

ЛИТЕЙНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.745.55

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-7-290-77-81

А. А. Гарченко¹, В. А. Коровин², И. О. Леушин², М. А. Гейко²

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА СТОЙКОСТИ ИЗЛОЖНИЦ ОТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ, МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

¹ АО «Русполимет» г. Кулебаки, Нижегородская область

² Нижегородский государственный технический университет

им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

e-mail: v.korovin2015@yandex.ru

Рассмотрены варианты модифицирования и микролегирования стали 20Л при получении изложниц. Представлены графики определения физического коэффициента расширения образцов от этих вариантов и результаты коэффициентов. Рассмотрена связь указанных моментов с коэффициентом стойкости.

Ключевые слова: сталь, изложница, модифицирование, микролегирование, dilatometer, коэффициент термического расширения, коэффициент стойкости

A. A. Garchenko¹, V. A. Korovin², I. O. Leushin², M. A. Geyko²

DEPENDENCE OF MOLD RESISTANCE COEFFICIENT ON MODIFICATION, MICROALLOYING AND THERMAL EXPANSION COEFFICIENT

¹ JSC «Ruspolymet», Kulebaki, Nizhny Novgorod region

² Nizhny Novgorod State Technical University

n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Variants of modification and microalloying of Steel 20L in the production of molds are considered. Graphs for determining the physical coefficient of expansion of samples from these variants and the results of the coefficients are presented. The connection between these moments and the durability coefficient is considered.

Keywords: steel, mold, modification, microalloying, dilatometer, coefficient of thermal expansion, resistance coefficient

Повышение эксплуатационной стойкости изложниц позволит сократить их количество и продлить срок эксплуатации, снизив при этом затраты на их приобретение, что приведет к увеличению объемов выпускаемой продукции и повышению рентабельности производства. Повышение срока службы изложниц является актуальной задачей и имеет важное научное и практическое значение [1–3].

В связи с этим большое внимание уделялось вопросам модифицирования и микролегирования расплавов чугуна и стали, которые позволили бы при универсальности технологического процесса получения изложниц и минимуме затрат обеспечить повышение уровня эксплуатационной стойкости и их срока служ-

бы [4–7], которое может быть выражено через коэффициент стойкости.

Величина термических напряжений в отливке (изложнице) зависит от перепада температур между отдельными ее частями или по сечению стенки, коэффициента термического сжатия и модуля упругости. Способность же выдерживать эти напряжения без разрушения характеризуется прочностью материала. Исходя из изложенного, способность материала выдерживать возникающие напряжения – стойкость против образования трещин – должна быть прямо пропорциональна временному сопротивлению и обратно пропорциональна коэффициенту термического сжатия, модуля упругости и перепаду температур. Нельзя исклю-

чать возможность релаксации возникающих напряжений за счет работы пластической деформации. Повышенную пластичность сплава следует рассматривать как фактор, снижающий вероятность образования трещин.

Следовательно, в общем виде функциональная зависимость стойкости материала против образования трещин может быть выражена в виде обобщенного коэффициента.

Обобщенный показатель стойкости материала изложниц, выявляющий взаимосвязь свойств материала при термоциклическом нагружении, вычисляется по формуле

$$K = \frac{(G_b + \delta) \cdot \lambda}{\alpha},$$

где G_b – предел прочности при растяжении, МПа; δ – относительное удлинение, %; λ – теплопроводность, Вт / (м °С); α – коэффициент линейного расширения, 1/°С; E – модуль упругости, МПа.

Из анализа формулы следует, что стойкость материала повышается с увеличением теплопроводности (за счет снижения величины термических напряжений в стенке изложницы), предела прочности и относительного удлинения, которые тормозят зарождение и распространение трещин, а также с уменьшением коэффициента линейного расширения и модуля упругости.

Ход исследования

В ходе исследований на ООО «Выксунский литейный завод» были изготовлены отливки

изложниц из стали марки 20Л, массой по 1,5 т каждая по трем вариантам выпечной обработки стали.

Выплавку стали проводили в электродуговой печи ДС6-Н1 в соответствии с ТИ 82382190.25010.00001 «Выплавка стали и чугуна в дуговых печах».

Металл выплавляли в электродуговой печи с основной футеровкой емкостью 6 тонн.

Плавку проводили с применением в качестве металлошихты углеродистого лома 2А и боя чугуна 17А. Окисление углерода осуществляли путем вдувания в расплав газообразного кислорода. Вдувание кислорода проводили через рабочее окно при помощи стальной трубы. Давление кислорода поддерживали на уровне 8–12 атм.

Для модифицирования расплава применяли комплексный модификатор L-CAST5.2, который содержит соединения кальций-барий-стронциевых карбонатов и другие модифицирующие активные элементы (Ba, Ca, Sr, Mg и т. п.), оказывающие на расплав выраженные рафинирующие и гомогенизирующие воздействия. Химический состав L-CAST5.2 приведен в табл. 1.

Модификатор БАРС25 кроме соединений кальций-барий-стронциевых карбонатов и других рафинирующе-модифицирующих активных элементов дополнительно содержит алюминий, оказывающий дополнительное раскислительное действие.

Таблица 1

Химический состав карбонатного модификатора L-CAST5.2

Массовая доля, %											
SiO ₂	BaO	CaO	SrO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CO ₂
24,8	16	21,5	5,5	0,9	3	1,5	4	0,2	2,9	0,9	18

Для микролегирования применяли никель, молибден и ванадий. Эти элементы активно стабилизируют и упрочняют металлическую основу, повышают ее твердость и прочность, измельчают зерно, увеличивают сопротивление окислению при высоких температурах.

Вариант № 1. В качестве шихты применяли углеродистый лом марки 2А и бой чугуна марки 17А по ГОСТ 2787-2019 «Металлы черные вторичные. Общие технические требования». Легирование производили присадками ферросплавов – ферросилицием и ферромарганцем. Содержание углерода в стали корректировали

присадками крупки графитовой. По достижению заданной температуры металл выпустили в ковш с шамотной футеровкой.

Перед выпуском металла на дно ковша засыпали комплексный модификатор L-CAST 5.2 в количестве 0,2 %, а во время выпуска на струю металла вводили модификатор БАРС25 в количестве 0,2 %. Температура ковша перед выпуском металла из печи составляла 630 °С.

Вариант № 2. Выплавку и ковшовую обработку проводили аналогично первому варианту. Дополнительно во время выпуска металла из печи выполнили микролегирование

металла лигатурой никель-молибден 40/60 в количестве 0,2%.

Вариант № 3. Выплавку проводили аналогично первому варианту.

Обработка расплава в этом варианте осуществлялась вводом модификатора Lcast5.2 в количестве 0,2 % в печь и затем, при наполнении в ковш, модификатора INSTEEL-7 в количестве 0,2 %.

Интерес представляют комплексные модификаторы системы Fe-Si-Mg- Ca-P3M-Al марки INSTEEL-7.

С целью повышения стойкости изложниц путем модифицирования и микролегирования использовали комплексный модификатор INSTEEL-7, полученный из НПП «ТЕХНОЛОГИЯ» (г. Челябинск); фактическое содержание элементов приведено в табл. 2.

Таблица 2

**Химический состав комплексного модификатора INSTEEL-7
(ТУ 082-002-72684889-2015), фракция 1,0-10 мм**

Массовая доля, %							
Элементы	Ca	Ba	Al	P3M/TRE	Ti	Si	Fe
Фактическое	12,0	5,6	1,14	5,1	8,1	48,2	Остальное

В состав комплексного модификатора INSTEEL-7 входят элементы ЦЗМ, Si, Ti, Al, P3M которые, с одной стороны, осуществляют карбонитридное упрочнение, повышают твердость, ударную вязкость, жаростойкость и окалиностойкость, а с другой – влияют на тип,

форму, количество и равномерность распределения образующихся неметаллических включений.

Химический состав металла, полученного по трем вариантам внепечной обработки расплава, приведен в табл. 3.

Таблица 3

**Химический состав стали 20Л, полученной по трем вариантам
внепечной обработки расплава**

№ варианта	Массовая доля, %				
	C	Mn	Si	P	S
1	0,24	0,7	0,44	0,016	0,008
2	0,25	0,68	0,4	0,015	0,008
3	0,23	0,72	0,48	0,016	0,007
ГОСТ 977–88	0,17–0,25	0,45–0,90	0,20–0,52	<0,040	<0,040

В результате работы получены три отливки, предназначенные для изготовления конусных цилиндрических изложниц типа К13С. От каждой изложницы отобрано по две пробы, из которых изготовили два образца длиной 50 мм и диаметром 5 мм. Всего изготовлено шесть образцов.

По окончании механической обработки получены три изложницы с порядковыми номерами 10060, 14573, 14682 по первому, второму и третьему варианту обработки соответственно. Результаты испытаний механических свойств приведены в табл. 4.

Таблица 4

Механические свойства образцов стали 20Л

№ варианта	Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести σ_t , МПа	Относительное удлинение после разрыва δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость, Дж/см ² (кгс·м/см ²)
1	500	405	28	60	57 (570)
2	750	630	35	30	80 (800)
3	450	355	11	16	87 (870)
ГОСТ 977–88	412	216	35	22	49,1 (490)

С помощью программного обеспечения dilatометра DIL 402 Expedis Select были получены следующие результаты.

Прибор регистрирует dl-кривую, которая отражает расширение (сужение) образца при изменении температуры.

По данной кривой можно определить физический коэффициент расширения $\alpha(T)$ в любой ее точке и технический коэффициент расширения $\alpha(\Delta T)$ в выбранном температурном интервале.

На рис. 1–3 приведены dl-кривые испытаний образцов.

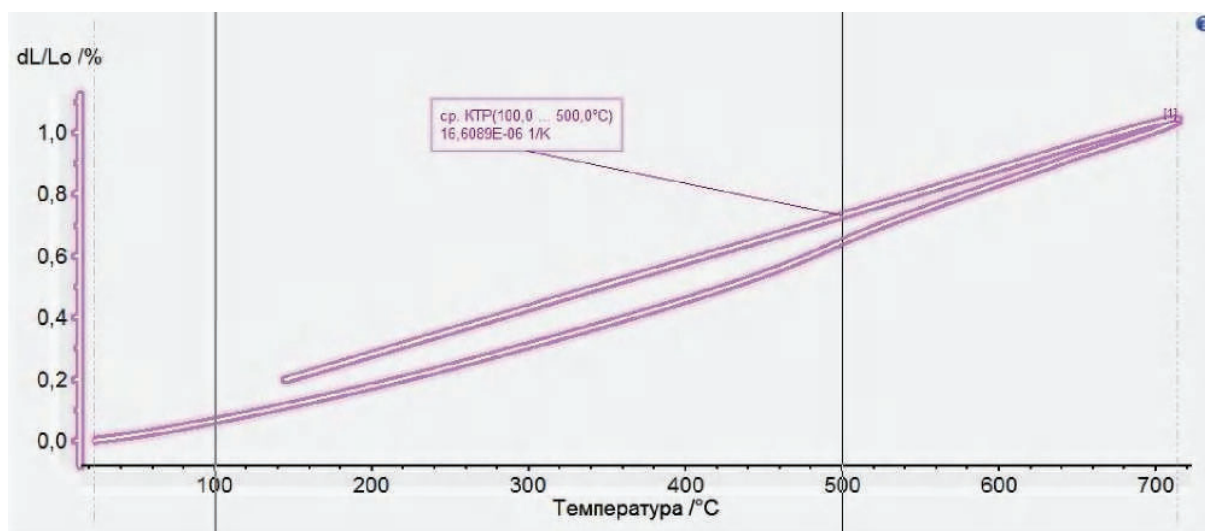


Рис. 1. Значение технического коэффициента $\alpha(\Delta T)$ при нагреве образца в температурном интервале 100÷500 °С. Изложница, отлитая по первому варианту (выплавка с дополнительным модифицированием)

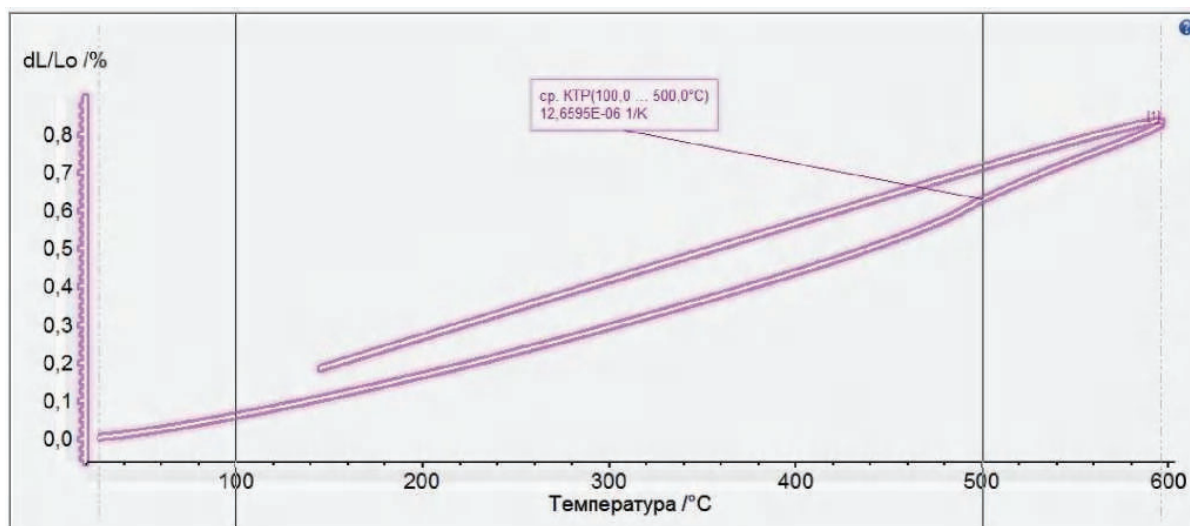


Рис. 2. Значение технического коэффициента $\alpha(\Delta T)$ при нагреве образца в температурном интервале 100÷500 °С. Изложница, отлитая по второму варианту (выплавка с дополнительным модифицированием и микролегированием)

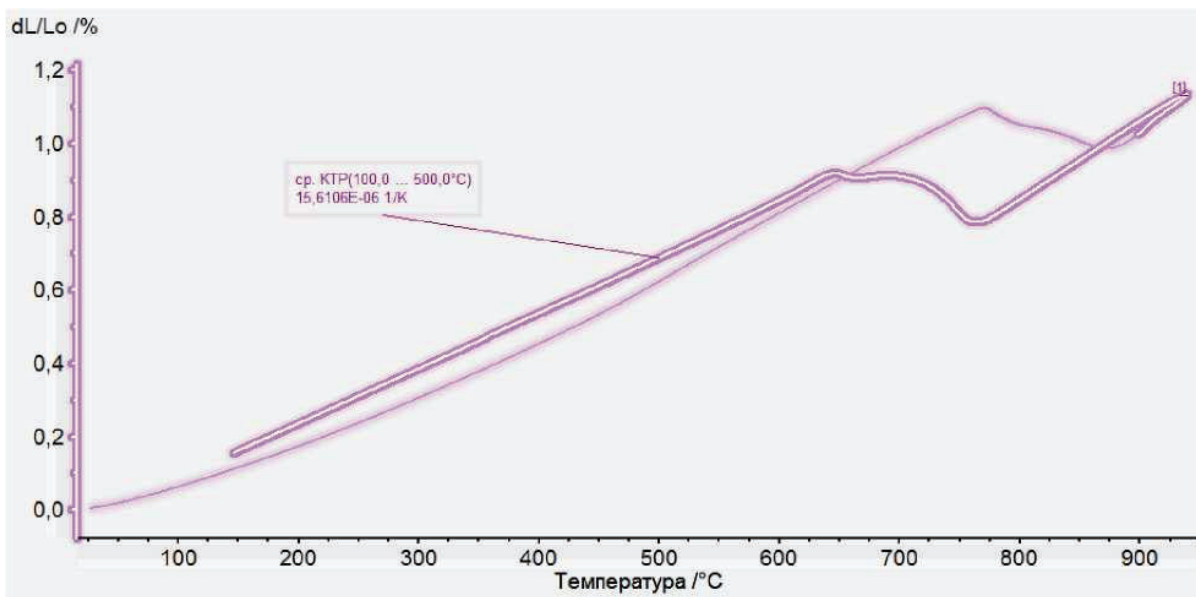


Рис. 3. Значение технического коэффициента $\alpha(\Delta T)$ при нагреве образца в температурном интервале 100÷500 °С. Изложница, отлитая по третьему варианту (выплавка с дополнительным модифицированием и обработкой INSTEEL-7)

Рассчитаем коэффициент стойкости для изложниц, изготовленных в ходе работы.

Для изложниц, отлитых из стали 20Л:

1-й вариант = 0,60 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$);

2-й вариант = 0,92 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$);

3-й вариант = 0,59 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$).

Таким образом, при $K \geq 0,61$ ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$) можно ожидать стойкость стальных изложниц более 41 налива.

Для изложниц, отлитых из чугуна:

1-й вариант = 0,0007 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$);

2-й вариант = 0,0008 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$);

3-й вариант = 0,0008 ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$).

Таким образом, при $K \geq 0,0008$ ($\text{м}^{\circ}\text{C}^2$) можно ожидать стойкость чугунных изложниц более 30 наливов.

Выводы

Установлена зависимость стойкости изложниц от модифицирования, микролегирования и коэффициента термического расширения, что подтверждено экспериментальными данными и выражено в математическом уравнении коэффициента стойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафаров, Р. Ш. Повышение срока службы изложниц и поддонов для разливки стали / Р. Ш. Сафаров, Л. А. Большаков, А. М. Скребцов // Вестник приазовского государственного технического университета. – 2000. – № 10. – С. 78–81.
2. Курчанов, В. А. В сб.: Повышение стойкости изложниц / В. А. Курчанов. – М. : Металлургия. 1989. – 142 с.
3. Фомин, С. Ф. Влияние некоторых факторов на трещинообразование в чугунных изложницах / С. Ф. Фомин // Теплофизика в литейном производстве. – Минск : Изд-во Академии наук БССР, 1963. – С. 260–264.
4. Крещановский, Н. С. Модифицирование стали / Н. С. Крещановский, М. Ф. Сидоренко. – М. : Металлургия, 1970. – 296 с.
5. Гольдштейн, Я. Е. Модифицирование и микролегирувание чугуна и стали / Я. Е. Гольдштейн, В. Г. Мизин. – М. : Металлургия, 1986. – 272 с.
6. Микролегирувание литой конструкционной стали / В. А. Коровин, Р. Н. Палавин, И. О. Леушин, С. В. Костромин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2011. – № 2 (87). – С. 199–207.
7. Научные и технологические основы микролегирувания стали / В. И. Пилушенко [и др.]. – М. : Металлургия, 1994. – 384 с.