

# Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

УДК 669.162:66.046.5:536.41

DOI: 10.14529/met190201

## ВЛИЯНИЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ РАСПЛАВА ДОМЕННОГО ЧУГУНА НА ЕГО КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ

**М.М. Сагалакова**

*Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Абакан, Россия*

Статья посвящена изучению влияния обработки расплава доменного чугуна водородом на его коэффициент линейного расширения. В настоящее время происходит смена взглядов на природу графитных включений в чугуне. В монографии В.К. Афанасьева «Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна» отмечается влияние газов на формирование структуры и свойств чугуна. В работе особое внимание уделено влиянию газов (водорода, азота и кислорода) на изменение коэффициента линейного расширения. Рассмотрены два способа наводороживания – электролитическое наводороживание шихты, укладка на зеркало расплава влажного асбеста, сделаны выводы об их влиянии на коэффициент линейного расширения доменного чугуна после обработки. Показано, что электролитическое наводороживание шихты приводит к снижению коэффициента линейного расширения до значений  $6,2 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> в интервале температур 100–150 °С. Наводороживание расплава влажным асбестом показало снижение коэффициента линейного расширения до  $6,5 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> в интервале температур испытания 100–150 °С. Изучение микроструктуры доменного чугуна до и после обработки предложенными методами приводит к устранению графитных включений и получению ледебуритной структуры. Проведено сравнение значений коэффициента линейного расширения доменного чугуна со значениями коэффициента линейного серого чугуна СЧ20, быстрорежущей стали Р6М5. В настоящее время большое внимание уделяется материалам, имеющим стабильные размеры во всем интервале рабочих температур. Классическим примером таких сплавов являются инвары, которые для снижения коэффициента линейного расширения в своем составе могут содержать такие дорогостоящие элементы, как платина и палладий. Актуальной задачей является замена дорогостоящих материалов на материалы, не имеющие в своем составе дорогих добавок и имеющие низкий коэффициент линейного расширения в интервале эксплуатационных температур. Таким материалом может стать доменный чугун.

*Ключевые слова:* доменный чугун, наводороживание, коэффициент линейного расширения, обработка расплава, влажный асбест, электролитическая обработка шихты.

История чугуна насчитывает много веков, но до сих пор чугун считается материалом с низкими механическими свойствами. Низкие механические свойства чугуна связывают с наличием в структуре выделений так называемого графита. До сих пор природа образования графитных включений в чугуне не выяснена.

Из учебников по материаловедению известно, что чугуном называют сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится более 2,14 %. В соответствии с компилятивной диаграммой состояния Хансена и Андерко чугуны подразделяются на белые и серые.

История диаграммы состояния железо–углерод насыщена борьбой мнений большого количества ученых-исследователей, данные которых были приведены в единую систему польским ученым Е. Тыркелем в 1968 г. [1]. В своей работе Е. Тыркель отмечает: «Диаграмма состояния железо–углерод, несмотря на её более чем 60-летнее существование и на посвященное ей большое число исследований, установлена еще не совсем точно. Исследования этой диаграммы продолжают и по-прежнему необходимы» [1, 2].

В настоящее время происходит смена взглядов на природу графитных включений

в чугунах. Академик В.К. Афанасьев в своей монографии «Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна» отмечает: «В настоящее время, имея многочисленные сведения о влиянии водорода, азота и кислорода на свойства различных материалов и сплавов, следует считать систему на основе железа пятерной, то есть Fe–H–N–O–C. Это является необходимым изменением образа мышления, без него еще долгое время будут затрачиваться материальные и людские ресурсы на создание продукции низкого качества или весьма дорогостоящей, оказывающей катастрофически вредное влияние на окружающую среду» [3].

Принимая во внимание, что газы (водород, азот и кислород) присутствуют повсеместно, в том числе и в сплавах, была проведена серия экспериментов по обработке расплава доменного чугуна газами [4–7].

В качестве примера использовали доменный чугун следующего химического состава, вес. %: C – 4,3; Si – 0,6; Mn – 0,75; P – 0,20; S – 0,016; Ti – 0,02; Cr – 0,06; Pb – 0,002; железо – остальное.

Особое внимание было уделено обработке расплава с помощью водорода. На основании экспериментальных данных об изменении коэффициента линейного расширения доменного чугуна после различных видов обработок было сделано предположение, что аномалия линейного расширения доменного чугуна связана с присутствием водорода [8–12].

В последнее время проведено большое количество исследований по изучению влияния различных способов обработки расплава на структуру и свойства чугуна. Проведенные исследования показали, что продувка расплава азотом, водяным паром, азотом и водяным паром может изменить количество графита в структуре чугуна, а значит газы водород, азот и кислород оказывают большое влияние на структуру чугуна, получаемую при кристаллизации [13–16].

Для подтверждения этого предположения проводилось наводороживание расплава двумя способами.

Для изучения влияния наводороживания на линейное расширение чугуна проводилась обработка, заключающаяся в том, что на поверхность расплава при 1400 и 1200 °C укладывался влажный асбест. Результаты данной обработки приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Здесь следует отметить несколько осо-

бенностей. Прежде всего обращает на себя внимание увеличение значений коэффициента при температуре 100 °C до  $8,6 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> для обработки расплава тремя асбестовыми тампонами по сравнению с исходным. Причем повышение температуры обработки расплава до 1400 °C не приводит к такому значительному увеличению коэффициента, как наводороживание при 1200 °C. В интервале температур 100–150 °C наблюдается снижение КЛР до  $6,5 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>.

В среднетемпературном интервале испытания 150–300 °C наблюдается резкое аномальное увеличение значений линейного расширения до  $16,1 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Следует отметить, что по сравнению с вышеизложенными обработками расплава обработка влажным асбестом сдвигает среднетемпературную аномалию в сторону больших температур – 350 °C.

В интервале испытаний 350–400 °C происходит резкое уменьшение коэффициента линейного расширения; минимальное значение КЛР при 400 °C соответствует  $9,6 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> после обработки расплава тремя тампонами асбеста. При дальнейшем увеличении температуры испытания до 450 °C происходит некоторое увеличение КЛР.

Известно, что с помощью обработки шихты можно оказывать большое влияние на технологические и эксплуатационные свойства сплавов. Предварительная обработка шихтовых материалов предусматривает косвенное воздействие на расплав, несмотря на это можно эффективно влиять на линейное расширение.

В данной работе был использован метод наводороживания, заключающийся в использовании шихты, подвергнутой электролитической обработке в 20%-ном растворе серной кислоты в течение 1, 2, 3, 4 и 5 ч при плотности тока  $0,3$  А/дм<sup>3</sup>. Кристаллизация полученного металла проводилась в алюминиевом кокиле. Полученные результаты сведены в табл. 2 и отражены на рис. 2.

Электролитическое наводороживание приводит к ярко выраженному аномальному изменению КЛР во всем интервале температур испытания.

Следует отметить значительное увеличение КЛР в интервале 50–100 °C до  $9,1 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> в случае электролитического наводороживания шихты в течение 3 ч, по сравнению с чугуном без обработки расплава в интервале

Таблица 1

Влияние обработки расплава влажным асбестом на линейное расширение доменного чугуна

Вид обработки расплава	$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	Кол-во тампонов	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}, \text{град}^{-1}$ при температуре, $^\circ\text{C}$								
			50	100	150	200	250	300	350	400	450
Без обработки	—	—	7,01	7,34	7,44	11,12	13,01	13,91	14,42	14,93	14,94
Влажным асбестом	1200	3	7,21	8,60	6,51	9,90	13,73	15,51	16,12	9,61	10,40
	1200	8	7,44	8,35	6,80	9,92	14,31	15,33	15,90	12,32	13,11
	1400	8	7,24	7,91	7,05	10,10	13,72	15,51	16,12	10,91	12,12

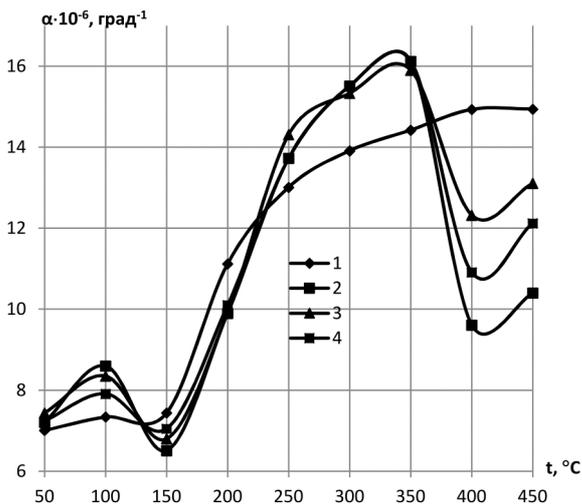


Рис. 1. Влияние обработки расплава влажным асбестом на линейное расширение доменного чугуна: 1 – без обработки; 2 – 3 тампона при 1200 °C; 3 – 8 тампонов при 1200 °C; 4 – 8 тампонов при 1400 °C

Таблица 2

Влияние времени электролитического наводороживания шихты в 20 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (5 % от массы расплава) на линейное расширение доменного чугуна

Вид обработки	$\tau_{обр}, \text{ч}$	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}, \text{град}^{-1}$ при температуре, $^\circ\text{C}$								
		50	100	150	200	250	300	350	400	450
Без обработки	—	7,01	7,34	7,44	11,12	13,01	13,91	14,42	14,93	14,94
Электролитическое наводороживание шихты	1	7,41	7,92	6,71	10,61	15,12	16,30	13,31	11,70	12,12
	2	7,03	8,53	7,22	11,42	16,31	15,32	10,80	11,74	11,83
	3	7,04	9,14	8,93	10,12	14,54	18,01	15,32	9,93	11,12
	4	6,82	7,52	6,22	10,21	13,53	14,63	14,23	14,42	14,73
	5	7,61	8,13	7,44	10,83	16,51	17,32	10,50	9,71	10,91

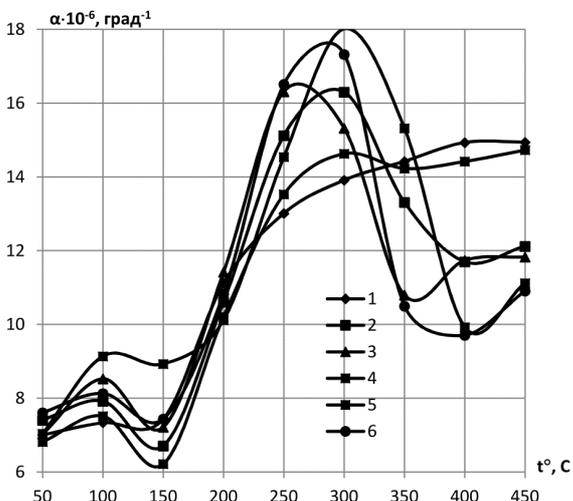


Рис. 2. Влияние времени электролитического наводороживания шихты в 20%-ной серной кислоте (5 % от массы расплава) на линейное расширение доменного чугуна: 1 – без обработки; 2 – 1 ч; 3 – 2 ч; 4 – 3 ч; 5 – 4 ч; 6 – 5 ч

## Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

температур 100–150 °С наблюдается снижение коэффициента линейного расширения: здесь отмечено его минимальное значение  $6,2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$  – электролитическое наводороживание шихты в течение 4 ч.

В среднетемпературном интервале испытания 200–300 °С КЛР резко увеличивается; особенно сильно эта аномалия выражена для электролитического наводороживания шихты в течение 3 ч ( $\alpha = 18,0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ ).

В высокотемпературном интервале испытания 300–400 °С происходит снижение коэффициента линейного расширения до  $9,7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$  после наводороживания шихты в течение 5 ч. Причем, чем продолжительнее процесс наводороживания, тем на большую величину снижается КЛР в данном темпера-

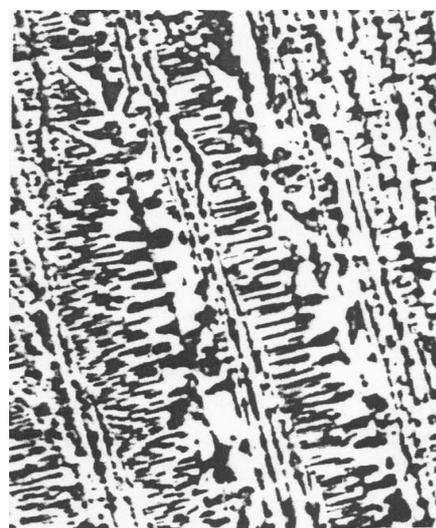
турном интервале. Следует отметить, что наводороживание шихты в течение 4 ч практически не изменяет КЛР в средне- и высокотемпературном интервале испытания по сравнению с исходным. Электролитическое наводороживание в течение 2 ч сдвигает среднетемпературную аномалию в сторону меньших температур – 250 °С. Незначительное увеличение коэффициента линейного расширения наблюдается в интервале 400–450 °С.

При изучении микроструктуры установлено, что такая обработка чугунного расплава приводит к образованию ледебуритной структуры (рис. 3 и 4).

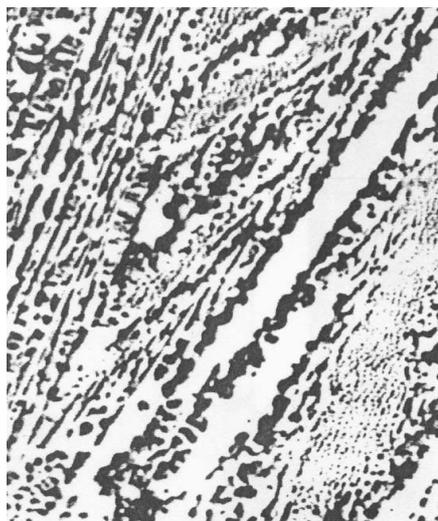
Таким образом, наводороживание расплава оказывает значительное влияние на коэффициент линейного расширения чугуна.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Микроструктура чугуна без обработки расплава (а), после обработки расплава влажным асбестом: 3 тампона при 1200 °С (б); 8 тампонов при 1200 °С (в); 8 тампонов при 1400 °С (г);  $\times 300$

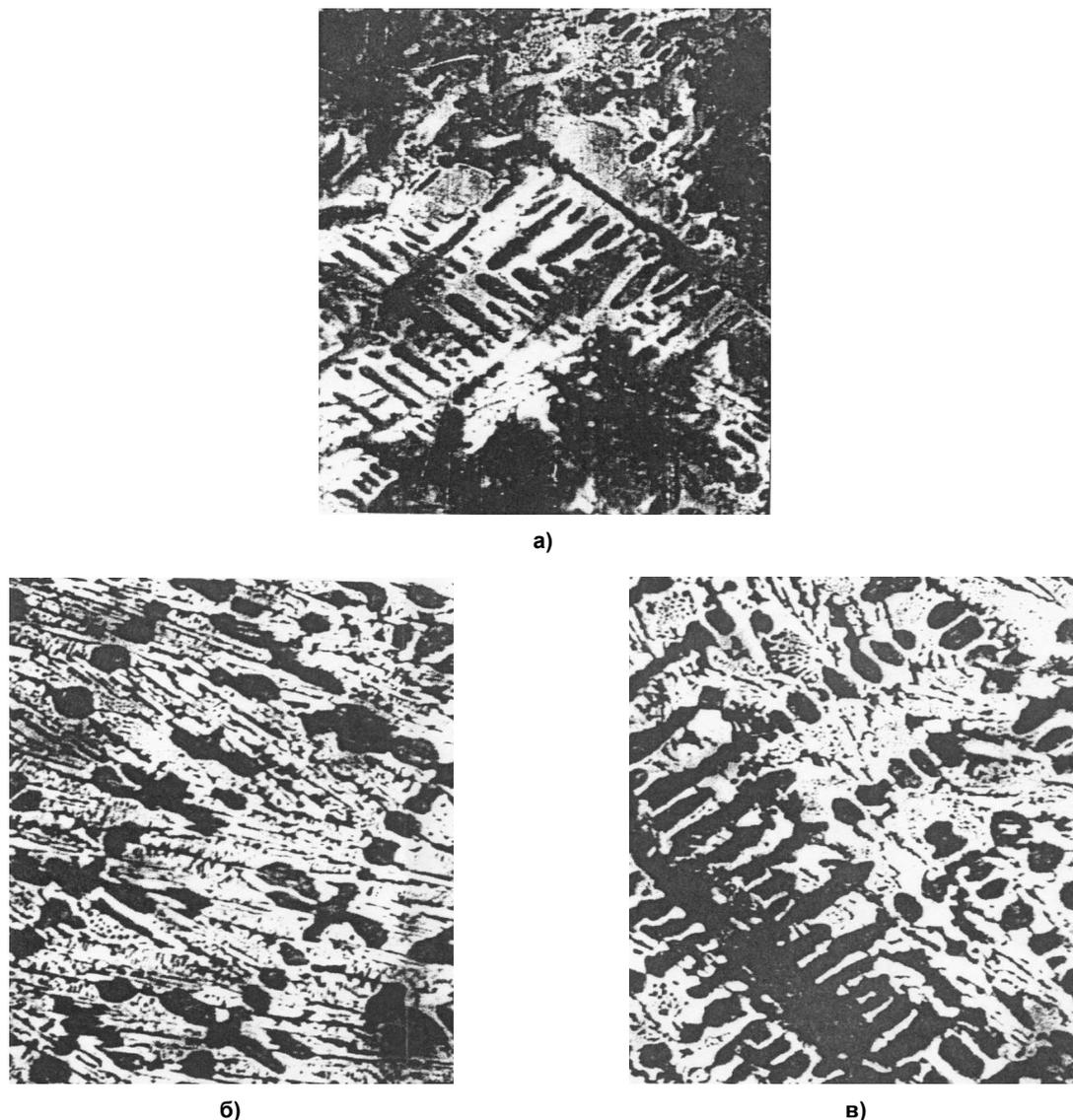


Рис. 4. Микроструктура чугуна без обработки расплава (а), после введения электролитически наводороженной шихты в течение 1 ч (б); 2 ч (в);  $\times 300$

Отмечена ярко выраженная низкотемпературная аномалия изменения КЛР, заключающаяся в увеличении коэффициента в интервале  $50\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и снижении его в интервале  $100\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  по сравнению с чугуном без обработки расплава. В среднетемпературном интервале испытания  $200\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается резкое аномальное увеличение значений коэффициента линейного расширения. Следует отметить, что по сравнению с вышеизложенными обработками обработка влажным асбестом сдвигает среднетемпературную аномалию в сторону больших температур –  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В высокотемпературном интервале испытания  $300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит резкое снижение коэффициента линейного расширения. Электролитическое наводороживание приво-

дит к яркому выражению аномального изменения КЛР во всем интервале температур испытания. Следует отметить, что электролитическое наводороживание шихты в течение 4 ч практически не изменяет КЛР в средне- и высокотемпературном интервале испытания по сравнению с исходным. Электролитическое наводороживание в течение 2 ч сдвигает среднетемпературную аномалию в сторону меньших температур –  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В интервале  $400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$  коэффициент линейного расширения несколько повышается.

В табл. 3 и на рис. 5 приведены результаты изучения КЛР при испытаниях до  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Видно, что оба приема обработки расплава снижают КЛР чугуна при температурах  $50\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и создают высокотемпературные и

Влияние обработки расплава на линейное расширение доменного чугуна

Режим обработки	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ , град $^{-1}$ при температуре, °С													
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Без обработки	7,93	9,41	9,92	10,88	11,65	12,60	12,89	13,14	13,68	13,37	13,15	13,34	14,62	23,02
Укладка 8 влажных асбестовых тампонов на зеркало металла	6,81	7,12	7,63	9,01	13,01	14,13	14,52	14,91	15,01	11,73	9,72	11,52	26,82	100,0
Применение 5 % электролитически наводороженной шихты в 20 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , $\tau = 2$ ч	6,52	8,13	7,24	8,64	14,52	18,55	15,23	9,64	10,12	12,43	14,01	14,61	15,72	14,22
СЧ20	7,92	9,43	9,93	10,81	11,62	12,63	12,91	13,12	13,68	13,41	13,23	13,31	16,42	23,04
АЧВ-1	8,42	9,71	10,81	11,63	12,01	9,92	1,81	12,03	13,24	13,45	13,91	13,32	13,83	14,54
Р6М5 деформированная	8,76	10,51	11,21	11,97	12,36	12,95	13,12	13,85	14,34	13,76	13,48	12,90	12,83	12,65

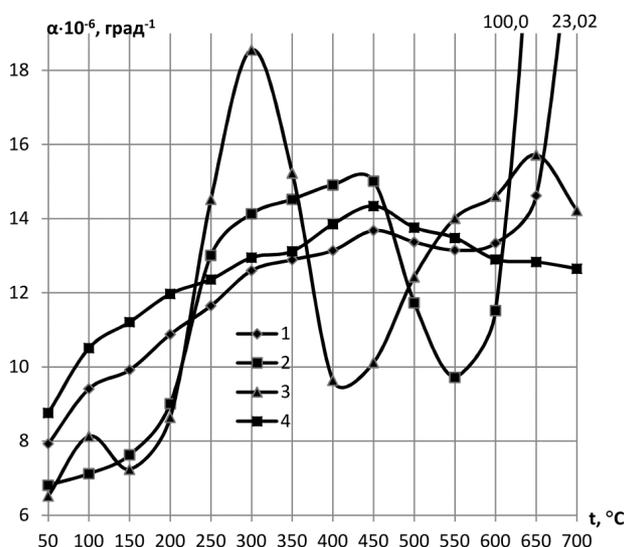


Рис. 5. Влияние обработки расплава на линейное расширение доменного чугуна: 1 – без обработки; 2 – 8 влажных тампонов на зеркало расплава; 3 – применение 5 % наводороженной шихты в 20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  $\tau = 2$  ч; 4 – Р6М5

низкотемпературные аномалии. Обработка расплава, которая заключается в укладке влажных асбестовых тампонов на зеркало металла, приводит к появлению самых высоких значений КЛР при 700 °С ( $\alpha = 100 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ ).

Таким образом, выбранные режимы обработки расплава доменного чугуна способствуют снижению КЛР в низкотемпературном интервале испытаний по сравнению с серым чугуном СЧ20, антифрикционным чугуном АЧВ-1 и деформированной сталью Р6М5, а наводороживание расплава укладкой влажного асбеста на зеркало значительно снижает КЛР обработанного чугуна в высокотемпературном интервале испытаний. Правильный выбор режимов наводороживания приводит к измельчению, устранению графитных вклю-

чений. Это свидетельствует о том, что предложенные виды обработки расплава способны влиять на механические и эксплуатационные свойства доменного чугуна.

**Литература**

1. Тыркель, Е. История развития диаграммы железо – углерод / Е. Тыркель. – М.: Машиностроение, 1968. – 280 с.
2. Справочник по машиностроительным материалам. Т. 3: Чугун / под ред. Г.И. Погодина-Алексеева. – М.: Машигиз, 1959. – 600 с.
3. Сиско, Ф.Т. Современная металлургия / Ф.Т. Сиско. – М.: Металлургия, 1946. – 372 с.
4. Гречин, В.П. Износостойкие чугуны и сплавы / В.П. Гречин. – М.: Машигиз, 1961. – 127 с.

5. Галактионова, Н.А. Водород в металлах / Н.А. Галактионова. – М.: Металлургия, 1967. – 304 с.
6. Лакомский, В.И. Газы в чугунах / В.И. Лакомский, В.И. Явойский. – Киев: Гостехиздат УССР, 1960 – 175 с.
7. Богачев, И.Н. Металлография чугуна / И.Н. Богачев. – М.: Металлургиздат, 1962. – 390 с.
8. Новикова, С.Н. Тепловое расширение твердых тел / С.Н. Новикова. – М.: Наука, 1974. – 292 с.
9. Прогрессивные способы повышения свойств доменного чугуна / В.К. Афанасьев, Р.С. Айзатулов, Б.А. Кустов, М.В. Чибряков. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. – 258 с.
10. Шаповалов, В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов / В.И. Шаповалов. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
11. Чугун и его свойства / В.К. Афанасьев, Б.А. Кустов, С.А. Гладышев и др. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. – 344 с.
12. Тен, Э.Б. Влияние продувки азотом на первичную кристаллизацию чугуна / Э.Б. Тен, А.П. Воробьев // Известия вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 7. – С. 54–58.
13. О возможности растворения графита в доменном чугуне / В.К. Афанасьев, М.В. Чибряков, М.К. Сарлин и др. // Сборник материалов 4-го собрания металлосведов России. – Пенза, 1998. – С. 21–23.
14. Афанасьев, В.К. Наследственное влияние продувки расплава водяным паром на микроструктуру доменного чугуна / В.К. Афанасьев, М.М. Сагалакова, М.В. Чибряков // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции. – Самара, 1998. – С. 102.
15. Влияние обработки расплава на линейное расширение серого чугуна / В.К. Афанасьев, М.М. Сагалакова, М.В. Чибряков, В.В. Герцен // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции. – Самара, 1998. – С. 105.
16. Сагалакова, М.М. О способах обработки и физических свойствах чугуна / М.М. Сагалакова // Сборник докладов международной заочной конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии». – Липецк, 2010 – С. 145–147.

**Сагалакова Марина Михайловна**, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта и машиностроения, Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Абакан; [m\\_sagalakova@mail.ru](mailto:m_sagalakova@mail.ru).

*Поступила в редакцию 13 декабря 2018 г.*

DOI: 10.14529/met190201

## THE EFFECT OF HYDROGENATION OF THE MELT OF BLAST FURNACE IRON ON ITS COEFFICIENT OF LINEAR EXPANSION

**M.M. Sagalakova**, [m\\_sagalakova@mail.ru](mailto:m_sagalakova@mail.ru)

*Khakass Technical Institute – Branch of Siberian Federal University, Abakan, Russian Federation*

The article is devoted to the study of the effect of treatment of blast furnace iron melt with hydrogen on its coefficient of linear expansion. Currently, there is a change of views on the nature of graphite inclusions in cast iron. The monograph by V. K. Afanasyev “Progressive methods of improving the properties of blast furnace” notes the influence of gases on the formation of the structure and properties of cast iron. Special attention is paid to the influence of gases (hydrogen, nitrogen and oxygen) on the change in the coefficient of linear expansion. There are considered two methods of hydrogenation – electrolytic charge hydrogenation and placing on the mirror of wet asbestos melt,

there are made conclusions about their influence on the coefficient of linear expansion of blast furnace iron after treatment. It is shown that the electrolytic hydrogenation of the charge leads to a decrease in the coefficient of linear expansion: to the values of  $6.2 \cdot 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$  in the temperature range of 100–150 °C. Hydrogenation of the melt with wet asbestos showed a decrease in the coefficient of linear expansion to  $6.5 \cdot 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$  and the test temperature range of 100–150 °C. The study of the microstructure of blast furnace iron before and after treatment with the proposed methods leads to the elimination of graphite inclusions and the production of ledeburite structure. The values of the coefficient of linear expansion of blast furnace iron are compared with values of the coefficient of grey cast iron, rapid steel. Currently, much attention is paid to materials having stable dimensions throughout the operating temperature range. A classic example of such alloys are invars; to reduce the coefficient of linear expansion, they may contain in their composition such expensive elements as platinum and palladium. An urgent task is to replace expensive materials with materials that do not have expensive additives in their composition and have a low coefficient of linear expansion in the range of operating temperatures. This material can be blast furnace iron.

*Keywords:* blast furnace iron, hydrogenation, linear expansion coefficient, melt treatment, wet asbestos, electrolytic charge treatment.

### References

1. Tyrkel E. *Istoriya razvitiya diagrammy zhelezo – uglerod*. [The History of the Development of the Diagram Iron – Carbon]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 280 p.
2. Pogodin-Alekseyev G.I. (Ed.). *Spravochnik po mashinostroitel'nyim materialam. T.3: Chugun* [Handbook of Engineering Materials. Vol. 3: Cast Iron]. Moscow, Mashgiz Publ., 1959. 600 p.
3. Sisko F.T. *Sovremennaya metallurgiya*. [Modern Metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1946. 372 p.
4. Grechin V.P. *Iznosostojkie chuguny i splavy*. [Wear-Resistant Cast Iron and Alloys]. Moscow, Mashgiz Publ., 1961. 127 p.
5. Galaktionova N.A. *Vodorod v metallah*. [Hydrogen in Metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 304 p.
6. Lakomskij V.I., Yavojskij V.I. *Gazy v chugunah*. [Gases in the Cast Iron]. Kiev, Gostekhizdat USSR Publ., 1960. 175 p.
7. Bogachev I.N. *Metallografiya chuguna*. [Cast Iron Metallography]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1962. 390 p.
8. Novikova S.N. *Teplovoe rasshirenie tverdyh tel*. [Thermal Expansion of Solids]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 292 p.
9. Afanasyev V.K., Ajzatulov R.S., Kustov B.A., Chibryakov M.V. *Progressivnye sposoby povysheniya svoystv domennogo chuguna*. [Progressive Ways to Improve the Properties of Blast Iron]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 1999. 258 p.
10. Shapovalov V.I. *Vliyanie vodoroda na strukturu i svoystva zhelezouglerodistykh splavov*. [The Influence of Hydrogen on the Structure and Properties of Iron-Carbon Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 232 p.
11. Afanasyev V.K., Kustov B.A., Gladyshev S.A., Poltorackij L.M., Sochnev A.V., Gromov G.E. *Chugun i ego svoystva*. [Cast iron and Its Properties]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2004. 344 p.
12. Ten E.B., Vorobyev A.P. [The Effect of Nitrogen Flushing on Primary Crystallization of Iron]. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 1994, no. 7, p. 54–58. (in Russ.)
13. Afanas'ev V.K., Chibryakov M.V., Sarlin M.K., Prudnikov A.N., Makarov E.S. [On the Possibility of Dissolving Graphite in Blast Iron]. *Sbornik materialov 4-go sobraniya metallovedov Rossii*. Penza, 1998, pp. 21–23. (in Russ.)
14. Afanasyev V.K., Sagalakova M.M., Chibryakov M.V. [The Hereditary Effect of Steam Flushing of the Melt on the Microstructure of the Pig Iron]. *Tezisy dokladov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Samara, 1998, p. 102. (in Russ.)
15. Afanasyev V.K., Sagalakova M.M., Chibryakov M.V., Gercen V.V. [Effect of Melt Processing on Linear Expansion of Gray Iron]. *Tezisy dokladov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Samara, 1998, p. 105. (in Russ.)

16. Sagalakova M.M. [About the Methods of Processing and Physical Properties of Cast Iron]. *Sbornik докладov mezhdunarodnoj zaochnoj konferencii "Aktualnyye voprosy sovremenno tekhniki i tekhnologii"*. Lipeck, 2010, pp. 145–147. (in Russ.)

*Received 13 December 2018*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Сагалакова, М.М. Влияние наводороживания расплава доменного чугуна на его коэффициент линейного расширения / М.М. Сагалакова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 5–13. DOI: 10.14529/met190201

**FOR CITATION**

Sagalakova M.M. The Effect of Hydrogenation of the Melt of Blast Furnace Iron on Its Coefficient of Linear Expansion. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 5–13. (in Russ.) DOI: 10.14529/met190201

---