

уменьшении в слое толщиной до 200–300 мкм количества карбидов вольфрама, молибдена, ванадия. Учитывая высокие температуры, возникающие при шлифовании, можно сделать вывод о растворении части карбидов в матрице материала.

Электронно-микроскопический анализ шлифованной поверхности выявил преимущественную ориентированность материала в направлении шлифования.

Структурные и субструктурные изменения в поверхностном слое шлифованного инструмента способствуют возникновению микротрещин. Наличие микротрещин и "разрыхленность" поверхности подтверждаются исследованием с помощью сканирующего микроскопа. Комплекс этих изменений отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах инструмента.

Литература

1. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса / Под ред. Д.Н.Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1977.

УДК 669.14.018.25:539.42

В.Ф.Соболев, канд. техн. наук,
А.С.Чаус, инженер,
Р.Н.Худокормова, канд. техн. наук,
А.П.Дубко, инженер,
В.В.Кузьмин, инженер (БПИ)

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЛИТЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

В работе изучено влияние добавок циркония, ниобия и алюминия на структуру и свойства литой быстрорежущей стали Р6М5К5. После закалки от 1230°C определяли твердость и количество остаточного аустенита в структуре, а после закалки и трехкратного отпуска при 560°C – твердость, ударную вязкость, тепло- и износостойкость. Полученные результаты о влиянии добавок выбранных элементов на исследуемые характеристики опытных сталей представлены в табл. 1, которая содержит аналогичные сведения о стали базового состава Р6М5К5.

Твердость стали Р6М5К5 после закалки составляет 63,5 НРС, количество остаточного аустенита равно 17%. Введение в сталь циркония повышает ее твердость после закалки на 1–1,5 НРС. Количество остаточного аустенита при этом несколько уменьшается. Аналогичное повышение твердости в закаленном

Таблица 1

Элемент	Вводимое количество, %	Закалка		Отпуск		Теплостойкость НРС (620°C, 4 ч)	Относительный износ, г
		твёрдость НРС	остаточный аустенит, %	твёрдость НРС	удельная вязкость, Дж/м ²		
Zr	0,1	64,5	13	66,5	12×10^4	61,5	0,0210
	0,3	64,5	13	66	9×10^4	61	0,0195
	0,6	65	15	66	6×10^4	59	0,0180
Nb	0,1	65	10	65,5	13×10^4	61	0,0200
	0,3	65	12	65,5	11×10^4	60	0,0180
	0,6	65	8	65	10×10^4	59	0,0170
Al	0,4	65	7	66	8×10^4	61	0,0200
	0,8	65	8	66	9×10^4	61	0,0230
	1,2	64,5	6	65,5	7×10^4	58,5	0,0250
Р6М5К5 без до- бавок		63,5	17	65,5	10×10^4	61	0,0225

состоянии характерно и для стали с добавками ниобия и алюминия. С увеличением вводимого количества Nb содержание остаточного аустенита вначале возрастает, а затем снижается, оставаясь более низким в сравнении со сталью исходного состава. Алюминий во всем исследованном интервале влияния уменьшает устойчивость аустенита.

Микроструктура стали Р6М5К5 после полной термической обработки состоит из равноосных зерен твердого раствора, окруженных сеткой вторичных карбидов. В стыках зерен наблюдаются колонии эвтектической составляющей, представленной эвтектикой ванадиевого типа с изолированными карбидами и эвтектикой на базе гексагонального карбида M_2C стержневого типа. При введении Zr наблюдается резкое измельчение литой структуры, причем такой эффект сохраняется и после термообработки. Это вызвано тем, что тугоплавкие карбиды или карбонитриды циркония выделяются первыми из расплава и тем самым увеличивают число центров кристаллизации, а при закалке задерживают передвижение границ зерен и препятствуют их росту. С ростом вводимого количества Zr в сталь выделения карбидной фазы

зы становятся более грубыми. Для стали с ниобием также характерно выделение специальных карбидов NbC как по границам зерен, так и по телу зерна, однако это не так сильно выражено, как в стали с цирконием. По мере повышения содержания Nb в стали увеличивается количество эвтектики стержневого типа, а ее строение становится более грубым. Размер зерен при этом уменьшается, а их форма остается равноосной. При введении в сталь алюминия по границам зерен твердого раствора формируется замкнутая сетка стержневой эвтектики, количество которой по сравнению со сталью базового состава резко возрастает. С увеличением вводимого количества Al в сталь зерно металлической основы измельчается и приобретает вытянутую форму. Количество неметаллических включений в структуре стали возрастает.

Описанные изменения микроструктуры исследуемых сталей сказываются на их свойствах. Увеличение вводимого количества Zr и Nb, вызывающее огрубление карбидной фазы, уменьшает ударную вязкость и повышает износостойкость этих сталей, а также косвенно способствует снижению вторичной твердости и теплостойкости, что связано с обеднением твердого раствора углеродом за счет связывания последнего в труднорастворимые карбиды ZrC и NbC. Характер изменения ударной вязкости алюминийсодержащих сталей сложен вследствие влияния различных факторов, действующих в противоположных направлениях. С одной стороны, это уменьшение размера зерен, а с другой — увеличение количества эвтектической составляющей и неметаллических включений. Повышение содержания Al снижает тепло- и износостойкость.

Таким образом, проведенные испытания показали, что свойства стали Р6М5К5 улучшаются при введении небольших добавок циркония и ниобия, добавки алюминия в этом случае оказались неэффективными.