

защиты насыщаемой поверхности и активных компонентов от окисления при высокотемпературной выдержке в печной среде, высокая скорость формирования диффузионных слоев, хорошее отделение обзапки от упрочняемой поверхности.

УДК 621.74:669.14.018

Н.С. ТРАЙМАК, канд.техн.наук,  
Е.И. БЕЛЬСКИЙ, д-р техн.наук,  
В.А. СТАСЮЛЕВИЧ (БПИ)

### МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЛИТЫЕ ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Влияние модифицирования изучено на образцах литой стали 4Х5МФС, выплавленной в индукционной электропечи небольшой емкости. Образцы для исследования структуры и механических свойств отливали в подогретый графитовый кокиль. Исследования проведены в два этапа. На первом модифицирование осуществляли FeSe совместно с SiCa, а также производили выбор оптимальных режимов предварительной термообработки. На втором изучено влияние таких модифицирующих добавок, как В, Ti, Cu, Ni, Al, вводимых в металл совместно с FeSe и SiCa.

Структура немодифицированной стали после отливки состоит из равноосных дендритных зерен твердого раствора (троостомартенсит), окруженных сеткой ликвационных участков с включениями карбидов. Микротвердость твердого раствора составляет  $H_{0,981} 5700$ , а ликвационных участков  $H_{0,981} 8500$ . Модифицирование FeSe снижает микротвердость ликвационных участков до  $H_{0,981} 6450$ , а FeSe и SiCa до  $H_{0,981} 7100$ . Однако во всех случаях она превышает микротвердость твердого раствора, что свидетельствует о повышенном содержании в ликвационных участках легирующих элементов. Карбиды, образовавшиеся при затвердевании отливок в ликвационных участках, являются одной из причин снижения вязкости и последующего разрушения отливок [1]. На микроструктурах отливок после охлаждения в ликвационных участках обнаружены трещины, распространяемые от карбидных включений.

Модифицирование стали FeSe и особенно совместно с SiCa измельчает дендритную структуру, уменьшает протяженность ликвационных участков. Однако полностью дендритная ликвация не устраняется и не подавляется выделение первичных карбидов в ликвационных участках.

Для улучшения структуры образцы подвергали предварительной термической обработке. Оптимальный режим отжига выбирали из соображений получения минимальной твердости и равновесной структуры. Наиболее стабильные результаты по твердости получены после изотермического отжига, по структуре – после диффузионного с последующей нормализацией и высоким отпуском.

После закалки от 1050 °С для сталей с титаном и от 1020 °С для остальных определяли твердость, а после отпуска при 650 °С – твердость, прочность,

Т а б л и ц а 1. Влияние модифицирования на свойства литой стали 4Х5МФС

Элемент	Вводимое количество, %	Твердость, НRC		Предел прочности $\sigma_{в'}$ , $10^7$ Па	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $a_{Н'}$ , $10^5$ Дж/м <sup>2</sup>
		закалка	отпуск			
FeCe	0,25	51	41	99,5	2,0	1,47
SiCa	0,30	53	42	95,0	4,8	1,62
Ni	0,5	54	40	100,0	4,0	1,1
	1,0	58	40,5	99,5	4,0	0,83
	1,5	61	41	94,5	2,0	0,9
	2,5	60,5	39	93,0	2,0	0,5
Al	0,5	54,5	38	50,0	1,2	1,07
Cu	0,3	55,5	40	98,5	4,0	1,03
B	0,01	54,5	41	71,0	4,0	1,16
	0,1	51	40	77,0	1,0	0,3
Ti	0,1	58	40	97,0	3,0	2,5
	0,2	51	41	58,0	2,0	1,9
	0,4	50	39	56,0	4,0	1,25
V	0,3	56,5	38	71,0	2,0	2,1
	0,6	51	37	73,0	2,8	1,75
Ni	1,6	51,5	37	91,0	4,0	0,94
Ti	0,2					
V	0,6					
4Х5МФС без добавок		54	39	70,0	2,0	0,9–1,0

пластичность и ударную вязкость. Полученные результаты о влиянии выбранных модификаторов представлены в табл. 1, которая содержит аналогичные сведения о стали базового состава 4Х5МФС.

Твердость немодифицированной стали после закалки составляет 54 НRC. Увеличение твердости возможно при введении в сталь небольших количеств титана и ванадия, а также никеля. Температура отпуска ( $650^{\circ}\text{C}$ ) для последующих экспериментов выбрана на минимальную твердость, допускаемую для кузнечных штампов [2]. Модифицирование практически не оказывает влияния на характер снижения твердости при отпуске.

Микроструктура модифицированной стали после полной термической обработки состоит из сорбита, причем по бывшим границам дендритных зерен дисперсность сорбита выше. Для структуры стали 4Х5МФС без добавок характерно сохранение ликвационных участков. В стыках зерен наблюдается дисперсная игольчатая структура повышенной травимости с включениями карбидов, не перешедших в твердый раствор при высокотемпературном нагреве.

У сталей с FeCe эффект измельчения структуры сохраняется и после термообработки. Одновременно увеличивается прочность и ударная вязкость стали. Пластичность повышается в 2–2,5 раза, что свидетельствует об уменьшении количества дефектов в структуре и изменении их формы. Модифицирование FeCe уменьшает суммарную протяженность первичных карбидных включений, а также содержание S и P в металле [3].

Положительное влияние церия сохраняется и при совместном вводе его в сталь с добавками 0,5–1,0 % Ni; 0,1 % Ti и 0,3 % V (табл. 1). Модифицирова-

ние литой стали бором наиболее интенсивно измельчает структуру. Однако при этом заметно снижается прочность, что возможно связано с образованием боридов по границам зерен. Аналогично влияют на прочность и добавки в сталь Al.

Увеличение вводимого количества Ti и V, вызывающее огрубление карбидной фазы, уменьшает прочность и ударную вязкость. Это особенно хорошо заметно при совместном их введении в сталь. Добавки Ti в небольших количествах эффективно влияют на измельчение первичных карбидов и неметаллических включений, благоприятное изменение их форм, что положительно сказывается на увеличении прочностных свойств и ударной вязкости.

Таким образом, модифицирование литых штамповых сталей целесообразно осуществлять FeSe совместно с добавками в небольших количествах Ti и V, ограничив содержание никеля 0,5–1,0 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крутиков В.К., Куниловский В.В. Особенности строения и свойств литых сталей для штампов горячего деформирования. – Литейное производство, 1977, № 8, с. 16–19.
2. Бельский Е.И. Стойкость кузнечных штампов. – Минск: Наука и техника, 1975. – 150 с.
3. Зуева Л.В., Куниловский В.В. Влияние модифицирования на улучшение структуры и свойств литых штамповых сталей. – Литейное производство, 1982, № 6, с. 16–17.

УДК 621.74.046(088.8)

Н.С. ТРАЙМАК, канд.техн.наук,

В.А. СТАСЮЛЕВИЧ,

С.А. ЛИХАЧЕВ, канд.техн.наук (БПИ)

#### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ЛИТЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В работе изучены композиции ковкая сталь 40X – литая 5XHM. При разработке биметаллических материалов для технологической оснастки исследовалось влияние температур заливаемого металла и подогрева твердой основы, чистоты поверхности основы и промежуточных легкоплавких прослоек на структуру и свойства зоны сцепления. Заготовки биметаллических образцов получали литьем в кокиль. Твердая (кованый металл) основа заготовки служила частью кокиля, на поверхность которой заливали жидкий металл. Из заготовок получали образцы для испытаний на ударную вязкость. Толщина наплавленного слоя на ударном образце составляла 3 мм.

Температура жидкого металла изменялась в пределах 1500–1700 °С, а температура подогрева твердой основы в интервале 150–800 °С. Поверхность основы подготавливалась от 10 до 320 R<sub>Z</sub>. При изучении влияния одного из факторов на прочность сцепления слоев другие оставались на постоянном уровне. Так, при изменении температуры заливаемого металла температура подогрева основы составляла 500 °С. А при изменении последней температура заливаемого металла соответствовала 1560 °С.