

УДК 620.171.3

А.П. Стovпченко, В.М. Кондратенко, А.М. Головачев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ ПО МЕТОДУ «ЖИДКИЙ СЭНДВИЧ»

Анотація. Представлено технологію виробництва композитної швидкорізальної сталі з розбавленням внутрішнього шару в рідкому стані конструкційної сталлю з метою економії легуючих елементів. Металургійними методами дослідження структурних складових показано переваги даної композитної швидкорізальної сталі перед швидкорізальною сталлю, отриманою традиційним способом.

Ключові слова. Композитна швидкорізальна сталь, наружний шар, розбавлення, легуючі елементи, карбіди елементів, властивості внутрішнього шару, зливок.

Аннотация. Представлена технология производства композитной быстрорежущей стали с разбавлением внутреннего слоя в жидком состоянии конструкционной сталью с целью экономии легирующих элементов. Металлургическими методами исследования структурных составляющих показаны преимущества данной композитной быстрорежущей стали перед быстрорежущей сталью, полученной традиционным способом.

Ключевые слова.

Композитная быстрорежущая сталь, наружный слой, разбавление, легирующие элементы, карбиды элементов, свойства внутреннего слоя, слиток.

Annotation. The technology of production composite high speed steel with diluted of interior liquid layer by structural steel for economy of ligature has been present. Advantages of offer composite high speed steel over basic high speed steel has been present.

Keywords. Composite high-speed steel, the outer layer, dilution, ligature, carbides of elements, interior liquid layer, ingot.

Введение

Металлургия - одна из наиболее ресурсо и энергозатратных отраслей и, следовательно, одновременно с решением задач улучшения потребительских свойств насущным является экономное использование ресурсов, в том числе дефицитных легирующих элементов, а также снижение числа технологических операций.

В машиностроении и металлообработке высокие служебные свойства и экономичность инструмента (определеные сталью и технологией ее изготовления) позволяют обеспечить конкурентоспособность деталей, уменьшить трудоемкость процесса их изготовления. Широко распространенные в практике резания метала быстрорежущие инструментальные стали содержат большое количество легирующих элементов (в наиболее распространенной марке Р6Мб доля их составляет 16 – 18,5%). Выделение мелкодисперсных карбидов вольфрама, молибдена, ванадия и хрома придает быстрорежущей стали сочетание высоких значений твердости (64-65 HRC), теплостойкости (873 – 923 K), прочности ($\sigma_{v,изг} \sim 3000-3500$ МПа) и ударной вязкости (КС~0,3-0,4 МДж/м²). Комплекс этих свойств обеспечивает присущие современным технологиям металлообработки скорости резания, однако большое содержание легирующих обуславливает высокую стоимость стали.

Аналіз сортамента і существующих metallургических способов производства быстрорежущих сталей показывает перспективность получения композитных слитков для изготовления инструмента. Создание композитных слитков со слоями, имеющими различный химический состав и свойства, является весьма рациональным способом, поскольку зачастую продуктивно используется только рабочий слой режущего инструмента и изготавливать все изделие из высоколегированной стали не экономично.

Методика и результаты опытно-промышленного опробования технологии получения композитных слитков

Технология по способу «жидкий сэндвич» [1, 2], предусматривающая образование композитного двухслойного слитка путем последовательной заливки в изложницу через заданный интервал времени двух расплавов различного состава (рис. 1) позволяет снизить в осевой части слитка содержание дорогостоящих легирующих элементов (молибдена, ванадия, вольфрама, хрома и др.) и обеспечить высокие механические и эксплуатационные свойства продукции [3].

Композитный быстрорежущий слиток изготовлены путем его отливки в изложницу, массой 3,6 тонны, сталью Р6М5 до уровня разъема прибыльной надставки, кристаллизации стали в течение 8 минут и доливки сверху стали 40Х.

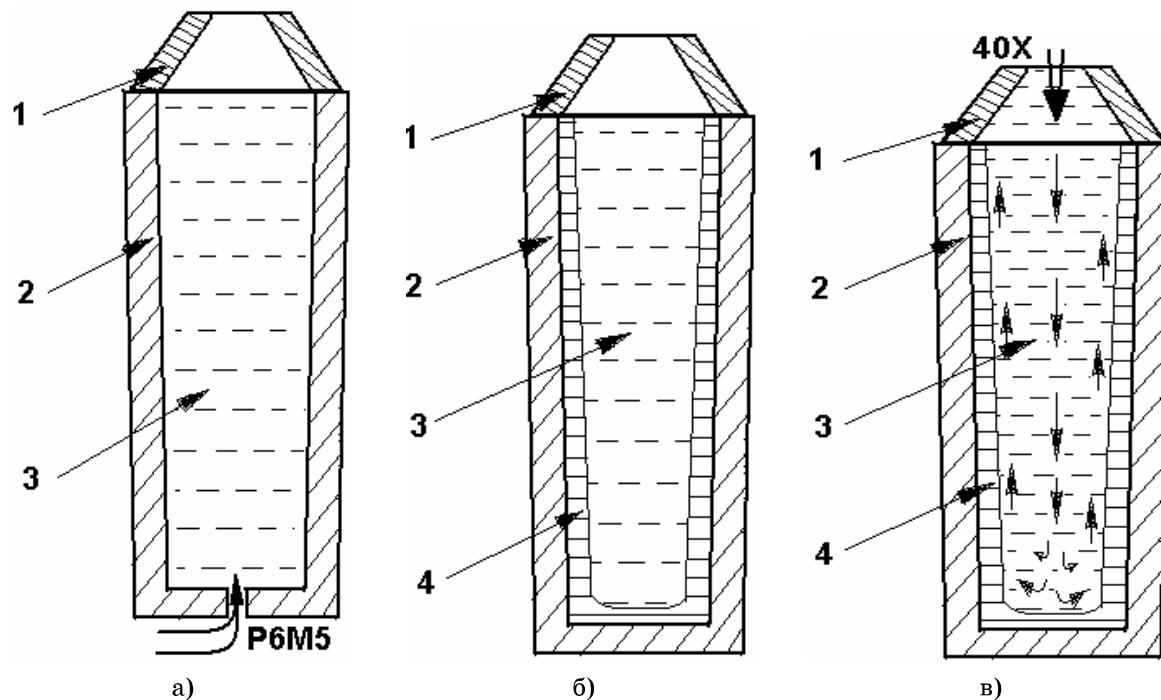


Рисунок 1 – Стадии получения композитного слитка быстрорежущей стали:

1 – прибыльная надставка; 2 – изложница; 3 – жидкий металл;

4 – зона закристаллизовавшегося металла.

а – заливка стали Р6М5; б – частично закристаллизованная сталь Р6М5;

в – долив стали ст. 40Х и формирование внутреннего слоя при смешении жидкых объемов двух сталей

За счет кинетической энергии струи происходит перемешивание с исходным металлом, и формирование внутреннего слоя композита, состав которого определяется соотношением объемов прибыльной части слитка и жидкойстью с учетом исходных составов сливаемых расплавов. При этом соединение слоев с разным содержанием легирующих элементов происходит в жидком состоянии, что обеспечивает их надёжное сплавление, не уступающее по прочности монолитному материалу.

Благодаря большой кинетической энергии и более высокой температуре поступающий металл, возможно, частично оплавляет и замешивает в смешивающихся жидких объемах растущие дендриты основного металла, которые могут являться центрами кристаллизации, что способствует ускорению затвердевания слитка.

Исследования металлургического качества композитной быстрорежущей стали

Подсадочная рыхлость, пузыри, включения, расслоения и трещины отсутствуют как в зоне соединения слоев, так и в целом по сечению слитка, а деформация прошла с удовлетворительным сохранением отношения линейных размеров слоев (табл. 1).

Для оценки качества композитной быстрорежущей стали, изготовленной по предлагаемой технологии, выполнен химический анализ, приведены исследования механических свойств и металлографического анализа структуры.

Таблица 1

Изменение толщины наружного слоя от диаметра проката

Диаметр проката, мм	Толщина наружного слоя, мм	Отношение наружного слоя к внутреннему, %
14	0,66 – 1,0	4,71 – 7,14
22	1,49 – 2,57	6,77 – 11,68
23	1,25 – 1,5	5,43 – 6,52
55	5	9,09
85	10	11,76
105	11	10,48

С целью подтверждения наличия слоев с различным содержанием легирующих в поперечном и продольном сечении, выполнен химический анализ (рис. 2).

В то же время, из-за возможного развития ликвационных процессов при кристаллизации композитного слитка, наблюдается некоторое колебание химического состава преимущественно внутреннего слоя. Количество легирующих элементов внутреннего слоя может достигать их содержания в поверхностном слое. При этом, однако, возможна некоторая ошибка, заключающаяся в методике определения химического состава. Наружный слой композитного слитка полностью соответствует требованиям ГОСТ 19265 по содержанию легирующих элементов в стали Р6М5.

Граница раздела поверхностного и внутреннего слоев в структуре заготовки является слабо выраженной и выявляется металлографическими методами (рис. 3).



Рисунок 3 – Общий вид поперечного сечения многослойного проката быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 14 мм (4x)

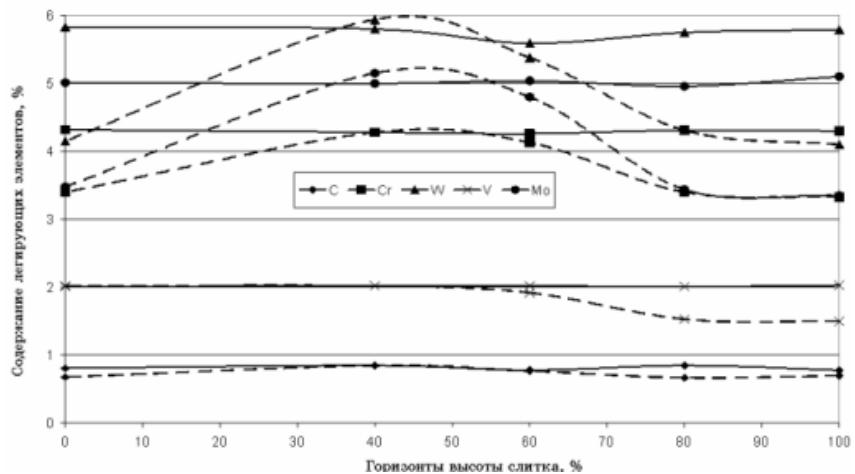


Рисунок 2 – Хімічний склад сталі Р6М5
— – – - поверхністний слой, - - - - внутрішній слой

Исследовали структуру композитной быстрорежущей стали в отожженном и отпущенном состоянии. Отожженная структура поверхностного и внутреннего слоев характеризуется наличием как крупных, так и мелких округлых карбидных включений, образовавшихся из ледебуритной сетки, раздробленной при ковке (рис. 4).

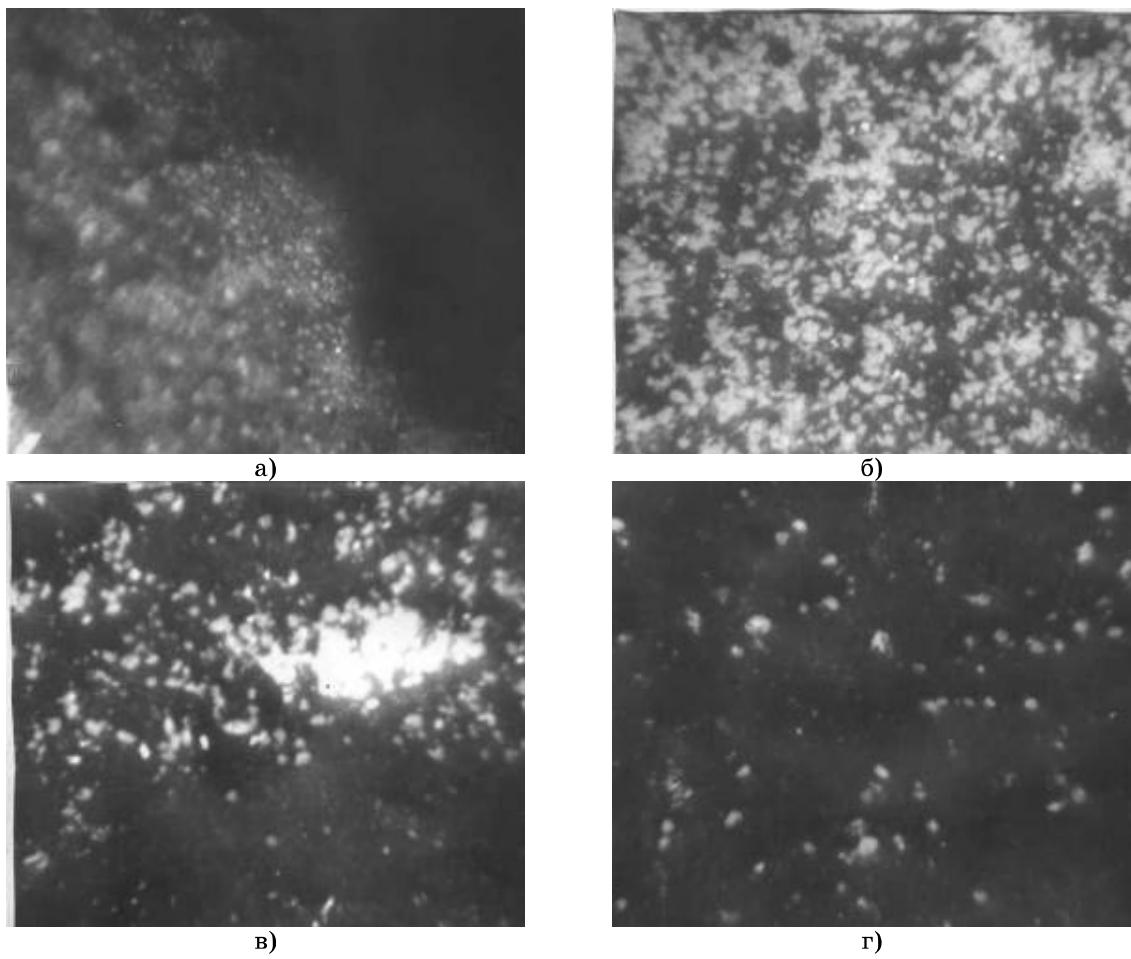


Рисунок 4 – Мікроструктура горячекатаного образца, x100.
а – поверхністний обезуглерожений слой; б – поверхністний слой;
в – переходна зона; г – внутрішній слой

В процесі закалки, заключаючоїся для сталі Р6М5 в нагріві до температури 1230 °С і двохмінутної відстиковки, карбиди повнотою або частично розчиняються в аустеніті. Отпуск при 550 °С сприяє виделенню спеціальних карбідів – Me_6C і MeC з мартенситу. Одновременно з цим правильний многократний отпуск уменьшує устойчивость остаточного аустеніту, що сприяє більшому його перетворенню в мартенсит з виделенням малих кристаллів карбіда (рис. 5).

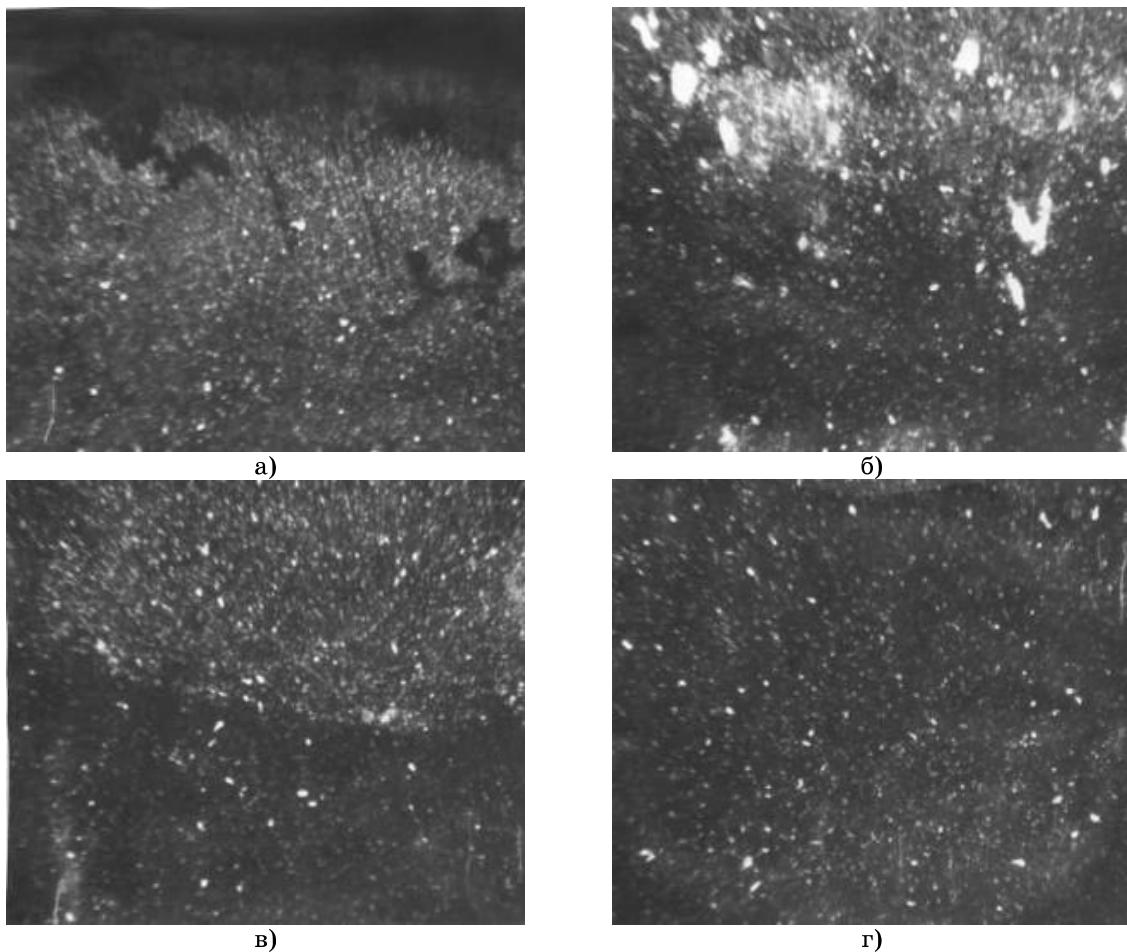


Рисунок 5 – Микроструктура термоупрочненого образца стали Р6М5, $\times 100$.
а – поверхній обезуглерожений слой; б – поверхній слой;
в – переходна зона; г – внутрішній слой

В результаті термічної обробки твердість сталі досягає найбільших оптимальних значень.

Ізмерення твердості в поперечному сеченні композитного прутка бістрорежущої сталі діаметром 14 мм в стоянні після отжига представлені на рис. 6.

Твердість композитної бістрорежущої сталі на всім протяженні діаметра прутка не перевищує 255 НВ, що повнотою удовлетворює вимогам ГОСТ 19265-73.

Установлено, що після термообробки твердість образців композитної бістрорежущої сталі наружного і внутрішнього слою мають розбіг, не перевишаючий 1-2 ед. HRC. Твердість наружного слою відповідає твердості стандартної монолітної сталі Р6М5 і становить не менше 62 HRC. Твердість внутрішнього слою 59-61 HRC, що трохи нижче, ніж наружного, однаково достаточна для забезпечення ефективного процесу різання.

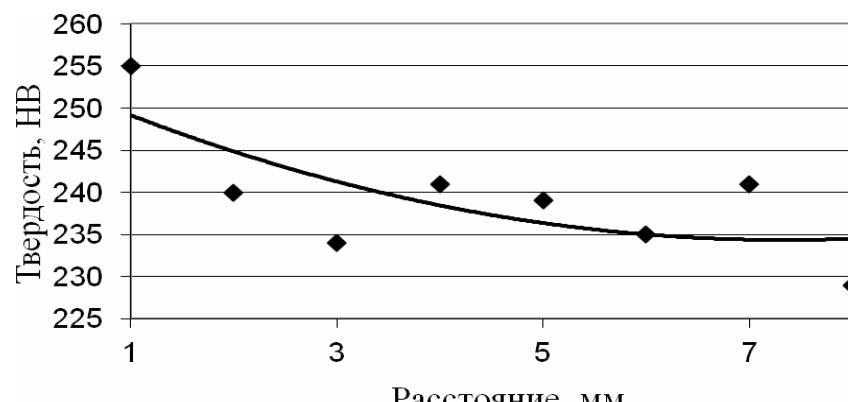


Рисунок 6 – Твердость в поперечном сечении образца после отжига

Проведены испытания ударной вязкости, значения которой у композитной быстрорежущей стали несколько выше, чем у монолитной (до $0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$ против $0,3 \div 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$), за счет наличия внутреннего более пластичного слоя. При этом влияния зоны соединения слоев на характер излома не обнаружено.

Для определения красностойкости композитной быстрорежущей стали провели выдержку термически обработанных образцов при 620°C в течение 4 часов. Твердость по Роквеллу во всех слоях композита после выдержки, согласно ГОСТ 19295-73 была не ниже 56 HRC.

Таким образом, комплексом исследований структуры и испытаний механических свойства показано, что композитная быстрорежущая сталь по всем показателям отвечает требованиям, предъявляемым ГОСТ 19265 к быстрорежущим стальям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кондратенко В.М., Лейбензон В.А., Казаков С.С. и др. Особенности производства и свойства проката из литых многослойных композиций // Металлург. – 2002. – №12. – С. 40–43.
2. Harok M., Rycha B. Novy zpusob výroby dvouvrstvých ingotu nebo odlitku // Hutnické listy. – 1973. – №9. – Р. 620–626.
3. Лейбензон В.А., Недопекин Ф.В., Кондратенко В.М. и др. Затвердевание металлических композиций: производство и моделирование. – Донецк, 2005. – 230 с.