

The influence of several modifying elements on the main technological, physical-chemical and service properties of cast die steel 5XHM is investigated in the work. The most perspective modifiers for using in technological process of the cast instrument production are determined.

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, В. А. СТАСЮЛЕВИЧ, Н. С. ТРАЙМАК, БНТУ

УДК 669.14.018.252

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА СТАЛИ 5XHM В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ

Для повышения ударной вязкости стали 5XHM в литом состоянии в технологическом цикле изготовления заготовок весьма перспективным представляется использование модифицирования. Этот прием заключается во введении в сталь ряда элементов в небольших количествах, позволяющих существенно изменить ее первичную структуру и свойства. В качестве модификаторов при проведении исследований использовали церий, стронций, барий и кальций. Выбор модификаторов осуществлен в соответствии с современными представлениями о механизмах модифицирования и рафинирования и на основании имеющегося на кафедре МИТЛП БНТУ опыта по разработке составов литых быстрорежущих сталей [1, 3].

Опытные образцы стали выплавляли в печи Таммана с графитовым нагревателем. В качестве шихты использовали отходы проката и кузнечно-го производства стали 5XHM. Химический состав сталей регулировали введением в расплав ферросплавов и углерода с учетом их угара. Температура расплава, которую контролировали платина-платинородиевой термопарой, при выпуске из печи составляла 1620–1650 °С при модифицировании 1520–1550 °С. Время выдержки с начала ввода микродобавок до разливки – 1,6–2,0 мин. Разливку производили в графитовые кокиля, подогретые до 300–350 °С. Такие условия кристаллизации обеспечивают стабильность свойств экспе-

риментальных сталей. После зачистки слитки подвергали изотермическому отжигу в электрической камерной печи по следующему режиму: нагрев – до 860–880 °С, выдержка – 3 ч, охлаждение – вместе с печью до 720 °С, выдержка – 4 ч. До температуры 500 °С отливки охлаждали вместе с печью, затем на воздухе.

Из отливок вырезали образцы для определения ударной вязкости, теплостойкости, предела прочности и других свойств. Нагрев образцов под закалку производили в ванне, температуру которой изменяли от 960 до 1120 °С с интервалом 40 мин. Время выдержки составляло 20–25 с/мм, охлаждение в масле. Отпуск производили при температуре 500–620 °С.

Химический состав и свойства исследуемых сталей приведены в табл. 1–3.

В результате проведенных исследований установлено, что при модифицировании литой стали на ее твердость в различных состояниях и теплостойкость наибольшее влияние оказывают инкулирующие элементы – бор и титан. Поверхностно-активные элементы (барий, кальций, стронций, церий), не оказывая заметного влияния на твердость и теплостойкость, существенно повышают ударную вязкость стали 5XHM и улучшают технологические свойства: повышают жидкотекучесть и снижают усадку. Помимо модифицирующего, зафиксирован и рафинирующий эффект

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

Содержание элементов, мас. доля, %										Модификатор			
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al	B	Ce	Sr	Ba	Ca
0,38	0,39	0,36	2,17	1,04	0,24	0,41	0,04	0,01	0,022	–	–	–	–
0,39	0,38	0,35	2,16	1,06	0,22	0,43	0,04	0,01	0,021	0,03	–	–	–
0,41	0,36	0,37	2,12	1,08	0,21	0,41	0,04	0,01	0,023	–	0,03	–	–
0,37	0,39	0,36	2,14	1,03	0,24	0,42	0,04	0,01	0,021	–	–	0,03	–
0,39	0,36	0,35	2,15	1,07	0,23	0,41	0,04	0,01	0,022	–	–	–	0,03

Таблица 2. Влияние модифицирования на твердость и технологические свойства литой штамповой стали

литья	отжига	Твердость HRC, после		Жидко-теку-честь λ , мм	Усад-ка ϵ , %	Количество неметаллических включений, шт/мм	
		закалки с 1050 °С	отпуска				
			500 °С				600 °С
43	22	53	47	43	300	2,2	135
42	22	54	48	44	350	1,7	48
43	21	53	47	44	345	1,8	61
41	23	55	49	45	335	1,9	67
42	22	54	48	43	340	1,8	54

Таблица 3. Влияние модифицирования на прочность, теплостойкость и ударную вязкость литой штамповой стали

Теплостойкость (τ^{600}), HRC	Прочность (σ^{600}), МПа	Ударная вязкость KCU, кДж/м ²
42	124	165
43	128	360
42	124	330
43	125	345
43	126	330

поверхностно-активных элементов — установлено заметное уменьшение количества неметаллических включений в структуре литой стали. Наиболее эффективное влияние оказывают церий и барий. Повышение ударной вязкости обусловлено рядом факторов: среди них более однородное распределение легирующих элементов по структуре модифицированной стали, о чем свидетельствуют результаты микрорентгеноспектрального анализа немодифицированной и модифицированной стали. Так, модифицирование, в частности, барием способствует более равномерному распределению хрома, никеля, ванадия, молибдена. Повышается дисперсность структурных составляющих — твердого раствора, карбидных частиц, что установлено металлографическим анализом с помощью светового и электронного микроскопов как в литом, так и термообработанном состояниях. Результаты микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих показывают, что титан в исследуемых сталях входит в состав карбидов, располагающихся по границам зерен, и не проявляет инокулирующего влияния, что согласуется с полученными ранее результатами.

В значительной степени повышение ударной вязкости вследствие модифицирования связано с уменьшением количества неметаллических включений. Снижение загрязненности стали примесями подтверждается изображением поверхности микрошлифов немодифицированной и модифицированной стали в характеристическом рентгеновском излучении ряда элементов. В модифицированной стали количество примесей значительно ниже. Рафинирующее действие модификаторов

проявляется в том, что они образуют химические соединения с кислородом, серой, фосфором. Так, в результате микронзондового анализа установлено наличие модифицирующих элементов (бария, кальция, стронция, церия) в составе неметаллических включений.

Анализ поверхностей разрушения ударных образцов исследуемых сталей показывает, что литой немодифицированной стали присущ внутризеренный хрупкий характер разрушения. В частности, разрушение происходит по крупным карбидам, содержащим титан, неметаллическим включениям (рис. 1, а). На микрофрактограммах присутствуют участки скола, имеются вторичные раскрытые трещины по границам зерен. На некоторых площадках между фасетками скола, соответствующим междендритным, более легированным участкам, фиксируются перемиčky вязкого разрушения. Присутствуют неметаллические включения оксидного характера, содержащие титан, что свидетельствует о том, что часть титана, используемого для микролегирования, уходит на раскисление стали и о необходимости дополнительного рафинирования перед введением титана в печь. Перемиčky вязкого разрушения являются центральными участками дендритов, в которых растворено меньшее количество углерода и легирующих элементов, что и служит причиной их относительно высокой вязкости (рис. 1, б). В целом из-за наличия крупных карбидных включений и неметаллических частиц энергоёмкость разрушения образцов этой стали невысока, что и является причиной ее низкой ударной вязкости.

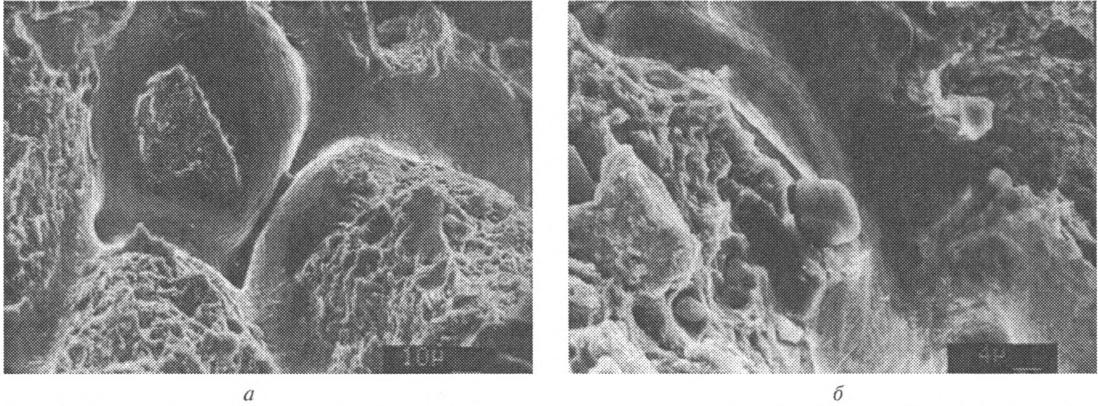


Рис. 1. Поверхность разрушения стали 5XNM, содержащей бор и титан (состав 1): *a* – $\times 1000$; *б* – $\times 2500$

Характер разрушения литой стали значительно меняется в результате модифицирования. Так, на микрофрактограммах образцов стали, модифицированной церием, наблюдаются участки преимущественно вязкого ямочного разрушения. Изменение механизма разрушения характерно для всех выбранных модификаторов. Повышение

вязкости вызвано рафинированием металла (на микрофрактограммах имеется небольшое количество включений, содержащих модификаторы), измельчением структурных составляющих. Так, для изломов характерно отсутствие крупных карбидов, в том числе и содержащих титан (рис. 2, *a*, *б*).

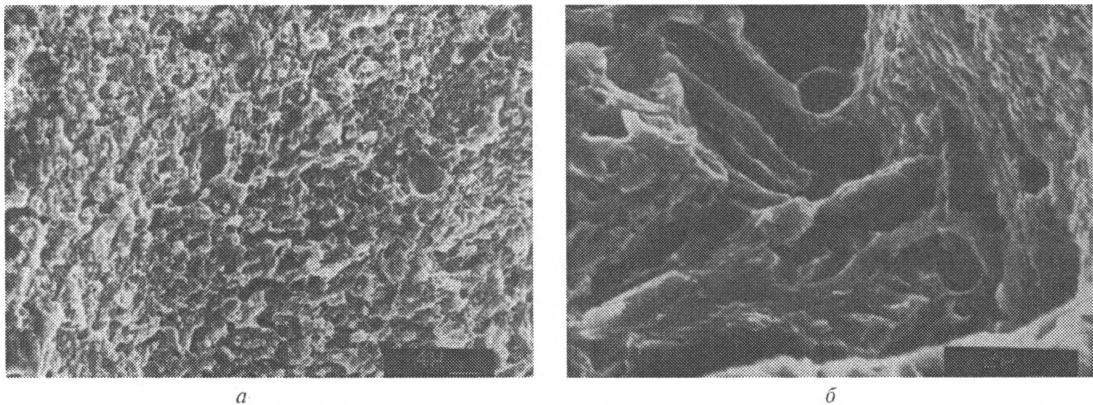


Рис. 2. Поверхность разрушения стали 5XNM, содержащей бор и титан, модифицированной стронцием (*a*) и барием (*б*). *a* – $\times 2500$; *б* – $\times 5000$

Изменяя характер кристаллизации, модифицирующие элементы оказывают влияние на перераспределение легирующих элементов между твердым раствором и карбидной фазой. Об этом свидетельствует повышение содержания легирующих элементов в матрице модифицированной стали. Барий к тому же усиливает влияние алюминия, который в свою очередь способствует образованию большего количества карбидов типа $M_{23}C_6$. Этот факт подтверждается результатами микрорентгеноспектрального анализа, согласно которым алюминий и барий участвуют в образовании и входят в состав карбидов на базе хрома.

Проведенные исследования позволяют более полно оценить эффективность модифицирующих комплексов, используемых для улучшения технологических, физико-механических и эксплуатаци-

онных свойств штамповых сталей, предназначенных для изготовления литых заготовок кузнечно-прессового инструмента и оснастки [4–6].

Литература

1. Чаус А.С., Рудницкий Ф.И., Мургаши М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // *МиТОМ*. 1997. № 2. С. 9–11.
2. Chaus A.S., Rudnitsky F.I. The modification of High-speed steels // In proceeding of The first international symposium: Advanced materials and technology in Europe. Bratislava, 1992. P. 41–43.
3. Рудницкий Ф.И. Технологические факторы эксплуатационной стойкости литого инструмента // *Литье и металлургия*. 2005. № 2. С. 120–124.
4. А.с. 1488358 СССР: Штамповая сталь.
5. А.с. 1556127 СССР: Литая штамповая сталь.
6. А.с. 1607427 СССР: Штамповая сталь.