

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЧУГУНОВ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**д.т.н., проф. Иванова Л.Х., к.т.н., доц. Колотило Е.В.,
асп. Калашникова А.Ю., асп. Белич А.В., студ. Муха Д.В.**

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Постановка проблемы. Улучшение качества продукции литейного производства, повышение ее надежности и долговечности является насущным требованием нашего времени. Подавляющая часть отливок изготавливается из чугунов, поэтому совершенствование их физико-механических свойств служит важным резервом в деле экономии энергетических и материальных ресурсов и интенсивного развития промышленности.

Комплексное легирование и модифицирование чугунов являются эффективными способами повышения механических и эксплуатационных свойств отливок. Ежегодно в Украине производится около 1 млн. т чугунных отливок, и только 5...6% от их выпуска из высокопрочных чугунов, что существенно меньше, чем в мировом выпуске таких отливок (30...60%). Особенно впечатляющим это является для вальцелитейного производства как основного производителя чугунных отливок.

Чугунные прокатные валки являются сложными отливками, в которых поверхностный рабочий слой представлен белым (или половинчатым с шаровидным или пластинчатым графитом), а сердцевина – серым чугуном с графитом таких же форм [1–3].

Основными причинами, которые сдерживают широкое применение высокопрочного чугуна в практике отечественного литейного производства, является нестабильность модифицирующего эффекта, ухудшение санитарно-гигиенических условий в литейном цехе при обработке расплавов металлическим магнием, а также отсутствием современных эффективных технологий. Применение для модифицирования чугунов РЗМ в практике литейного производства сдерживается недостаточной изученностью влияния РЗМ индивидуально.

В природе РЗМ встречаются в виде минералов, общее содержание РЗМ в земной коре составляет 10–2 мас.%, что значительно больше, чем молибдена (10⁻³ мас.%), никеля (1,8х10⁻³ мас.%) и др. Редкоземельные элементы делят на две подгруппы [4,5]: цериевую (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и иттриевую (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu). Важным источником получения редкоземельной продукции цериевой группы является лопарит, представляющий собой титанотанталонобат натрия, кальция и РЗМ. Основное количество РЗМ в этом минерале относится к цериевой группе (~50%). Для получения иттрия различными экстракционными методами используется комплексное пиритно–фосфатное сырье. При этом сначала производят разделение смеси РЗМ на группы с получением концентрата цериевых земель, европиевого продукта, содержащего в основном самарий, европий и гадолиний, и концентрата иттриевых земель, включающего иттрий и тяжелые РЗМ. Затем из

концентраторов извлекают соответствующие элементы в чистом виде в форме различных соединений, металлов и сплавов [6].

Физические свойства РЗМ, а также данные об их кристаллической структуре впервые были обобщены Г.Шнейдером и доложены на симпозиуме по РЗМ в 1959 г. в Чикаго [7], например:

– самарий (лат. Samarium) Sm – атомный номер 62, атомная масса 150,36, атомный радиус 1,802А, плотность 7,536 г/см³, температура плавления 1345К (1072 ± 5оС), температура полиморфного превращения 1193К (920оС); температура кипения 1943К (1670оС). Самарий не сильно окисляется, однако имеет очень высокое давление пара. По кристаллической структуре самарий отличается от всех других элементов периодической системы, он имеет ромбоэдрическую структуру (структура типа самария). Самарий хорошо сваривается, коррозионностоек. Растворимость самария в железе не превышает 0,2...0,3% при комнатной температуре [5];

– гадолиний (лат. Gadolinium) Gd – атомный номер 64, атомная масса 157,25, атомный радиус 1,802А, плотность 7,886 г/см³, температура плавления 1585К (1312 ± 15оС), температура кипения 3103К (2830оС); гадолиний и самарий имеют очень близкие значения радиусов атомов, но отличаются кристаллическими структурами, так как гадолиний имеет гексагональную структуру типа магния;

– церий (лат. Cerium) Ce – атомный номер 58, атомная масса 140,12, атомный радиус 1,71А, плотность 6,789 г/см³, температура плавления 1077К (804 ± 5оС), температура кипения 3743К (3470оС);

– лантан (лат. Lanthanum) La – атомный номер 57, атомная масса 138,9055, атомный радиус 1,877А, плотность 6,162 г/см³, температура плавления 1193К (920 ± 5оС), температура кипения 3743К (3470оС);

– иттрий (лат. Yttrium) Y – атомный номер 39, атомная масса 88,9059, атомный радиус 1,801А, плотность 4,472 г/см³, температура плавления 1825К (1552 ± 15оС), температура кипения 2903К (2630оС).

– диспрозий (лат. Dysprosium) Dy – атомный номер 66, атомная масса 162,5, плотность 8,66 г/см³, температура плавления 1782К (1409 ± 5оС).

Целью работы было определения усвоения разных РЗМ при модифицировании серых валковых чугунов.

Основные результаты исследования. Плавку чугунов постоянного химического состава (табл. 1) проводили в кварцевом тигле в силитовой печи, после перегрева до 1450 оС обработку расплава возрастающими количествами исследуемых модификаторов производили методом принудительного погружения. Для модифицирования расплавов использовали индивидуальные РЗМ с содержанием примесей, %: церий – 0,41, лантан – 0,39, иттрий – 0,24, гадолиний – 0,29, самарий – 0,46, диспрозий – 0,31. Образцом для исследований служил цилиндр диаметром 20...50 и высотой 130...200 мм, охлаждавшийся с печью, снабженной регулятором температуры ВРТ-3, что обеспечивало скорость охлаждения, имеющую место в осевой части отливки валка в реальной валковой литейной форме ~ 0,5 град/с [8].

Таблица 1

Химический состав базового чугуна						S _c
Содержание химических элементов, %						
C	Si	Mn	P	S	Fe	1,09
4,13	1,47	0,15	0,004	0,02	остальное	

Примечание. Степень эвтектичности определяли по формуле

$$S_c = \% C_{общ} / (4,26 - 0,31\% Si - 0,33\% P - 0,4\% S + 0,027\% Mn).$$

При постоянных условиях плавки, близких исходных и конечных содержаниях серы в металле целесообразно, как установлено в работе [9], оценивать усвоение РЗМ (коэффициент K) как отношение остаточного содержания $PZM_{ост}$ к введенному $PZM_{в}$

$$K = \frac{\% PZM_{ост}}{\% PZM_{в}} \cdot 100.$$

Коэффициенты усвоения РЗМ определяли по усредненному остаточному их содержанию в материале от нижних частей исследуемых образцов (табл. 2).

Таблица 2

Изменение усвоения РЗМ в зависимости от величины присадки при модифицировании серых чугунов

Но- мер плав ки	Скорость охлажде- ния, град/с	Мо- ди- фи- ка- тор	Присадка модифи- катора $PZM_{в}$, % по массе	Среднее остаточное содержание $PZM_{ост}$, %	Доверительные границы содержания РЗМ, %	Кэф- фици- ент K , %
1	2	3	4	5	6	7
25-2	0,5	Sm	0,2	0,040	$0,029 \leq m_x \leq 0,051$	20,0
26-2			0,4	0,128	$0,125 \leq m_x \leq 0,131$	32,0
27-2			0,8	0,179	$0,171 \leq m_x \leq 0,187$	22,4
28-2			1,6	0,447	$0,396 \leq m_x \leq 0,498$	27,9
29-2		Gd	0,2	0,021	$0,017 \leq m_x \leq 0,025$	10,5
30-2			0,4	0,152	$0,146 \leq m_x \leq 0,158$	38,0
31-2			0,8	0,356	$0,341 \leq m_x \leq 0,371$	44,5
32-2			1,6	0,650	$0,589 \leq m_x \leq 0,711$	40,6
33-2		Ce	0,2	0,103	$0,096 \leq m_x \leq 0,110$	51,5
34-2			0,4	0,140	$0,115 \leq m_x \leq 0,165$	46,3
35-2			0,8	0,223	$0,211 \leq m_x \leq 0,235$	44,1
36-2			La	0,2	0,041	$0,038 \leq m_x \leq 0,044$
37-2		0,4		0,079	$0,070 \leq m_x \leq 0,088$	19,8
38-2		0,8		0,154	$0,148 \leq m_x \leq 0,160$	19,3

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
39-2	0,5	Y	0,2	0,090	$0,080 \leq m_x \leq 0,100$	45,0
40-2			0,4	0,167	$0,159 \leq m_x \leq 0,175$	41,7
41-2			0,8	0,302	$0,297 \leq m_x \leq 0,307$	37,5
47-2		Dy	0,2	0,032	$0,032 \leq m_x \leq 0,037$	16,0
47-3			0,4	0,171	$0,165 \leq m_x \leq 0,177$	42,8
47-4			0,8	0,351	$0,340 \leq m_x \leq 0,362$	43,9
47-5			1,6	0,740	$0,728 \leq m_x \leq 0,752$	46,3

В результате проведенных исследований коэффициенты усвоения всех исследованных модификаторов при малых присадках в расплав чугуна были в диапазоне от 10,5 до 51,5%. Усвоение церия, лантана и иттрия уменьшалось с ростом величины присадки их в расплав чугуна, а гадолиния и диспрозия – увеличивалось. Исследованные РЗМ можно расположить по среднему коэффициенту усвоения в следующий убывающий ряд: Ce, Y, Dy, Gd, Sm, La.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия/ Ред. совет: К.В.Фролов (предс.) и др. Стали. Чугуны. Т. II-2/ Г.Г.Мухин, А.М.Беляков, Н.Н.Александров и др.; Под общ. ред. О.А.Банных и Н.Н.Александрова. □ М.: Машиностроение, 2000.–784 с.
2. Кривошеев А.Е. Литые валки (теоретические и технологические основы производства).–М.: Металлургиздат, 1957.– 360 с.
3. Справочник по чугунному литью/ Под ред. Н.Г.Гиршовича.–3-е изд., перераб. и доп. –Л.: Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1978.– 758 с.
4. Маркова И.А., Терехова В.Ф., Савицкий Е.М. Иттрий, его сплавы и применение // Редкоземельные металлы и сплавы. – М.: Наука, 1971.–С. 24–28.
5. Торчинова Р.С., Терехова В.Ф., Савицкий Е.М. Сплавы самария и европия // Редкоземельные металлы и сплавы.– М.: Наука, 1971.– С. 34–41.
6. Перспективы расширения масштабов применения редкоземельных металлов в промышленности / А.П.Зефилов, Г.Е.Каплан, С.Д.Моисеев, Н.Н.Александрова. □ М.: Машиностроение, 2000. 1973.– С. 34–36.
7. Приданцев М.В. Влияние примесей и редкоземельных элементов на свойства сплавов.– М.: Металлургиздат, 1962.– 208 с.
8. Колотило Е.В. Исследование и усовершенствование процессов производства листопрокатных валков из модифицированных чугунов: Дис. ... кандидата техн. наук: 05.16.04; Защищена 14.11.1977; Утв. 26.04.1978.– Д., 1977.– 207 с.
9. Белай Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Днепротр. металлург. ин-т.– Д., 1967.– 23 с.