

Приведены результаты исследования влияния внешнего одноосевого статического давления при спекании карбидовольфрамового твердого сплава VN20 на никелевой связке (80% WC + 20% Ni) на усадку и плотность в зависимости от режимов предварительного спекания.

Ключевые слова: твердый сплав, давление, усадка, плотность, спекание, температура.

**THE RESEARCH RESULTS OF INFLUENCE CONDITIONS OF SINTERING
OF VN20 (80% WC + 20 % WT. NI) HARD ALLOY IN VACUUM UNDER EXTERNAL
UNIAXIAL STATIC PRESSURE ON ITS SHRINKAGE AND DENSITY**

The research results of influence of external uniaxial static pressure during sintering of VN20 (80% WC + 20% Ni) tungsten carbide hard alloy with nickel binder on changes of structural and some physical and mechanical properties in dependence of the regime preliminary sintering were presented.

Key words: hard alloy, pressure, shrinkage, density, sintering, temperature.

Література

1. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
2. Бондаренко В. П., Юрчук Н. А. Спекание твердого сплава BK15 под действием сжимающего напряжения // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: сб. науч тр – К. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005.– Вып 8. – С. 249–255.
3. Ермоленко Н. Ф., Эфрос М. Д. Регулирование пористой структуры оксидных адсорбентов и катализаторов. – Минск: Наука и техника, 1971. – 285 с.
4. Дымов А. М. Технический анализ (Методы определения содержания элементов). – М. Металлургия, 1964. – С. 31–51.

Надійшла 29.05.17

УДК 669.14.018.252.3

Л. В. Судник, д-р техн. наук¹; Ф. И. Рудницкий, канд. техн. наук²; К. Ф. Рудницкий¹;
Ю.А. Николайчик, канд. техн. наук²

¹ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РЕЖУЩИХ ВСТАВОК РЕЗЦОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ МАШИН**

Рассмотрены вопросы влияния модифицирования наноструктурированными материалами на структуру и физико-механические свойства быстрорежущих сталей для изготовления режущих вставок резцов горнодобывающих машин.

Ключевые слова: сплав, модифицирование, структура.

Пути развития машиностроения в целом и инструментального производства в частности лежат в области использования последних достижений науки, широкого внедрения более совершенных – материало- и энергосберегающих технологий на всех стадиях

производства. Вместе с тем применяемая в настоящее время, технология изготовления режущего инструмента из проката или поковок не позволяет в полной мере решать поставленные перед производством задачи. Так, размеры заготовок при изготовлении инструмента из проката или поковок в 1,5–2 раза превышают размеры готового изделия, а потери металла при механической обработке достигают 70–75% массы заготовки. При этом технологический цикл производства инструмента включает значительное количество операций связанных с потерями металла и расходом энергии – изготовление, обдирка и отжиг слитка, ковка с многократным нагревом (что сопровождается обезуглероживанием поверхностного слоя заготовки, выгоранием легирующих элементов, окалинообразованием).

Альтернативой используемой технологии изготовления режущего инструмента является технология производства литого инструмента. Обладающая рядом достоинств, не свойственных 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. При использовании 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, подвергнутого сокращенному циклу термической обработки или не требующего ее вовсе.

Однако несмотря на перечисленные преимущества, литейную технологию изготовления инструмента широко не применяют. Это связано со сложившимся мнением о литой быстрорежущей стали как материале хрупком и ненадежном, структуру и свойства которого можно улучшить лишь деформированием при высокой температуре, т. е. ковкой или прокаткой.

В ряде случаев такое мнение формируется в связи с отсутствием глубоких знаний о формировании структуры литых заготовок при различных методах литья, необходимого опыта, использованием недостаточно рациональных технологических приемов при изготовлении заготовок, не позволяющих в полной мере обеспечить преимущества литой структуры.

Повышенное внимание к формированию первичной структуры важно потому, что сформировавшаяся в результате кристаллизации структура наследуется и после термической обработки [1].

Важнейшим технологическим приемом управления структурообразованием литых инструментальных сталей, обеспечивающим высокую эффективность инструмента, является модифицирование расплава добавками различных элементов [2].

Под модифицированием в широком смысле понимают любое воздействие на кристаллизующийся расплав, приводящее к изменению условий кристаллизации и, следовательно, конечной структуры сплава. Чаще всего, несмотря на большое разнообразие методов воздействия на расплав, под модифицированием понимают введение в расплав

особых добавок – модификаторов. Это связано с тем, что остальные методы слишком сложны в организации в производственных условиях, а потому ограничены в применении. Модифицирование направлено на решение ряда задач:

- измельчение макрозерна;
- измельчение микрозерна (дендритных ячеек);
- измельчение фазовых составляющих эвтектик, перитектик, в том числе хрупких и легкоплавких фаз (с изменением их состава путем введения присадок, образующих с этими фазами химические соединения);
- измельчение и глобулизация неметаллических включений (карбидов, оксидов, сульфидов и пр.).

Иногда к модифицированию относят рафинирование и микролегирование, поскольку наряду с воздействием на структуру малые добавки многих элементов снижают содержание газов, вредных примесей (десульфурация и дефосфорация стали), играют роль раскислителей, изменяют механические, технологические и другие свойства сплавов [3].

В последние годы в качестве эффективных модифицирующих добавок при изготовлении инструмента из быстрорежущих сталей используют наноструктурированные добавки порошка вольфрама, карбида вольфрама и диборида титана. Указанные добавки, обладая размерами входящих в их состав конгломератов, близкими к размерам формирующихся в расплаве кластеров, позволяют эффективно управлять кристаллизацией стали, изменяя длительность протекания перитектической реакции и оказывая избирательное действие на ее структуру [4]. В результате избирательного действия модификаторов обеспечивается возможность уменьшения доли эвтектической составляющей, формирующейся в виде отдельных колоний, а не сетки по границам зерен, изменения морфологии эвтектики от скелетной к более пластичной стержневой.

Микроструктуры образцов немодифицированной стали Р6М5 базового состава приведены на рис. 1.

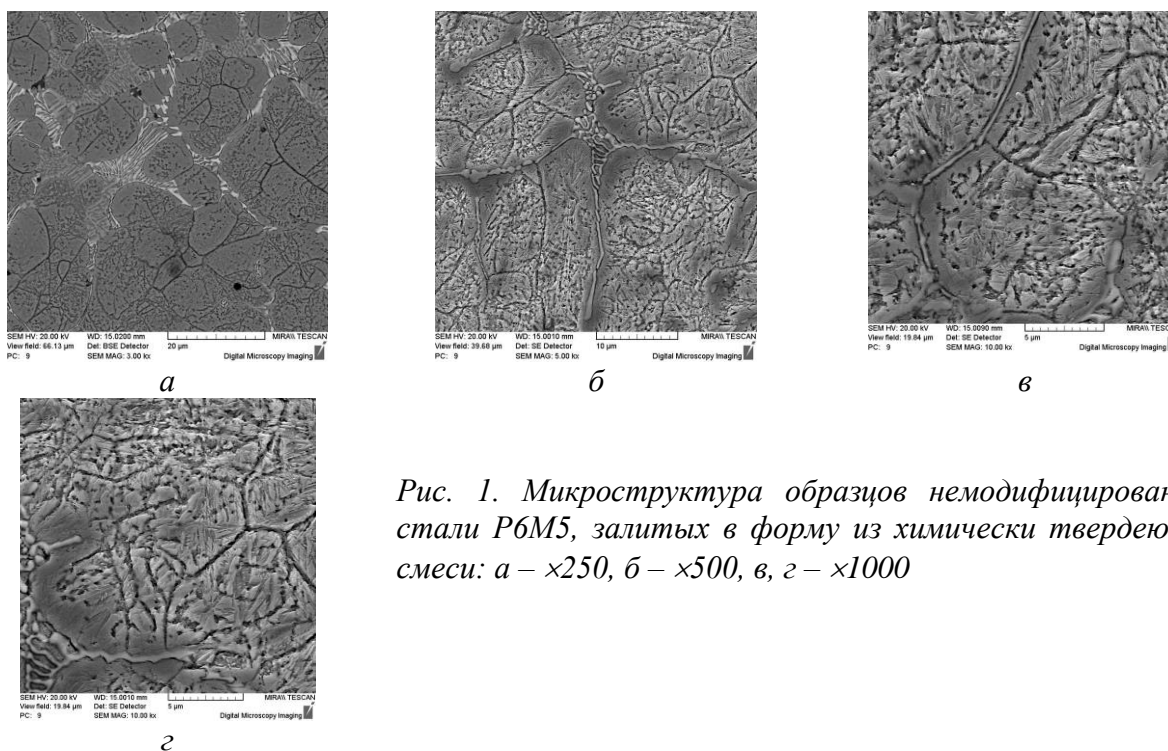
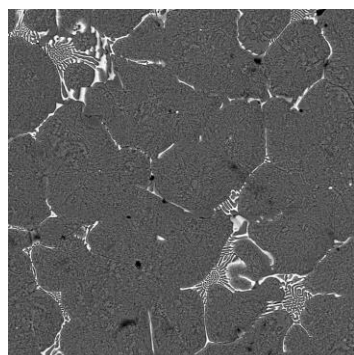
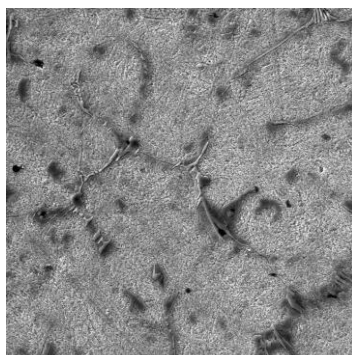


Рис. 1. Микроструктура образцов немодифицированной стали Р6М5, залитых в форму из химически твердеющей смеси: а – $\times 250$, б – $\times 500$, в, з – $\times 1000$

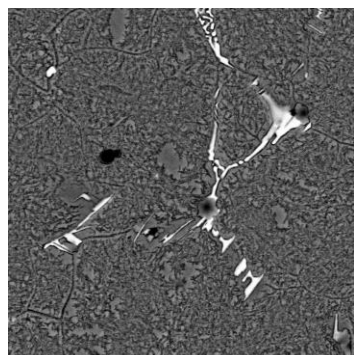
Для структуры стали характерно наличие непрерывной сетки ледебуритной эвтектики по границам первичных зерен. По морфологическому строению эвтектика преимущественно веерообразная или пластинчатая на базе карбидов M_2C и M_6C , в некоторых участках присутствуют карбиды MC в виде тонких сплошных пластин. По описанию структура образцов, полученных в этом эксперименте полностью, соответствует структуре стали этого



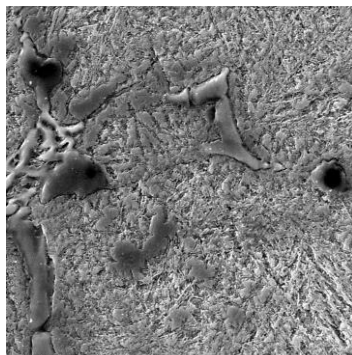
а



б



в



г

Рис. 2. Микроструктура образцов стали Р6М5, модифицированной наноструктурированным диборидом титана, залитых в форму из химически твердеющей смеси: а – $\times 250$, б – $\times 500$, в, г – $\times 1000$

карбиды типа MC (VC , TiC). 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 используют в технологических процессах получения заготовок литого режущего инструмента и технологической оснастки.

Результаты микроструктурного анализа образцов стали Р6М5 показали, что внутриформенное модифицирование позволяет обеспечить доставку модифицирующих компонентов в расплав, необходимое распределение структурных составляющих и, следовательно, изменение физико-механических и эксплуатационных свойств сплава.

состава (0,8–0,88% С; 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 град/с на стадии затвердевания, обеспечиваемых теплоаккумулирующей способностью формы из химически твердеющих смесей. Микроструктуры образцов стали аналогичного состава (рис. 2), 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 Р18 или борсодержащей стали. В центре первичных зерен фиксируются

В результате модифицирующего действия, несмотря на наличие в стали до 6% вольфрама, существенно изменяются свойства быстрорежущей стали после полной термической обработки (см. таблицу).

Свойства экспериментальных сталей

Сталь / плавка	Твердость, HRC	Теплостойкость ¹ , HRC	Интенсивность изнашивания ² , ×10 ⁶ кг/ч	Ударная вязкость, МДж/м ²
P6M5 0	63,5	60,0	84	0,050
FeW(0,1) 1/1	64,5	60,0	58	0,090
FeW(0,3) 1/2	64,0	60,5	58	0,070
FeW(0,6) 1/3	64,0	60,5	52	0,065
WC (0,1) 2/1	64,0	60,0	62	0,095
WC (0,3) 2/2	64,0	60,0	59	0,105
WC (0,6) 2/3	64,5	60,0	53	0,085
Wп (0,3) 3/2	63,0	60,5	53	0,070
Wп (0,6) 3/3	63,5	61,0	59	0,075
Wс (0,1) 4/1	64,0	60,0	51	0,100
Wс (0,3) 4/2	63,5	60,5	59	0,110
Wс (0,6) 4/3	64,0	61,0	52	0,080

Примечания: 1. Теплостойкость определяли измерением твердости при комнатной температуре после дополнительного отпуска при температуре 620°C в течение 4 ч.

2. Износостойкость определяли измерением интенсивности изнашивания при сухом трении образца о стальной диск диаметром 0,05 м и толщиной 0,003 м из стали 65 при нагрузке 100 Н и скорости вращения диска 880 об/мин (2,3 м/с).

Практическое апробование полученных результатов исследований помимо режущего инструмента осуществляли при изготовлении режущих вставок резцов РКС и ДВ-22 горнодобывающих машин (рис. 3, 4).



Рис.3. Фото резца РКС



Рис. 4. Фото расположения резцов на роторе комбайна

Для изготовления резцов использовали литые заготовки диаметром 8 мм и длиной 200 мм. Из каждой заготовки путем токарной обработки получали семь вставок. Заготовки получали литьем в стопочные формы из стержневой химически твердеющей смеси. Для приготовления смеси применяли следующие материалы:

- песок формовочный марок (1) (K₁) (O₁; O₂; O₃) (02; 025) по ГОСТ 2138;
- связующее.

Песок применяли с содержанием влаги не более 0,2%, температурой от 5 до 25 °С, глинистой составляющей не более 0,21%, концентрацией водородных ионов водной вытяжки (рН) 6,5–7,5.

В качестве связующего применяли фенолформальдегидную смолу, в качестве катализатора – ортофосфорную кислоту.

Плавку металла осуществляли в индукционной печи ИТПЭ-0,16 с кислой футеровкой. Для модифицирования расплава использовали ферротитан и наноструктурированный диборид титана.

Выводы

На основании исследований и опытных плавок инструментальных быстрорежущих сталей установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах существенно влияет 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 ударная вязкость повышается в 1,2–1,3 раза и теплостойкость литой стали – на 1–1,5 HRC.

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

Установлено, что несмотря на наличие в составе быстрорежущей стали Р6М5 вольфрама (около 6%) при дополнительном введении этого элемента в небольших количествах 0,1–0,6% проявляется избирательный модифицирующий эффект, заключающийся в увеличении продолжительности протекания перитектической реакции, измельчении первичного зерна, изменении состава эвтектических карбидов и морфологии эвтектики, повышении ударной вязкости и износостойкости стали. Твердость и теплостойкость повышены на 0,5 HRC, ударная вязкость – на 0,02 МДж/м², износостойкость – на 36%. С введением порошка карбида вольфрама также повышаются свойства стали (твердость – на 0,5 HRC, износостойкость – на 30%), особенно ударная вязкость – до 0,105 МДж/м².

Результаты исследований с положительным результатом апробованы в производственных условиях предприятия ОАО «Беларуськалий» при изготовлении 5000 режущих вставок резцов РКС.

Розглянуто питання впливу модифікування Наноструктуровані матеріалами на структуру і фізико-механічні властивості швидкорізальних сталей для виготовлення ріжучих вставок різців гірничодобувних машин.

***Ключові слова:** сплав, модифікування, структура.*

MODIFICATION OF HIGH SPEED STEELS BY NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR MANUFACTURE CUTTING INSERTS CUTTERS OF MINING MACHINES

The paper deals the influence of nanostructured materials on the structure and physico-mechanical properties of high speed steels for manufacture of cutting inserts cutters of mining machines.

Key words: alloy, modification, structure

Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И., Мургащ М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МиТОМ. – 1997. – № 2. – С. 9-11.
2. Рудницкий Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литьё и металлургия. – 2006. – № 2. – Ч. 2. – С. 173–177.
3. Гаврилин И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000.– 260 с.
4. Рудницкий Ф. И. Николайчик Ю. А., Ермак А. Н. О возможности избирательного модифицирования быстрорежущей стали // Литье и металлургия. – 2014. – № 1. – С. 50–55.

Поступила 01.09.16

УДК 621.357.6:621.9:537.811

Д. Ю. Ушаповський, канд. техн. наук¹, **О. В. Лінючева**, д-р техн. наук,¹ **Р. М. Редько**¹;
В. І. Лавріненко д-р техн. наук², **Ю. П. Ушаповський**²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»

²Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ МЕТАЛУ ПРИ ЕЛЕКТРОФОРМУВАННІ МЕТАЛ-КОМПОЗИЦІЙНИХ ШАРІВ

Змодельовано процес електроформування мідних осадів товщиною до 100 мкм. Показано можливість досягнення рівномірного профілю осаду з перепадом товщини до 1 мкм шляхом екранування у процесі електросадження виступаючого краю катоду дворівневим екраном. Отриманий результат можна використовувати при створенні високоточного правлячого алмазного інструменту.

Ключові слова: гальванопластика, правлячий алмазний інструмент, рівномірність розподілу металу.

При виробництві правлячого алмазного інструменту, який застосовується для точної розмірної обробки деталей машин, виготовлених з високоміцних металевих сплавів, та різних конструктивних елементів з металокераміки використовують алмази з характерними розмірами $n \cdot 100$ мкм. Використання алмазів таких розмірів передбачає за гальванопластичного способу виробництва нарощування великих (кілька сотень мікрометрів) метал-композиційних шарів.

Гальванопластичне формування робочої поверхні інструментів здійснюється в електрохімічній комірниці з розчином електроліту, що містить іони осажденного металу, катодом якої є відповідний алмазний інструмент, а анодом найчастіше пластина з осадженого