



The influence of wide range of elements-modifiers on the structure, character of destruction and physico-mechanical characteristics of high-speed steels and instrument made of them is studied.

Д. М. КУКУЙ, Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Ю. А. НИКОЛАЙЧИК, П. А. ЕРОХОВЕЦ, БНТУ,
Л. В. СУДНИК, ГНПО ПМ

УДК 669.14.018.252.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5Л

Широко известно, что быстрорежущие стали в литом состоянии обладают повышенной износостойкостью, но невысокой ударной вязкостью [1–4], что ограничивает их применение для изготовления инструмента различного назначения. Из них предпочтительно изготавливать инструмент, эксплуатируемый в условиях повышенных изнашивающих воздействий при отсутствии ударных нагрузок.

Для управления формированием структуры литых быстрорежущих сталей и повышения их эксплуатационных свойств, прежде всего прочностных, весьма широко применяются модифицирование, регулирование скорости кристаллизации, различные методы воздействия на расплав.

На кафедре «Машины и технология литейного производства» БНТУ исследовано влияние широкой гаммы элементов-модификаторов на струк-

туру, характер разрушения, физико-механические свойства быстрорежущих сталей и инструмента из них. Рассмотрены разные аспекты механизмов модифицирования, микролегирования и рафинирования металла. Построены ряды активности модифицирующих элементов по критериям, что позволило разработать широкую гамму составов литых быстрорежущих сталей (табл. 1).

В результате исследований установлено, что одни модификаторы существенно повышают ударную вязкость литой стали, другие – трибологические характеристики. Так, в частности, установлено положительное влияние на ударную вязкость висмута, сурьмы, ниобия, титана. Особенно выделяется бор, повышающий в инструментальных сталях твердость, теплостойкость и устойчивость против истирания. Однако этот элемент в некоторой степени снижает ударную вязкость

Т а б л и ц а 1. Свойства литых быстрорежущих сталей, разработанных на кафедре МнТЛП БНТУ

Базовая сталь	Элемент	Ударная вязкость, МДж/м ²	Твердость HRC	Теплостойкость ¹ HRC	Износостойкость ²	Нормативный документ
P6M5	–	0,11	63,0	58,0	1,0	ГОСТ 19265-73
P6M5K5	–	0,10	65,5	61,0	1,0	ГОСТ 19265-73
P6M5K5	B, Al	0,07	66,5	63,0	1,6	А. с. 908927
P6M5K5	Bi	0,18	65,5	60,0	1,3	А. с. 914648
P6M5K5	Zr, Hf, Cu	0,17	65,5	61,0	1,3	А. с. 1109464
P6M5	B, Al, Ge, Bi	0,095	66,0	63,0	2,1	А. с. 1109466
P6M5	B, Ti, Nb, Al, P3M	0,14	64,0	59,5	1,6	А. с. 1113423
P6M5	Ti, Bi	0,19	63,0	58,0	1,5	А. с. 1122743
P6M5	Sb	0,25	62,5	58,0	1,0	А. с. 1122746
P6M5	Cd	0,20	64,0	60,5	1,4	А. с. 1126624
P6M5	Ta, Sb	0,31	63,5	60,0	1,2	А. с. 1457428
P6M5K5	Nb, Al	0,14	66,0	61,5	1,5	А. с. 1463793
P6M5	B, Al, Ti, Nb, Bi, Sb	0,20	64,5	61,5	1,3	А. с. 1463797
P6M5	Sr	0,27	64,0	60,5	1,2	А. с. 1583462

¹ Оценивали измерением твердости при 20 °С после дополнительного отпуска при 620 °С, 4 ч.

² Оценивали путем сравнения с базовыми сталями, износостойкость которых принималась за единицу.

литой стали, что ограничивает ее применение для тонколезвийного инструмента (табл. 2, 3).

Таблица 2. Влияние модифицирования на твердость стали Р6М5Л

Тип стали 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 3. Влияние модифицирования на количество неметаллических включений в структуре, ударную вязкость и износ стали Р6М5Л

Тип стали Р6М5	Ударная вязкость, 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

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

Увеличение твердости, тепло- и износостойкости стали, модифицированной бором, объясня-

ется микролегирующим эффектом – появлением в структуре карбоборидов, обладающих высокой твердостью. Введение бора способствует увеличению количества эвтектической составляющей 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.

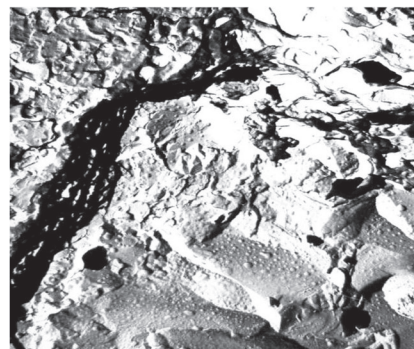
Основываясь на результатах, полученных в предыдущих исследованиях, была предпринята попытка улучшения структуры и повышения эксплуатационных свойств быстрорежущих сталей путем введения в расплав наноструктурированного диборида титана. Титан выбран, как один из элементов, наиболее эффективно повышающих ударную вязкость литой стали, бор использован с целью повышения твердости, теплостойкости и устойчивости против истирания. Основной задачей исследований было повышение как ударной вязкости, так и износостойкости инструментальной стали.

Диборид титана в наноструктурированном виде вводили в печь с расплавленной сталью методом продувки его через футерованную фурму инертным газом (аргоном) после полного раскисления стали. 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. 4.

Микроструктуры исследуемых образцов (рис. 3) свидетельствуют о том, что в результате



а



б

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

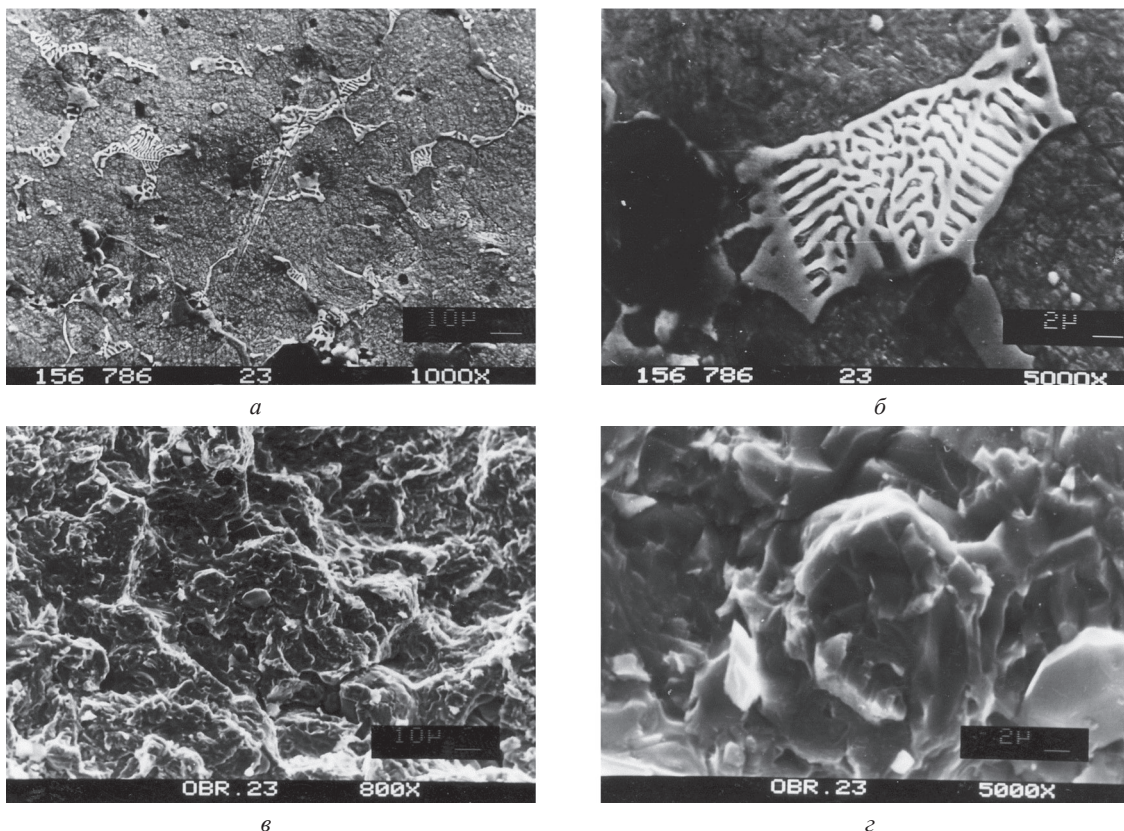


Рис. 2. Микроструктура (а, б) и поверхность разрушения (в, г) стали Р6М5Л, модифицированной бором

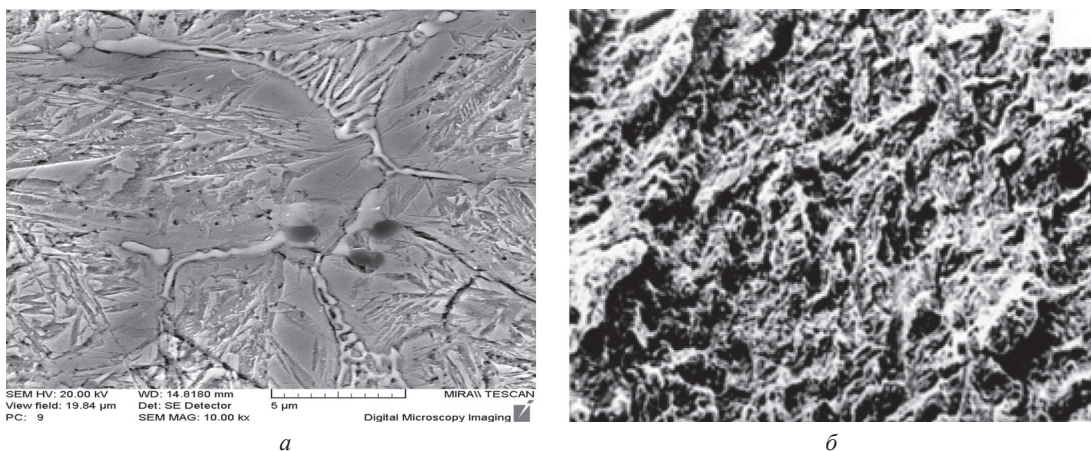


Рис. 3. Микроструктура (а) и поверхность разрушения (б) литой быстрорежущей стали Р6М5Л, модифицированной наноструктурированными добавками диборида титана

Таблица 4. Химический состав и свойства экспериментальной литой быстрорежущей стали, модифицированной наноструктурированными добавками на основе диборида титана

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

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 борсо-

держашей 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 (см. 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.

1. Выбранная методика ввода наномодификаторов в расплав способствует их равномерному распределению в объеме и хорошему усвоению.

2. Наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах оказывает заметное влияние на морфологию структу-

ры литой быстрорежущей стали, приводит к измельчению зерна (в 1,5–2,0 раза), раздроблению эвтектики, уменьшению количества неметаллических включений (в 1,5–2,5 раз) за счет инокулирующего, поверхностно-активного и рафинирующего воздействия, а также за счет микролегирующего эффекта – образования карбоборидов, обладающих высокой твердостью. При этом повышаются ударная вязкость в 1,2–1,3 раза, теплостойкость литой стали на 1,0–1,5 HRC и износостойкость в 1,5 раза.

Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И., Мургаш М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МиТОМ. 1997. № 2. С. 9-11.
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., Рудницкий Ф. И. Структура и свойства литой быстроохлажденной быстрорежущей стали Р6М5 // МиТОМ. 2003. № 5. С. 3–7.
4. Рудницкий Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литье и металлургия. 2006. № 2. Ч. 2. С. 173–177.
5. Кукуй Д. М., Рудницкий Ф. И. Теоретические и технологические основы создания высокоэффективного литого инструмента и оснастки. Проблемы современного материаловедения // Тр. XIV сессии науч. совета по новым материалам Международной ассоциации академий наук (2 июня 2009 г., г. Киев). Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2010. С. 19–31.