 1–2 °C/c на стадии затвердевания, обеспечиваемых теплоаккумулирующей способностью формы из химически твердеющих смесей.

Микроструктуры образцов стали аналогичного состава (рис. 3), модифицированной наноструктурированным диборидом титана, свидетельствуют об изменении условий кристаллизации под воздействием модификаторов и формировании иного распределения структурных составляющих. В частности сетка эвтектики разрывается, ледебурит локализуется в отдельных

участках. Появляются колонии эвтектики скелетообразного морфологического типа, характерные для стали P18 или борсодержащей стали. В центре первичных зерен фиксируются карбиды типа MC (VC, TiC). Сами первичные зерна более мелкие, преимущественно округлой формы. Изменение характера распределения структурных составляющих, а именно появление карбоборидной эвтектики по границам первичных зерен и карбидов на базе титана внутри них свидетельствует о том, что внутриформенные методы модифицирования могут быть использованы в технологических процессах получения заготовок литого режущего инструмента и технологической оснастки.

**Результаты исследований.** На основании проведенных исследований и опытных плавов инструментальных быстрорежущих сталей установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими

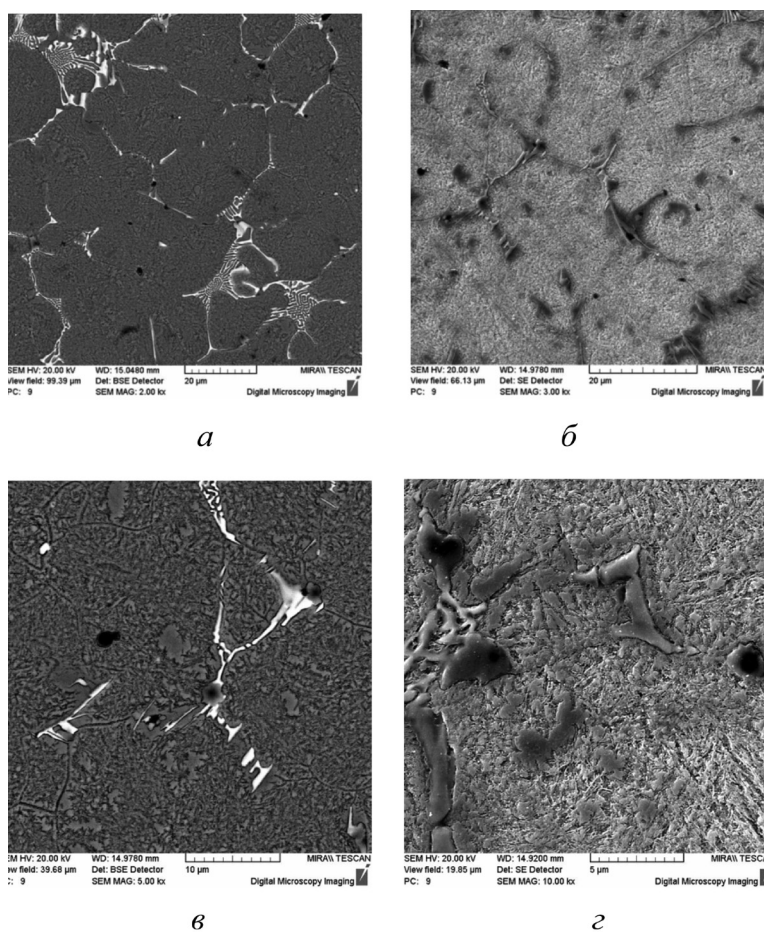


Рис. 3. Микроструктура образцов стали P6M5, модифицированной наноструктурированным диборидом титана: а, б –  $\times 250$ ; в –  $\times 500$ ; г –  $\times 1000$

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. При

этом повышается ударная вязкость в 1,2–1,3 раза и теплостойкость литой стали на 1–1,5 HRC.

**Заключение.** Показана целесообразность оптимизации состава наномодифицирующего комплекса не только по свойствам стали, но и по стойкости литого инструмента. Определен состав наномодифицирующего комплекса, повышающий стойкость инструмента в 1,2–1,3 раза.

### Литература

1. Чаус, А. С. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей / А. С. Чаус, Ф. И. Рудницкий, М. Мургаш // МиТОМ. – 1997. – № 2. – С. 9–11.
2. Рудницкий, Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали / Ф. И. Рудницкий // Литьё и металлургия. – 2006. – № 2, Ч. 2. – С. 173–177.

### APPLICATION OF NANOSTRUCTURED ADDITIVES IN RECYCLING OF HIGH-SPEED STEEL WASTES

L.V. Sudnik<sup>1</sup>, F. I. Rudnitski<sup>2</sup>, K. F. Rudnitski<sup>1</sup>, Y. A. Nikolaichik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Impulse Processes with Pilot Plant, Minsk, Belarus, e-mail: lsudnik@tut.by*

<sup>2</sup>*Belarusian national technical university, Minsk, Belarus, e-mail: stl\_minsk@tut.by.*

*The paper deals the influence of powder materials on the structure and physico-mechanical properties of the high-rapid steel.*