

Влияние модифицирования на особенности формирования структуры и свойств стали марки Р6М5Л

Изучено влияние различной природы модификаторов на процессы формирования структуры и свойств литой быстрорежущей стали.

Ключевые слова: сталь, структура, модификатор, износостойкость, инструмент

Опыт применения литейных технологий при изготовлении литых заготовок из быстрорежущих сталей позволяет с уверенностью выделить ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами использования проката и поковок: возможность использования собственных отходов инструментального производства (стружка, вышедший из строя инструмент, немерные заготовки проката, металлоабразивный шлам); экономия металла за счет максимального уменьшения припусков под механическую обработку при использовании точных методов литья (до 90 %); повышение стойкости инструмента путем оптимизации химического состава, технологических факторов изготовления на всех этапах от плавки металла до заливки и термической обработки заготовок с максимальным учетом конкретных условий эксплуатации.

Используемые в настоящее время в мировой практике марки быстрорежущей стали стандартного состава являются универсальными по комплексу свойств и назначению, поскольку применяются для изготовления инструмента различного назначения (сверла, метчики, зенкеры, фрезы, развертки и др.), испытывающего при эксплуатации различающиеся по абсолютной величине силовые, тепловые, изнашивающие и другие воздействия. При изготовлении инструмента литьем существует уникальная возможность, используя в качестве шихтовых материалов отходы стандартных марок сталей, скорректировать в процессе плавки металла его состав, оптимизировать условия кристаллизации. Оптимизация состава и технологических факторов получения литых заготовок позволяет увеличить свойства, имеющие первостепенное значение с точки зрения эксплуатационной стойкости конкретного инструмента и условий его работы (тип инструмента, обрабатываемый материал, режимы резания и др.).

В ряде случаев необходимость в обработке давлением при изготовлении стандартных марок быстрорежущей стали ограничивает в их составе наличие таких элементов как бор, углерод и других, существенно повышающих их твердость, теплостойкость, износостойкость и, в результате, эксплуатационную стойкость.

Эксплуатационные характеристики изделия в значительной мере определяются физико-механическими свойствами металла, формирующимися на

различных этапах его получения. Так, горячая пластическая деформация в технологическом цикле изготовления быстрорежущих сталей предназначена для устранения ледебуритной эвтектики и повышения тем самым их вязкости и пластичности. Однако еще Э. Гудремон утверждал, что структура литой быстрорежущей стали, представленная характерным расположением карбидов по границам зерен, является наиболее устойчивой к истиранию. В более поздних работах это предположение нашло экспериментальное подтверждение.

Специалисты кафедры «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета в течение нескольких десятилетий проводят исследования закономерностей формирования литой структуры инструментальных сталей (быстрорежущих и штамповых) в различных условиях кристаллизации с целью найти оптимальное сочетание трибологических и прочностных свойств.

При проведении исследований технологии производства литого инструмента и оснастки задействованы различные методы получения металла: индукционная плавка; электрошлаковый переплав; электрошлаковая тигельная плавка.

Поскольку первичная структура, в наибольшей степени определяющая ударную вязкость литых заготовок, сохраняется и после полного цикла термической обработки (изотермический отжиг, закалка, трехкратный отпуск), условиям ее формирования должно уделяться особое внимание.

Для управления формированием структуры металла и достижения необходимого комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств использовано регулирование скорости охлаждения на различных стадиях кристаллизации путем применения материалов литейных форм с различной теплоаккумулирующей способностью в весьма широком интервале скоростей охлаждения от нескольких градусов (формы из стержневых смесей) до нескольких тысяч градусов в секунду (охлаждение в жидком азоте), а также модифицирование и наномодифицирование химическими элементами и их сочетаниями.

В процессе исследования в качестве модифицирующих использовано около 28 элементов. Установлено, что одни из них (висмут, сурьма, магний, кальций, ниобий, титан) существенно повышают ударную вязкость литой стали, другие – износостойкость. Из этой

группы особенно выделяется бор, повышающий в инструментальных сталях твердость, теплостойкость и устойчивость против истирания. Однако этот элемент в некоторой степени снижает ударную вязкость литой стали, что ограничивает ее применение для тонколезвийного инструмента (табл. 1 и табл. 2).

Повышение вязкости объясняется диспергирующим действием модификаторов в результате инкулирующего и поверхностно-активного действия, изменением характера распределения эвтектической составляющей. Измельчается первичное и действительное аустенитное зерно, разрывается сетка ледебуритной эвтектики. Характер разрушения меняется от межзеренного хрупкого к внутризеренному большей энергоемкости (рис. 1).

Повышение твердости, теплостойкости и износостойкости стали, модифицированной бором, объясняется микролегирующим эффектом – появлением в структуре карбоборидов, обладающих высокой твердостью. Введение бора способствует увеличению количества эвтектической с оставляющей преимущественно скелетной морфологии. В результате этого характер разрушения борсодержащей стали межзеренный хрупкий (рис. 2). Введение бора в расплав приводит также к увеличению количества неметаллических включений в металле, что требует применения в технологическом процессе плавки операций дополнительного раскисления и рафинирования.

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, в данной работе авторы

Влияние модифицирования на твердость стали марки Р6М5Л

Тип стали марки Р6М5	Твердость, HRC				Теплостойкость, HRC
	в литом состоянии	после отжига	после закалки	после отпуска	
Деформированная сталь	–	22	63	64	58
Литая сталь базового состава	65	26	63,5	64	59,5
Сталь, модифицированная титаном	65	28	62,5	63	58,5
Сталь, модифицированная бором	65	24	63,5	65	63

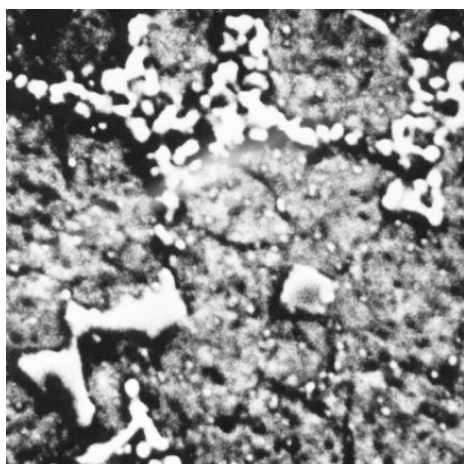
Таблица 2

Влияние модифицирования на количество неметаллических включений в структуре, ударную вязкость и износ стали марки Р6М5Л

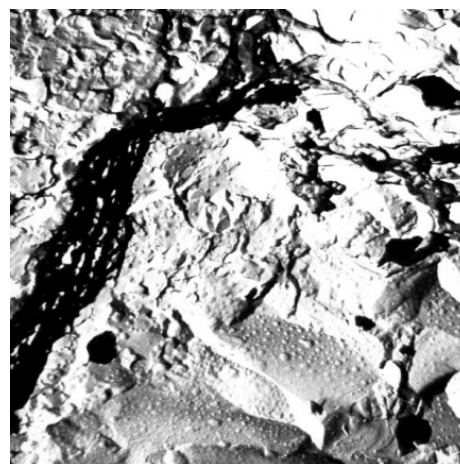
Тип стали марки Р6М5	Ударная вязкость, КС, кДж/м ²	Износ, мг/ч	Количество неметаллических включений, шт./мм
Деформированная сталь	380	108	–
Литая сталь базового состава	90	78	120
Сталь, модифицированная титаном	160	67	43
Сталь, модифицированная бором	70	59	157

пытаются добиться улучшения структуры и повышения эксплуатационных свойств быстрорежущих сталей путем введения в расплав наноструктурированного диборида титана. Титан выбрали как один из элементов, наиболее эффективно повышающих ударную вязкость литой стали, бор использован с целью повышения твердости, теплостойкости и устойчивости против истирания. Таким образом, задача исследования – повышение как ударной вязкости, так и износостойкости инструментальной стали.

Диборид титана в наноструктурированном виде вводили в печь с расплавленной сталью методом его продувки через футерованную фурму инертным газом (аргоном) после полного раскисления стали.

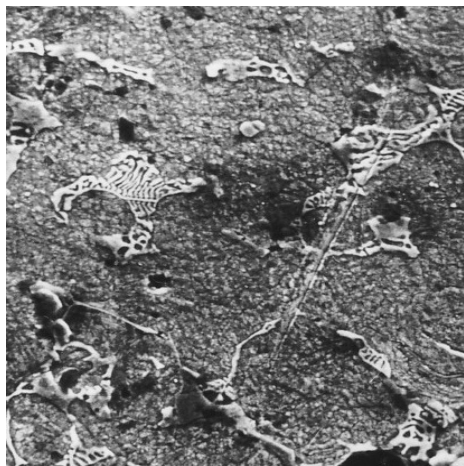


а

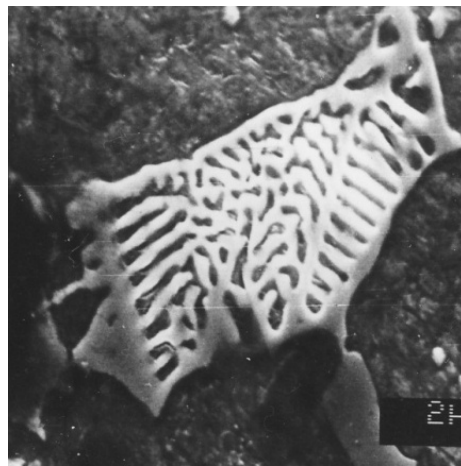


б

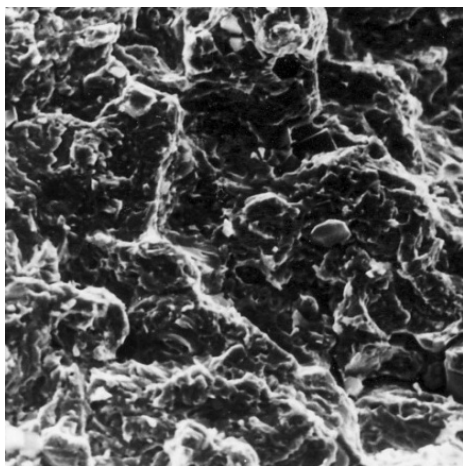
Рис. 1. Микроструктура (а) и поверхность разрушения (б) стали Р6М5Л, модифицированной титаном; а – ×850, б – ×4000



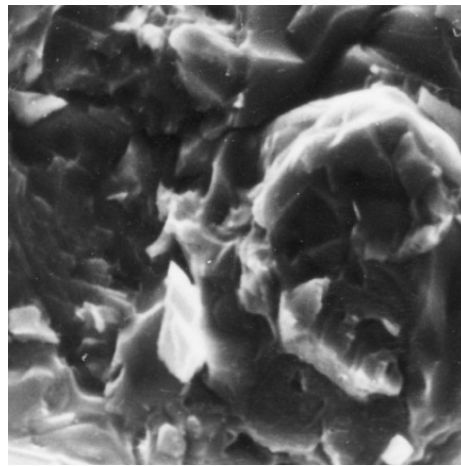
а



б



в



г

Рис. 2. Микроструктуры (а, б) и поверхности разрушения (в, г) стали марки Р6М5Л, модифицированной бором

Твердость образцов определяли непосредственно в литом состоянии, после отжига, закалки и отпуска. Ударную вязкость и износостойкость изучали после полной термической обработки. Свойства экспериментальной наномодифицированной стали приведены в табл. 3.

Микроструктура исследуемых образцов, приведенная на рис. 3, свидетельствует 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 (рис. 3), отсутствуют фасетки скола, присутствующие на фрактограммах борсодержащей стали (рис. 2, в, г). Напротив, в поверхностях разрушения наномодифицированной стали преобладает ямочный микрорельеф, что свидетельствует о высокой энергоемкости такого механизма и повышенной ударной вязкости образцов.

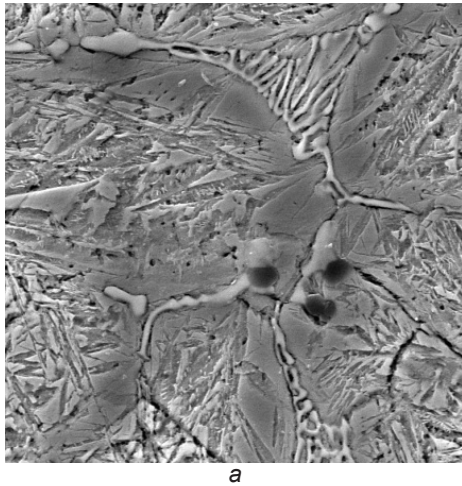
Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах оказывает заметное влияние на структуру 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); за счет модифицирования нанодобавками обеспечивается повышение свойств литой быстрорежущей стали (ударной вязкости – в 1,2-1,3 раза, теплостойкости – на 1-1,5 HRC и износостойкости – в 1,5 раза).

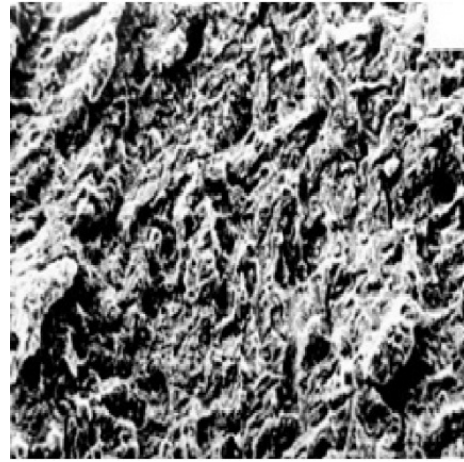
Таблица 3

Свойства экспериментальной литой быстрорежущей стали, модифицированной наноструктурированными добавками на основе диборида титана

Твердость после полной температурной обработки, HRC	Ударная вязкость, КС, кДж/м ²	Износ, мг/ч	Теплостойкость, HRC (620 °С, 4 ч)
65	180	50	63

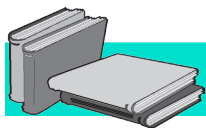


а



б

Рис. 3. Микроструктура (а) и поверхность разрушения (б) литой быстрорежущей стали марки Р6М5Л, модифицированной наноструктурированными добавками диборида титана



ЛИТЕРАТУРА

1. Чаус А. С., Рудницький Ф. И., Мургаш М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МитОМ. – 1997. – № 2. – С. 911.
2. Chaus A. S., Rudnitsky F. I. The influence of elements on structure and properties of the tungsten-molibdenum high-speed steels // CO-MAT-TECH'98: Proc. of the Intern. Conf. – Bratislava, STV, 1998. – Vol. 1. – P. 23-34.
3. Чаус А. С., Рудницький Ф. И. Структура и свойства литой быстроохлажденной быстрорежущей стали Р6М5 // МитОМ. – 2003. – № 5. – С. 3-7.
4. Рудницький Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – Ч. 2. – С. 173-177.
5. Кукуй Д. М., Рудницький Ф. И. Теоретические и технологические основы создания высокоэффективного литого инструмента и оснастки. Проблемы современного материаловедения. Труды XIV сессии Научного совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук (2 июня 2009 г., Киев). – Гомель: ИММС НАНБ, 2010. – С. 19-31.

Анотація

Кукуй Д. М., Рудницький Ф. И., Николайчик Ю. А.

Вплив модифікування на особливості формування структури та властивостей сталі марки Р6М5Л

Вивчено вплив різної природи модифікаторів на процеси формування структури та властивостей литої швидкорізальної сталі марки Р6М5Л.

Ключові слова

сталь, структура, модифікатор, зносостійкість, інструмент

Summary

Kukui D. M., Rudnitski F. I., Nikolaichik Yu. A.

Effect of modification on the structure formation and the properties of the R6M5L steel

The influence of different nature of modifiers on the formation of the structure and properties of cast high-speed steel.

Keywords

steel, structure, modifier, wear resistance, tool

Поступила 26.02.13