

И.В. ЗЕМСКОВ, канд. техн. наук,
И.К. ФИЛАНОВИЧ, К.В. КОРОЛЕВ (БНТУ),
Г.П. ГОРЕЦКИЙ, канд. техн. наук (ФТИ* НАН Беларуси)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Повышение теплостойкости вольфрамсодержащих сталей, полученных в процессе рециклинга металлоотходов в литейных цехах машиностроительных предприятий путем переплава в индукционных печах и разливки на установках вертикального непрерывного литья, является актуальной задачей.

При разработке технологического процесса рециклинга вольфрамсодержащих сталей путем переплава использованного инструмента в качестве базового сплава выбрана наиболее широко применяемая для изготовления прессового инструмента сталь 5X3B3MFC (ДИ-23), содержащая 3,0...3,6% вольфрама. Разработаны составы экспериментальных вольфрамсодержащих сталей, по свойствам близкие к составам этой стали при более низком содержании вольфрама. В качестве шихтовых материалов при выплавке стали использовали отходы стали 5XHM, а легирующие добавки вводили с отходами стали P6M5 и ферросплавами. Составы опытных сталей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав опытных сплавов

Номер сплава	Химический состав, % (по массе)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W
1	0,60	1,04	0,88	3,60	1,27	1,30	1,90	1,15
2	0,54	0,86	0,93	3,48	1,63	0,91	1,15	0,42
3	0,59	0,87	0,91	3,75	1,26	1,26	1,48	0,76
4	0,47	0,76	1,09	4,11	1,54	1,54	1,01	0,52

Сплавы заливали в кристаллизатор диаметром 100 мм на установке вертикального непрерывного литья. Из полученных заготовок изготавливали прошивники для опытно-промышленных испытаний. Вместе с заготовками заливали в сухую песчаную форму образцы диаметром 20 мм для отработки режимов термической обработки и определения механических свойств заготовок.

Микроструктуру опытных сплавов исследовали в литом состоянии, без термообработки, в отожженном состоянии, после закалки и отпуска и после испытания на термостойкость. На основании микроструктурного анализа разрабатывали режимы термической обработки опытных сплавов.

* Физико-технический институт.

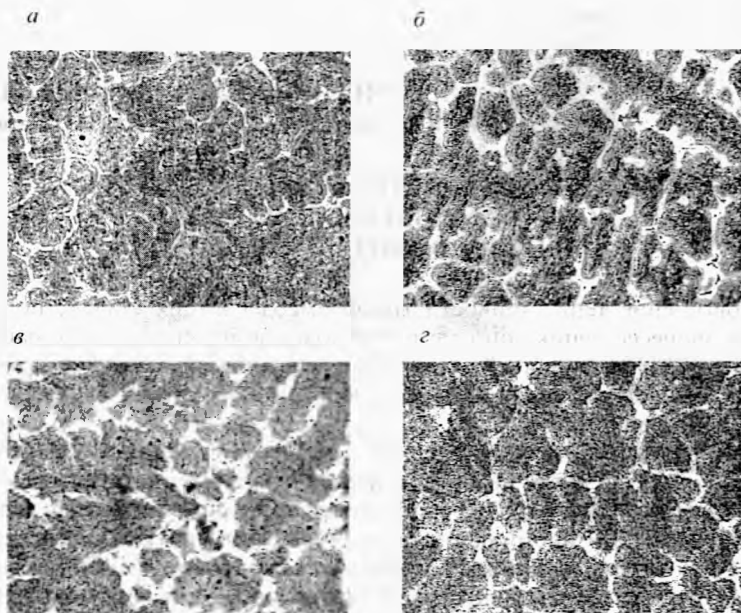


Рис. 1. Литое состояние ($\times 250$):

а – сплав № 1; *б* – сплав № 2; *в* – сплав № 3; *г* – сплав № 4

Исследования микроструктуры стали в литом состоянии без термической обработки показали, что их общей особенностью является ликвационная неоднородность в распределении легирующих элементов. Это фиксируется повышенной микротвердостью в междендритных областях. Микроструктуры (рис. 1) отличаются пониженной травимостью, соответствующим зонам с повышенным содержанием карбидообразующих элементов и состоят из троостомартенсита. Участки повышенной легированности (межосные участки) образуют своеобразный каркас, в котором заключены зоны (оси дендритов) с пониженным содержанием легирующих элементов. Кроме того, характерным для всех исследуемых сталей является наличие в междендритных участках крупных карбидных выделений. Все стали в литом состоянии имеют высокую твердость (53...57 HRC).

Из-за высокой устойчивости переохлажденного аустенита большие трудности вызывал подбор температуры для отжига заготовок с тем, чтобы снизить их твердость для последующей механической обработки.

По аналогии со сталями с повышенной и высокой теплостойкостью сплавы отжигали по ступенчатому режиму 880...900 °С и 750 °С, и они сохранили высокую твердость (порядка 40...45 HRC). Выдержка при температуре 600...650 °С и последующее охлаждение в печи приводит к снижению твердости до 25...34 HRC в зависимости от состава. Структура сплавов в отожженном состоянии показана на рис. 2. Сплав № 1 имеет основу, состоящую из зернистого перлита и небольшого количества избыточных кар-

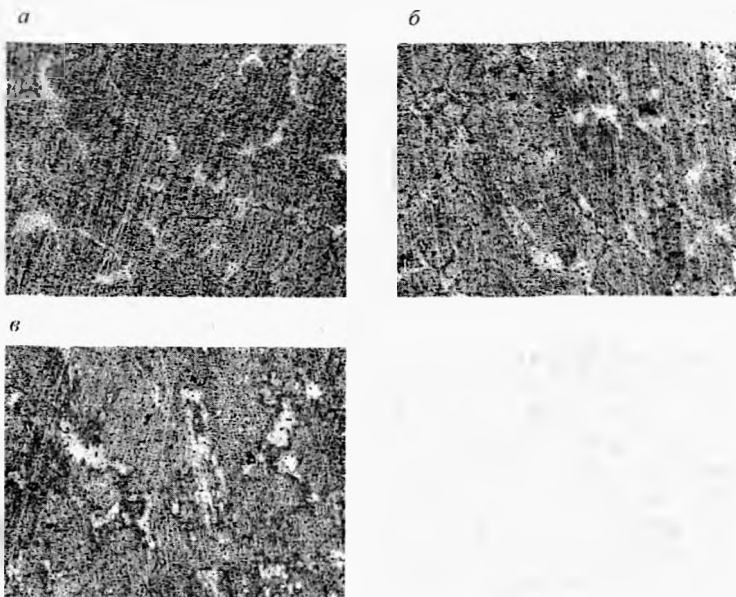


Рис. 2. Состояние после отжига ($\times 250$):

а – сплав № 1; *б* – сплав № 3; *в* – сплав № 4

бидов. Твердость сплава – 30 HRC. Сплавы № 3 и 4 имеют мелкодисперсный (сорбитообразный) перлит и первичные карбиды. Карбидов больше, чем в сплаве № 1, и выше твердость (32...34 HRC).

Температуру закалки теплостойких сталей выбирали из условий получения наибольшей твердости после закалки с охлаждением в масле при сохранении достаточно мелкого зерна (не более 9...10 балла), что обеспечивает лучшее сочетание эксплуатационных свойств.

Закалка опытных сплавов в связи со значительным легированием карбидообразующими элементами проводилась с температур 1100...1140 °С. И даже высокая температура закалки не устраняет неоднородность распределения легирующих элементов (рис. 3).

Структура участков, соответствующих осям дендритов, после закалки состоит из мартенсита, а междендритные зоны наряду с мартенситом и первичными карбидными выделениями содержат остаточный аустенит.

При закалке в твердый раствор не переходит и большая часть первичных карбидов, содержание которых определяется составом сплава и скоростью охлаждения соответствующих участков отливки при кристаллизации. На периферии непрерывнолитых заготовок они меньше, а в центре больше. Твердость сплавов после закалки с вышеуказанных температур в зависимости от состава имеет значение 50...56 HRC.

Отпуск опытных сталей проводился при температуре 610...620 °С на твердость 43...45 HRC. Последующий после закалки отпуск вызывал прев-

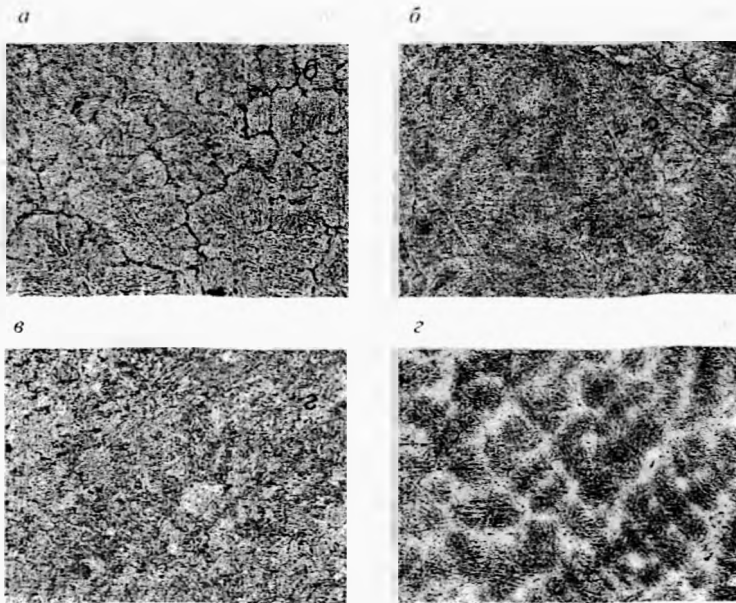


Рис. 3. Закаленное состояние ($\times 250$):

а – сплав № 1; *б* – сплав № 2; *в* – сплав № 3; *г* – сплав № 4

ращение мартенсита и остаточного аустенита и не влиял на фиксированную закалкой химическую неоднородность в распределении легирующих элементов. Для полного завершения превращения в междендритных участках требуется двойной отпуск.

Характерные микроструктуры некоторых из исследуемых сталей после окончательной термообработки на твердость 40...45 HRC показаны на рис. 4.

На основании изучения структурных и механических свойств (твердости) разработан режим термической обработки опытных сплавов, состоя-

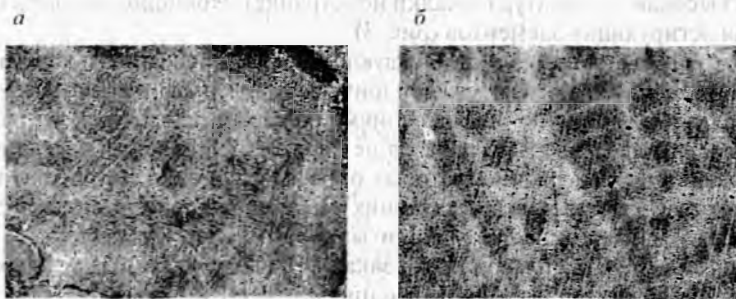


Рис. 4. Состояние после закалки и отпуска ($\times 250$):

а – сплав № 1; *б* – сплав № 2

ший из двух этапов. Первый этап – предварительная термическая обработка (отжиг): температура нагрева 500...600 °С, время выдержки 2,5 ч; температура нагрева 900 °С, время выдержки 6 ч; температура нагрева 600 °С, время выдержки 2 ч; охлаждение в печи до 200 °С со скоростью 70 °С/ч. Второй этап – окончательная термическая обработка (закалка): температура нагрева 580...600 °С, выдержка 2,5 ч; температура нагрева 800...850 °С, выдержка 2 ч; температура нагрева 1100...1140 °С, выдержка 2 ч; охлаждение в масле до 100...150 °С, затем охлаждение на воздухе до комнатной температуры; отпуск: температура нагрева 610 °С, выдержка 3 ч; охлаждение на воздухе до комнатной температуры.

Теплостойкость является одной из основных характеристик штамповых сталей для горячего деформирования и определяет не только кинетику изменения их прочностных свойств при эксплуатации, но и такие показатели, как износостойкость, сопротивление термической усталости (разгаростойкость). Для проведения испытаний на теплостойкость (теплостойкость) была использована методика [1] определения ее по температуре дополнительного теплового воздействия продолжительностью 4 ч, приводящего к снижению твердости до 40 (35) HRC. Эта методика отличается простотой и позволяет надежно дифференцировать штамповые стали для горячего деформирования по этому показателю и более четко оценивать влияние химического состава и других факторов на их сопротивление тепловому разупрочнению. Результаты исследования теплостойкости опытных сталей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Теплостойкость опытных сталей

Номер сплава	Теплостойкость HRC ₀ при температуре испытаний, °С					
	400	450	500	550	600	650
1	42,6	47,2	43,2	41,7	41,5	34,3
2	46,8	40,9	44,9	41,8	40,2	29,8
3	41,3	43,7	41,3	40,5	39,5	32,7
4	41,8	44,5	42,9	43,1	42,7	32,6

Результаты испытаний на теплостойкость показывают, что все сплавы являются теплостойкими до температуры 600 °С, т. е. они относятся к сталям повышенной теплостойкости.

На рис. 5 показаны микроструктуры сплавов № 1 и 2 после испытания на термостойкость при 500 °С. Они имеют небольшие выделения свободных карбидов по границам зерен и основу, состоящую из отпущенного мартенсита. Микроструктуры сплавов № 1 и 3 после испытания на термостойкость при 650 °С представлены на рис. 6. Выдержка в течение 4 ч приводит к увеличению свободных карбидов по границам зерен и коалесценции перлита.

Испытания стойкости кузнечно-прессового инструмента (прошивников) из экспериментальных сталей в производственных условиях показали, что его стойкость составляет 900 штамповок при средней стойкости заводского инструмента 800 штамповок.

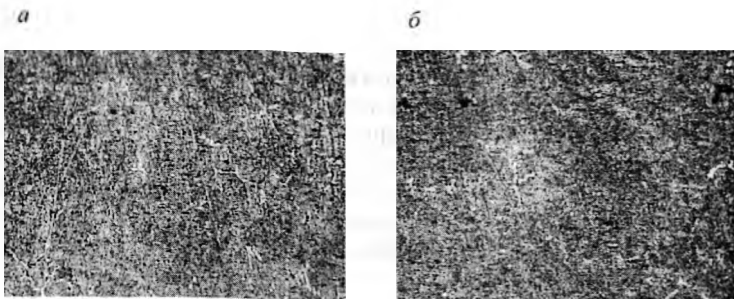


Рис. 5. Состояние после испытания на термостойкость при температуре 500 °С (×250):
а – сплав № 1; *б* – сплав № 2

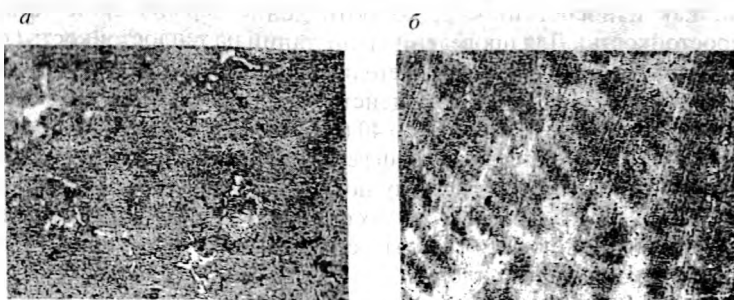


Рис. 6. Состояние после испытания на термостойкость при температуре 650 °С (×250):
а – сплав № 1; *б* – сплав № 3

Таким образом, разработанные экспериментальные вольфрамсодержащие стали по свойствам близки к стали 5ХЗВЗМФС (ДИ-23); при более низком содержании вольфрама они являются полноценным заменителем дорогостоящего проката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Metallurgy. 1989. 244 с.