

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ ДЛЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ ПОКОВОК

*В.Т. Зинченко, В.Е. Роцин, Н.В. Мальков*

В машиностроительном концерне «ОРМЕРО-ЮУМЗ» хромоникелевую сталь марок 60ХН и 34ХН1М для крупнотоннажных поковок выплавляют в дуговой сталеплавильной печи ДСП-50. Раскисление полупродукта производят в ковше, ковш с металлом передают в агрегат комплексной обработки стали (АКОС), где вновь сформированный шлак обрабатывают коксиком и алюминием. Алюминий для окончательного раскисления и регулирования величины зерна вводят в виде проволоки трайб-аппаратом. Металл разливают в кузнечные слитки массой 6...40 тонн. Из слитков куют заготовки для прокатных валков, валов редукторов и др.

В 2003 г. брак кузнечных слитков по трещинам составил 1,42 %, а брак поковок по трещинам и по внутренним дефектам, обнаруженным при УЗК, соответственно 1,19 и 2,10 %. Было забраковано более 500 тонн металла.

Известно, что при производстве кузнечных слитков и изделий из них отрицательное воздействие вредных примесей проявляется при кристаллизации слитка, первых операцияхковки и при эксплуатации готовых изделий. От содержания в металле S, P, As, Sn, Zn, Pb и других вредных примесей во многом зависит уровень технологической пластичности. В готовых изделиях их содержанием определяется комплекс механических свойств, долговечность и надежность работы изделий.

Ранее [1, 2] показано, что при обработке жидкой стали комплексным Ca-Mg-Ba-Al-Si-P3M-содержащим модификатором происходит снижение содержания в стали не только неметаллических включений, но и вредных примесей, а также в значительной степени уменьшается химическая неоднородность крупных слитков. Снижение в результате модифицирования содержания фосфора на 0,002...0,006 % отмечается авторами [3, 4]. Считают, что при введении в сталь P3M происходит образование тугоплавких соединений с цветными металлами и снижается их содержание в стали [5, 6]. Известно также, что эффективность обработки стали высокоактивными элементами зависит от технологии введения их в сталь. Показано [7-9], что высокоактивные элементы более эффективно вводить как можно ближе к началу затвердевания расплава.

В данной работе оценивалась влияние на качество металла кузнечных слитков и поковок технологии введения комплексного модификатора в металл. Модификатор, содержащий (мас. %): 10...12 % Ca, 1...1.5 % Mg, до 4 % Ba, до 2 % Al,

45...50 % Si, 10...12 % P3M, остальное Fe, вводили в виде порошковой проволоки в металл при обработке его в АКОСе, в процессе наполнения изложницы, а также в процессе наполнения изложницы с одновременной продувкой металла в изложнице аргоном.

Модифицирование металла в АКОСе проводили после раскисления алюминием. Проволоку, содержащую модификатор, вводили в металл трайб-аппаратом. Расход модификатора составлял 800 г/т.

При модифицировании в процессе наполнения изложницы модификатор вводили трайб-аппаратом в изложницу вместимостью до 33,6 т по мере ее наполнения. Расход модификатора составлял 600 г/т. Отливали два сравнительных слитка - один с модифицированием, второй без модифицирования.

При обработке жидкого металла в изложнице комплексным модификатором с одновременной продувкой металла аргоном подавали через отверстие в поддоне (рис. 1) в течение всего времени наполнения изложницы металлом. Расход модификатора составлял 450 г/т, а аргона 5...8 л/мин при давлении 3 атм.

Из опытных слитков были откованы заготовки для валков горячей прокатки. При контроле качества поверхности поковок и при ультразвуковом контроле (УЗК) брака в опытном металле не обнаружено. Это свидетельствует о достаточной технологической пластичности металла опытных слитков.

От шеек заготовок валков изготовили поперечные темплеты для проб металла на химический анализ, исследований макро- и микроструктуры, неметаллических включений и механических свойств. Схема отбора проб позволила оценить качество металла по высоте и сечению слитка. Загрязненность стали неметаллическими включениями оценивали металлографическим методом по максимальному баллу (ГОСТ-1778).

Анализ серных отпечатков темплетов от двух слитков одной плавки показал более низкое содержание и более равномерное распределение серы в случае модифицирования металла в изложнице по сравнению с необработанным металлом.

Поковки из слитков, не прошедших обработку модификатором, оказались более загрязненными и сульфидными (рис. 2) и оксидными (рис. 3) включениями. Неметаллические включения состояли из деформированных сульфидов и хрупких оксидов, распределённых в строчки. В модифицированном

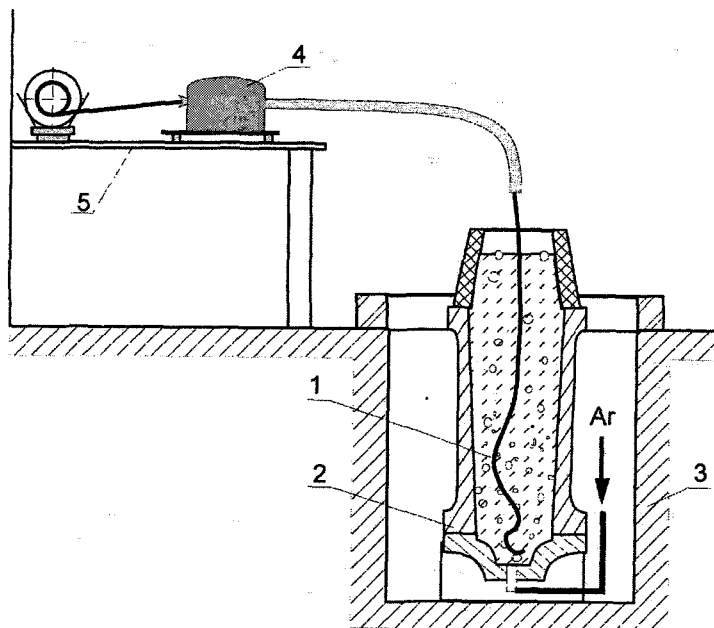


Рис. 1. Схема введения модификатора в изложницу: 1 – проволока с модификатором, 2 – изложница, 3 – разливочная канава, 4 – трайб-аппарат, 5 – разливочная площадка

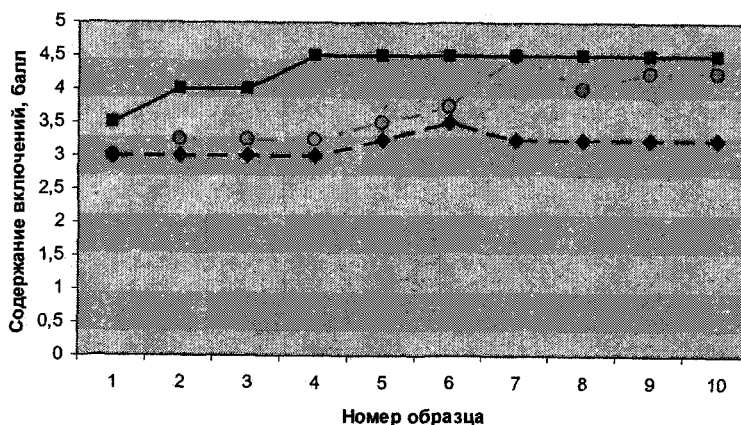


Рис. 2. Загрязненность стали сульфидными включениями:  
 ■ – без модифицирования, ● – модифицирование в ковше,  
 ◊ – модифицирование в слитке; 1 – поверхность слитка, .... 10 – центр слитка

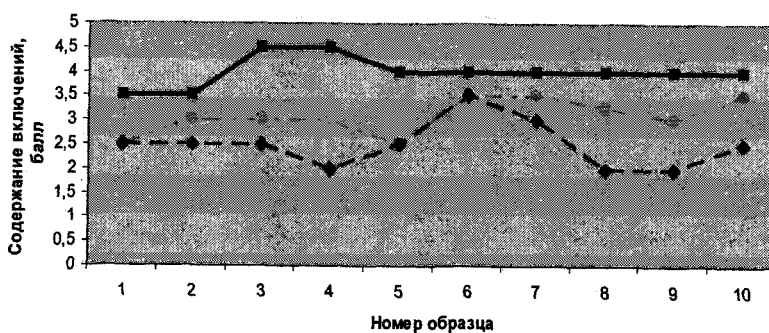


Рис. 3. Загрязненность стали оксидными включениями:  
 ■ – без модифицирования, ● – модифицирование в ковше, ◊ – модифицирование в слитке;  
 1 – поверхность слитка, ... 10 – центр слитка

металле оксиды наблюдались практически только в составе малодеформированных оксисульфидов сложного состава (рис. 4).

Химический состав опытного и сравнительного металла, в частности, содержание серы, фосфора и цветных металлов, определяли в образцах, соответствующих трем горизонтам по высоте слитка (подприбыльный, средний и донный) и трем точкам поперечного сечения слитка (поверхность, половина радиуса, центр).

Результаты химического анализа проб металла, модифицированного при обработке стали 60ХН в АКОСе, приведены в табл. 1.

Установлено, что снижение содержания в металле фосфора в результате модифицирования составило в среднем 0,006 % абсолютных или 25 % относительных, серы - соответственно 0,003 % и 18,7 %, мышьяка - 0,0034 % и 28,2 %, олова - 0,0017 % и 22 %, цинка - 0,0059 % и 68 % и свинца - 0,0017 % и 20,7 %.

Уменьшение содержания фосфора и цветных металлов обусловлено, по-видимому, тем, что содержащиеся в комплексном модификаторе ЩЗМ и РЗМ обладают высоким химическим сродством к этим элементам [6] и образуют в жидком металле химические соединения, которые, возможно, частично удаляются из жидкого металла.

Распределение фосфора в слитках обычного металла и модифицированного во время наполнения изложницы приведено на рис. 5.

Содержания в металле мышьяка, олова и цинка в металле перед модифицированием во время разливки (плавочная проба) составило соответственно (мас. %): 0,0062; 0,0047 и 0,0040. В металле слитка, обработанного в процессе разливки порошковой проволокой, содержание этих примесей было следующим: мышьяка - 0,0056 %, олова - 0,0048, цинка - 0,0041 %.

Изменился характер распределения фосфора в металле из подприбыльной части слитка. Наиболее высокое содержание фосфора обнаруживается в металле осевой части слитка. Среднее содержание фосфора, олова, цинка в поковке из немодифицированного слитка осталось на уровне содержания их в плавочной пробе, а максимальное содержание фосфора характерно для пробы, соответствующей половине радиуса подприбыльного темплета.

Результаты контроля содержания фосфора в модифицированном и продутом аргоном в изложнице металле приведены на рис. 6. Установлено снижение содержания фосфора на 0,002 % (изменилось с 0,013 до 0,011 %) абсолютных или на 15 % относительных в опытном слитке. Среднее

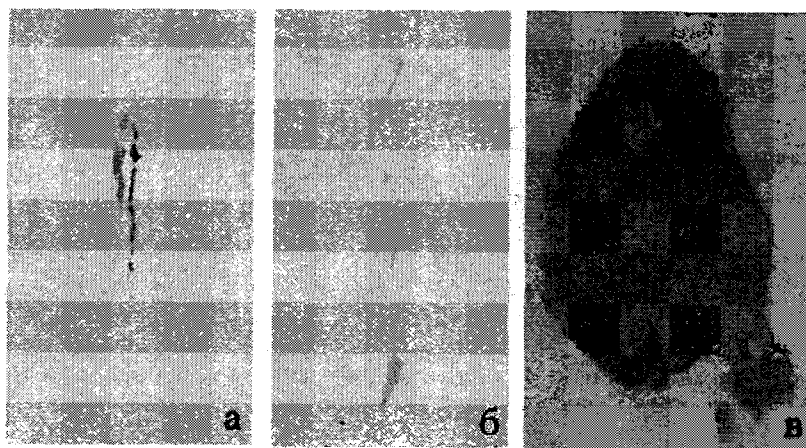


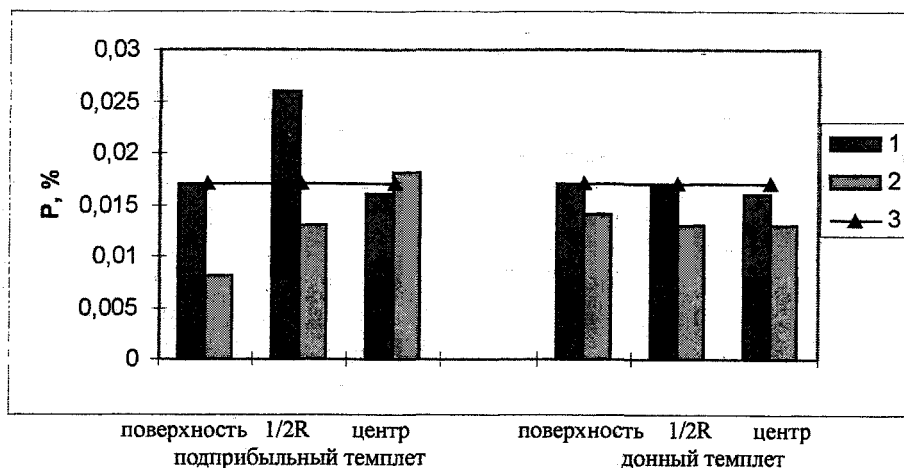
Рис. 4. Влияние модифицирования на неметаллические включения:  
а - металл без модифицирования (x100), б- модифицирование в АКОСе (x100),  
в- модифицирование в изложнице (x600)

Содержание вредных примесей в металле, модифицированном в АКОСе

Таблица 1

Проба металла	Содержание, мас. %					
	P	S	As,%	Sn,%	Zn,%	Pb,%
Перед модифицированием	0,021-0,026 0,024		0,0072-0,0140 0,0117	0,0074-0,0094 0,0077	0,0043-0,0207 0,0086	0,0034-0,0062 0,0058
Из струи при разливке	0,017-0,020 0,018	0,013-0,020 0,016	0,0062-0,0112 0,0085	0,0049-0,0070 0,0062	0,0009-0,0047 0,0024	0,0034-0,0054 0,0041
Из слитка	Не опр.	0,012-0,017 0,013	0,0068-0,0110 0,0084	0,0046-0,0081 0,0060	0,0013-0,0037 0,0023	0,0030-0,0049 0,0038
Изменение: абсолютное относит.	0,006	0,003	0,0034	0,0017	0,0059	0,0017
	25,0	18,7	28,2	22,0	68,0	20,7

Числитель - пределы содержания в металле пяти плавов, знаменатель - среднее значение.



1 – слиток без модифицирования, 2 – модифицированный 600 г/т, 3 – содержание фосфора в плавочной пробе с разливки

Рис. 5. Распределение фосфора по высоте и сечению слитка

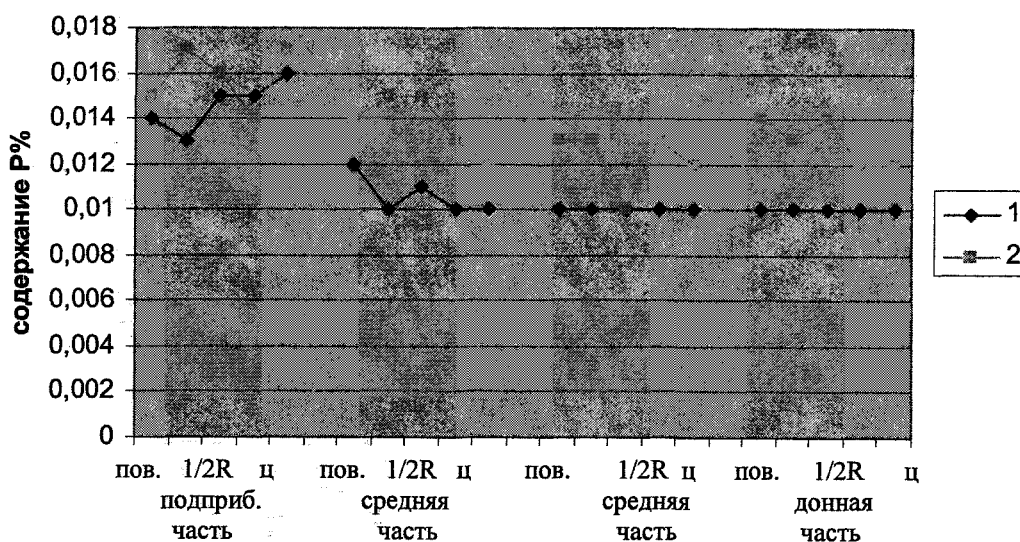


Рис. 6. Изменение содержания фосфора по сечению и высоте опытного (1) и сравнительного слитков (2) стали 34ХН1М

содержание фосфора в обычном слитке осталось на уровне плавочной пробы. Среднее содержание фосфора в обычном слитке осталось на уровне плавочной пробы. Распределение фосфора в опытном слитке более равномерно по сравнению с контрольным слитком. Наиболее загрязнен фосфором металл из осевой части подприбыльного темплета.

Широко распространенное [5-7] мнение о том, что ШЗМ и РЗМ связывают цветные металлические примеси в неметаллические включения базируются на анализе термохимических констант реакций взаимодействия [8]. Однако прямых экспериментальных доказательств присутствия цветных металлов в неметаллических включениях нам неизвестно. Учитывая это, ряд проб из слитков модифицированного и немодифицированного металла марки 60ХН исследовали при помощи элек-

тронного растрового микроскопа JEOL JSM-6460LV, снабженного волновым и энергодисперсионным анализаторами.

С использованием волнового анализатора обнаружено присутствие цветных металлических примесей в металлической матрице немодифицированного слитка, а в металлической матрице модифицированного металла эти примеси не обнаружены. В то же время анализ сложных комплексных включений в слитке модифицированного металла позволил обнаружить цветные металлы в составе включений (рис. 7 и 8).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вредные примеси и цветные металлы при обработке стали порошковой проволокой связываются высокоактивными элементами, содержащимися в модификаторе, и частично удаляются в

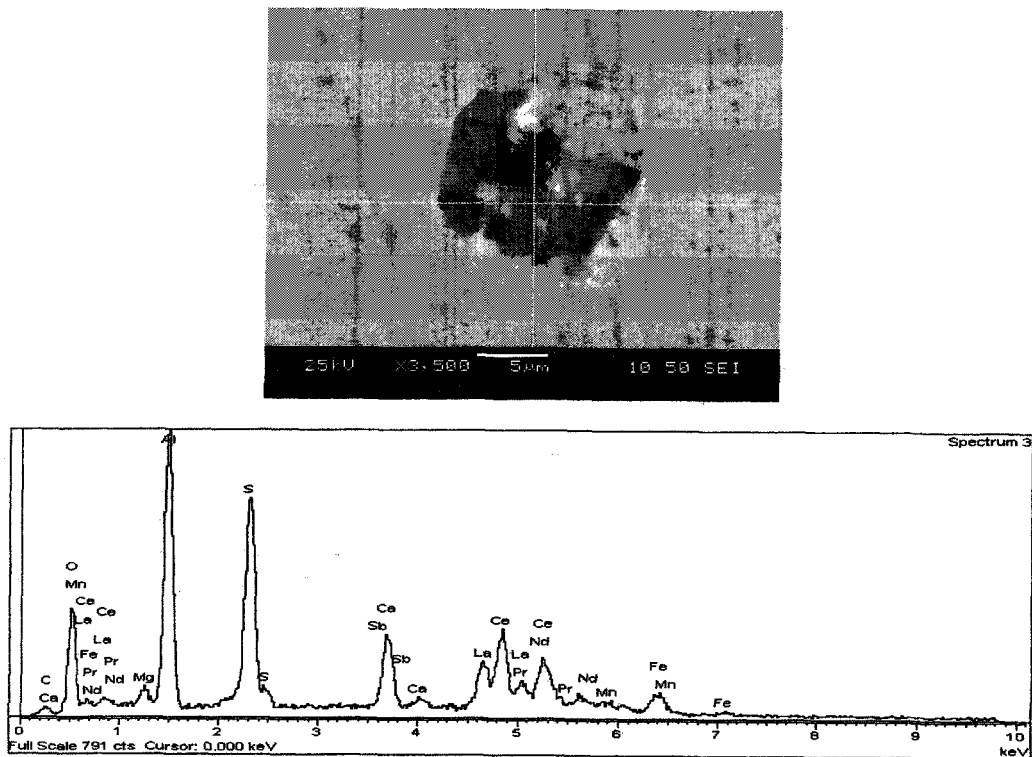


Рис. 7. Вид комплексного включения, содержащего сурьму, в слитке модифицированного металла и энергетический спектр элементов в точке анализа (отмечена на фотографии)

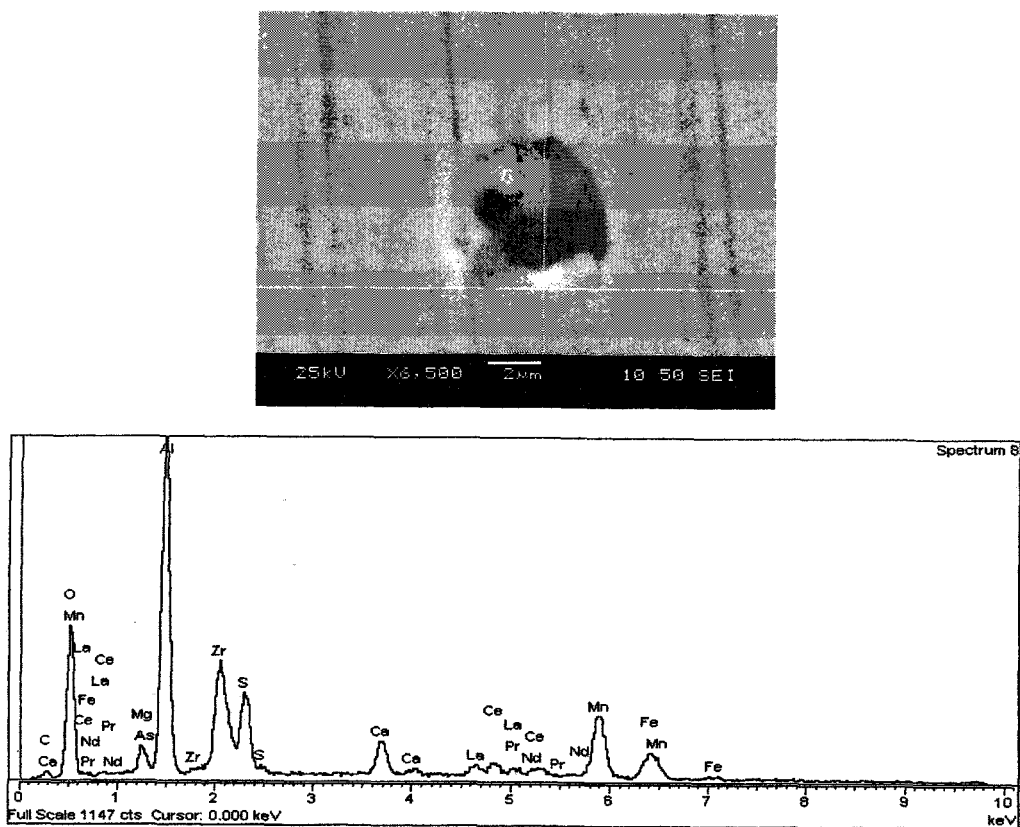


Рис. 8. Вид комплексного включения, содержащего мышьяк, в слитке модифицированного металла и энергетический спектр элементов в точке анализа (отмечена на фотографии)

виде продуктов их взаимодействия. В связи с этим, чем раньше модификатор попадает в металл, тем больше удаляется цветных металлов и вредных примесей. Наиболее благоприятные условия для удаления цветных металлов реализуются при введении модификатора во время обработки расплава в АКОСе. При обработке металла модификатором в изложнице образовавшиеся продукты взаимодействия удалиться не успевают даже при продувке аргоном, но, являясь готовыми подложками, изменяют характер первичной кристаллизации слитка. Об этом свидетельствует изменение характера расположения примесей по сечению и высоте слитка.

Механические свойства металла поковок из стали 60ХН без модифицирования (вариант 1), с модифицированием в ковше на АКОСе (вариант 2) и с модифицированием в изложнице (вариант 3) приведены в табл. 2, а в табл. 3 приведены механи-

ческие свойства стали 34ХН1М, обработанной по тем же вариантам, а также модифицированной в ковше на АКОСе силикокальцием с последующим модифицированием в изложнице комплексным модификатором и продутой аргоном (вариант 4).

Установлено, что наиболее существенное изменение прочностных и пластических свойств стали 60ХН произошло в результате модифицирования металла в ковше на АКОСе. Это, по видимому, обусловлено заметным уменьшением содержания в металле вредных примесей и цветных металлов. Модифицирование металла в процессе наполнения изложницы не приводит к изменению прочностных характеристик, наблюдается незначительное повышение пластических свойств, зато существенно снижается анизотропия свойств металла в продольном и поперечном направлениях. Это также косвенно свидетельствует об изменении характера первичной кристаллизации слитка.

Таблица 2

Механические свойства металла поковок из стали 60ХН

Вариант	Номер плавки	Расход модификатора, кг/т	$\sigma_T$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	НВ	KCU <sub>+20</sub> , кг/см <sup>2</sup>
1	402-1	0	38,0	82,5	17,0	23,0		2,9
	402-2	0	41,0	87,5	16,5	25,0		3,4
	34-440-2	0	44,0	84,0	16,5	27,0		2,2
	Среднее	0	41,0	84,7	16,7	25,0		3,15
2	34-193-60ХН	0,584	55,0	97,0	15,0	50,0	247	3,65
	34-291-60ХН	0,779	65,0	91,0	15,0	23,0	255	3,0
	Среднее		60,0	94,0	15,0	36,5	251	3,325
	Изменение по сравнению с обычным		+19,0 +46,3%	+9,3 +11%	-1,7 -10%	+11,5 +46%		+0,505 +17,9%
3	34-440-1-60ХН	0,615	37,0	75,0	20,5	40,5		3,4
	35-225-1-60ХН	0,450	44,0	83,5	13,5	24,5		2,05
	Среднее		40,5	79,25	17,0	32,5		2,72
	Изменение по сравнению с обычным		0	-5,45 -6,4%	+0,3 2%	7,5 30%		-0 0%

Числитель – абсолютное изменение, знаменатель – относительное.

Таблица 3

Механические свойства металла поковок из стали 34ХН1М

Вариант выплавки	Номер плавки	Расход модификатора, кг/тн		$\sigma_T$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	НВ	KCU <sub>+20</sub> , кг/см <sup>2</sup>
		СК-30	ЦЗМ+РЗМ						
1	35-299-1	0	0	52,0	70,5	21,0	57,5	-	12,6
				51,0	68,5	12,0	22,0		8,15
				1,02	1,03	1,75	2,61		1,55
2	35-391-2	1,0	0	37,5	62,5	26,8	57,5	175	10,2
				44,5	74,0	21,0	45,5	207	6,45
				0,84	0,84	1,28	1,26	1,58	
3	35-299-2	0	0,6	51,0	71,0	21,5	65,0	201	12,8
				48,5	68,5	20,0	51,0	187	6,15
				1,05	1,04	1,07	1,27	2,08	
4	35-391-1	1,0	0,6	38,5	61,0	27,0	59,0	179	10,8
				36,8	60,5	26,3	56,5	174	8,3
				1,05	1,01	1,03	1,04	1,30	

\* К – коэффициент анизотропии. Числитель – продольные образцы, знаменатель – поперечные.

Таким образом, при модифицировании ЩЗМ- и РЗМ-содержащей лигатурой происходит снижение содержания серы, фосфора и цветных металлов, а также изменяется характер их распределения по сечению и высоте слитка. Эффективность обработки стали высокоактивными элементами зависит от технологии их введения в сталь. При обработке расплава в АКОСе достаточно времени не только для связывания, но и удаления вредных примесей и цветных металлов. При модифицировании в изложнице вредные примеси практически не удаляются, но распределение их становится более равномерным, что благоприятно влияет на технологическую пластичность и механические свойства стали. Позднее введение РЗМ-содержащего модификатора в изложницу позволяет уменьшить его расход.

### **Литература**

1. Зинченко В.Г., Судоргин И.В. *Внепечная обработка валковой стали комплексными модификаторами. Современные проблемы электрометаллургии стали. Материалы XII Международной конференции.* - Изд-во ЮУрГУ, 2004.
2. Зинченко В.Г., Судоргин И.В., Роцин В.Е. *Обработка комплексным модификатором стали 60ХН для крупнотоннажных слитков / Электрометаллургия (в печати).*
3. Голубцов В.А. и др. *Рациональная технология*

*модифицирования стали / В.А. Голубцов, Л.Л. Тихонов, В.И. Жазетдинов, А.А. Воронин, И.А. Романцов, В.Е. Роцин // Национальная металлургия. - 2003. - №3. - С. 96-102.*

4. Голубцов В.А. и др. *Происхождение неметаллических включений и пути снижения загрязненности ими металла / В.А. Голубцов, А.А. Воронин, Т.В. Тетюева, В.Е. Роцин, РТ Усманов // Металлург. - 2005. - №4. - С. 73-77.*

5. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Т. *Модифицирование и микралигирование чугуна и стали.* - М.: Металлургия, -1986. - 272 с.

6. Рябчиков И.В. *Ферросплавы средкоземельными и щелочноземельными металлами.* - М.: Металлургия, 1983. - 272 с.

7. Бродецкий И.Л., Троцан А.И., Белов Б.Ф., Крейденко Ф.С., Лепихов Л.С., Исаев О.Б. *Легирование литой стали РЗМ для предотвращения дефектообразования, обусловленного цветными металлами / Неметалев / вкрапления, газы у ливарних сплавах: Зборник наукових прац X МєжнародноХ науково-практичноХ конференц. 12-16 травня 2003р. - Запорїжжєя: ЗНТУ, 2003. - С.86-88.*

8. Дубровин А.С. *Металлотермия специальных сплавов.* - Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2002. - 254 с.

9. Голубцов В.А. *Опыт ввода модификаторов на струю стали при сифонной разливке / Металлург. - 2003. - №9. - С. 38-40.*