

УДК 669.017.03

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ ЧУГУНОВ В ЛИТОМ И НОРМАЛИЗОВАННОМ СОСТОЯНИИ

КУЦОВА В.З.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КОВЗЕЛЬ М.А.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*  
ГРЕБЕНЕВА А.В.<sup>3\*</sup>, *к. т. н., асс.*,  
РАТНИКОВА И.В.<sup>4</sup> *с.н.с.*,  
ШВЕЦ П.Ю.<sup>5</sup>, *асп.*,

<sup>1</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Днепропетровская обл., Украина, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-2413-679X

<sup>2</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Днепропетровская обл., Украина, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-5720-1186

<sup>3</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Днепропетровская обл., Украина, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-3594-9497

<sup>4</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Днепропетровская обл., Украина, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-7939-4740

<sup>5</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Днепропетровская обл., Украина, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-0267-6330

**Аннотация.** *Цель.* Изучить структуру и свойства хромоманганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии. *Методика.* Объектом исследования в настоящей работе служили образцы опытно-промышленных плавок хромоманганцевых чугунов. Исследование микроструктуры осуществляли с помощью оптического микроскопа “Neophot-21”. Микротвердость фаз и структурных составляющих определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3, фазовый состав изучали на дифрактометре ДРОН–3М в FeK $\alpha$  - излучении. Твердость хромоманганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии определяли методом Роквелла. *Результаты.* Проведенный комплекс исследований показал, что твердость исследуемых хромоманганцевых чугунов определяется содержанием углерода, марганца и количеством карбидной составляющей. Максимальной твердостью в литом и нормализованном состоянии характеризуются сплавы 2, 3, что позволяет прогнозировать повышение абразивной и ударно-абразивной износостойкости как в литом, так и нормализованном состоянии. *Научная новизна.* Для хромоманганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии установлена взаимосвязь между количественным соотношением первичных дендритов аустенита, эвтектической составляющей и свойствами (микромеханическими характеристиками и твердостью). *Практическая значимость.* Понимание механизмов структурных изменений и получение количественных закономерностей, описывающих процесс формирования структурных составляющих, позволит управлять структурой и свойствами изделий из хромоманганцевых чугунов.

*Ключевые слова:* хромоманганцевый чугун, структура, свойства, фазовый состав, нормализация.

## ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ, ФАЗОВОГО СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ХРОМОМАНГАНЦЕВИХ ЧАВУНІВ В ЛИТОМУ І НОРМАЛІЗОВАНОМУ СТАНІ

КУЦОВА В.З.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,  
КОВЗЕЛЬ М.А.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*  
ГРЕБЕНЄВА А.В.<sup>3\*</sup>, *к. т. н., ас.*,  
РАТНІКОВА І.В.<sup>4</sup> *с.н.с.*,  
ШВЕЦЬ П.Ю.<sup>5</sup>, *асп.*,

<sup>1</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, г. Днепропетровськ, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-2413-679X

<sup>2</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, г. Днепропетровськ, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-5720-1186

<sup>3</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, г. Днепропетровськ, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-3594-9497

<sup>4</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, г. Дніпропетровськ, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0001-7939-4740

<sup>5</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, г. Дніпропетровськ, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, тел. +0 562 47-42-49, e-mail: [root@lks.dp.ua](mailto:root@lks.dp.ua) ORCID ID: 0000-0003-0267-6330

**Анотація. Мета.** Вивчити структуру і властивості хромомарганцевих чавунів в литому і нормалізованому стані. **Методика.** Об'єктом дослідження в цій роботі були зразки дослідно-промислових плавок хромомарганцевих чавунів. Дослідження мікроструктури здійснювали за допомогою оптичного мікроскопу "Neophot-21". Мікротвердість фаз і структурних складових визначали за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3, фазовий склад вивчали на дифрактометрі ДРОН-3М у  $FeK_{\alpha}$  - випроміненні. Твердість хромомарганцевих чавунів в литому і нормалізованому стані визначали за методом Роквела. **Результати.** Проведений комплекс досліджень показав, що твердість дослідних хромомарганцевих чавунів визначається вмістом вуглецю, марганцю і кількістю карбідної складової. Максимальною твердістю в литому і нормалізованому стані характеризуються сплави 2, 3, що дозволяє прогнозувати підвищення абразивної і ударно-абразивної зносостійкості як в литому, так і нормалізованому стані. **Наукова новизна.** Для хромомарганцевих чавунів у литому і нормалізованому стані встановлений взаємозв'язок між кількісним співвідношенням первинних дендритів аустеніту, евтектичної складової і властивостями (мікромеханічними характеристиками та твердістю). **Практична значимість.** Розуміння механізмів структурних змін і отримання кількісних закономірностей, що описують процес формування структурних складових, дозволить управляти структурою і властивостями виробів з хромомарганцевих чавунів.

*Ключові слова:* хромомарганцевий чавун, структура, властивості, фазовий склад, нормалізація.

## STRUCTURES, PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES FORMATION OF CHROMOMANGANESE CAST IRONS IN THE CAST AND NORMALIZATION STAY

KUTZOVA V.Z.<sup>1</sup>, *Doct. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KOVZEL M.A.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. of Prof.*,  
GREBENEVA A.V.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,  
RATNICOVA I.V.<sup>4</sup>, *S.R.F.*,  
SHVETS P.U.<sup>5</sup>, *Grad.*

**Annotation. Purpose.** Study the structure and properties of chromo-manganese cast iron in the cast and normalized state. **Methodology.** The study objects in this work were the experimental-industrial melting chromomanganese cast iron samples. Microstructure researches were carried out by using the optical microscope "Neophot-21". Microhardness of phases and structural components was defined by using PMT-3 by standard procedure. Phase composition of samples was studied by the diffractometer DRON-3M in  $FeK_{\alpha}$  - radiation. Hardness of the investigated cast iron in the cast stay was determined by the Rockwell's standard method. **Findings.** Complex research were carried out and showed that the hardness of the investigated chrom-manganese cast iron is determined by the content of carbon, manganese and the number of carbide component. The maximum hardness in the cast and the normalized state characterized by alloys 2, 3, which allows to predict the increase of abrasive and shock-abrasive wear resistance in as cast and normalized condition. **Originality.** For chromomanganese cast irons the interrelation between the quantitative ratio of primary austenite dendrites and eutectic component in the cast and normalized state and properties (micromechanical characteristics and hardness). **Practical value.** Understanding the mechanisms of structural changes and to obtain quantitative laws describing the formation of structural components, enables you to control the structure and properties of the products from chromomanganese cast iron

*Keywords:* chromomanganese cast iron, structure, properties, phase composition, normalization.

### Введение

В наше время проблема повышения износостойкости изделий, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа по-прежнему остается одной из наиболее актуальных.

Износ детали в результате трения, приводящий к потере ее работоспособности, является причиной

преждевременного выхода из строя большинства деталей машин и оборудования горнорудной, металлургической, угольной промышленности, промышленности строительных материалов, энергетики – везде, где перерабатывается минеральное сырье и где имеется контакт рабочей поверхности детали с абразивными частицами.

Потери от износа исчисляются сотнями тысяч тонн металла в год; еще больший ущерб наносится ухудшением технологических параметров работы машин и механизмов из-за износа их рабочих органов.

Следует отметить, что износ в абразивных средах и в условиях знакопеременных и ударных нагрузений является сложной и неоднозначной функцией условий взаимодействия металла детали с абразивными частицами, средой и уровнем ударных нагрузений. Он зависит от многих факторов: продолжительности эксплуатации, концентрации абразива, размера, формы и твердости абразивных частиц, их скорости в момент удара о поверхность детали, угла атаки частицами изнашиваемой поверхности, уровня ударных нагрузений, снижения механических свойств материала вследствие разупрочняющего воздействия на него среды и др. [1].

Современные исследования свидетельствуют, что перспективными материалами для работы в таких условиях являются экономнолегированные хромомарганцевые чугуны, широко применяющиеся

как в литом, так и в термообработанном состоянии в качестве высокоизносостойких трибологических материалов [2 - 4]. Из них изготавливают лопатки дробебетных аппаратов, плиты бронезащиты мельниц и мелющие тела для размола твердых материалов, а также прокатные валки и прокатный инструмент.

Изменяя структуру путем рационального легирования и использования термической обработки, можно целенаправленно влиять на формирование заданных свойств хромомарганцевых чугунов.

Поэтому исследования формирования структуры, фазового состава, свойств и микромеханических характеристик экономнолегированных хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии является актуальной задачей современного материаловедения.

**Материал и методика исследования.**

Объектом исследования в настоящей работе служили образцы опытно-промышленных плавок хромомарганцевых чугунов, химический состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Химический состав исследуемого чугуна/ Chemical composition of researched cast iron**

№ п/п	Содержание легирующих элементов, %									
	C	Cr	Ni	V	Mn	Si	Cu	S	P	Fe
1	2,2	12,63	0,83	0,25	5,7	1,0	0,10	0,009	0,013	77,3
2	2,7	15,91	0,95	0,25	10,5	0,9	0,9	0,009	0,027	67,9
3	3,1	13,1	1,15	0,25	15,75	0,9	0,15	0,003	0,025	65,57

Микроструктуру образцов выявляли в 10% спиртовом растворе азотной кислоты. Исследование микроструктуры осуществляли с помощью оптического микроскопа “Neophot-21”. Микротвердость фаз и структурных составляющих определяли с помощью микротвердомера ПМТ-3 по стандартной методике, фазовый состав изучали на дифрактометре ДРОН-3М в FeK $\alpha$  - излучении. Твердость хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии определяли методом Роквелла. Нормализацию исследуемых образцов проводили при температуре 950°C с последующим охлаждением на воздухе.

Механические свойства карбидов, продуктов распада аустенита и трещиностойкость оценивали по их микротвердости ( $\mu$ ), микрохрупкости ( $\gamma$ ) и хрупкой микропрочности ( $\sigma$ ) [5, 6]. Указанные характеристики изучали в зависимости от глубины проникновения индентера в материал, что позволило сравнить по данным характеристикам механические свойства одинаковых по толщине поверхностных слоев материала.

Микрохрупкость  $\gamma$  – соотношение площадей, в которых происходит хрупкое разрушение в районе отпечатка и площади самого отпечатка. Микрохрупкость  $\gamma$  продуктов распада аустенита и карбида Me $_7$ C $_3$  определяли по формуле (1):

$$\gamma_{вд} = \frac{D^2 - d^2}{d^2}, \quad (1)$$

где D – средний размер поврежденной зоны, мкм; d – диагональ отпечатка, мкм.

Хрупкая микропрочность – напряжения, которые необходимы для образования единицы площади хрупкого разрушения в районе отпечатка пирамиды.

Хрупкую микропрочность  $\sigma_{вд}$  продуктов распада аустенита и карбида Me $_7$ C $_3$  определяли по формуле (2):

$$\sigma_{вд} = \frac{P}{D^2} \text{ кгс/мм}^2, \quad (2)$$

Трещиностойкость  $k_{1c}$  продуктов распада аустенита и карбида Me $_7$ C $_3$  определяли по формуле (3):

$$k_{1c} = 0,203a^2 \cdot H_v \cdot C^{-3/2}, \quad (3)$$

где a – полудиагональ отпечатка индентора, мкм;

$H_v$  – твердость материала, МПа;

C – длина радиальной трещины, мкм.

Твердость при индентировании пирамидой Виккерса поверхности исследованного материала определяли исходя из следующей зависимости:

$$H_v = 463,6 \cdot F \cdot a^{-2}, \quad (4)$$

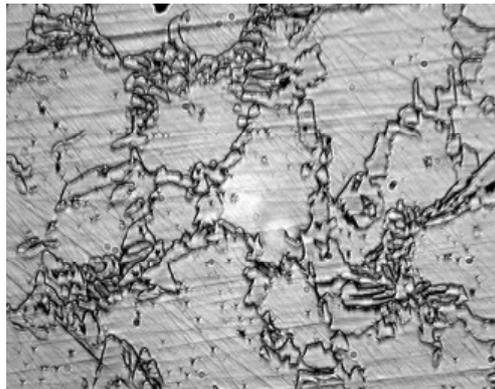
где F – нагрузка, которая действует на индентер, г.

**Экспериментальные результаты и их  
обсуждение**

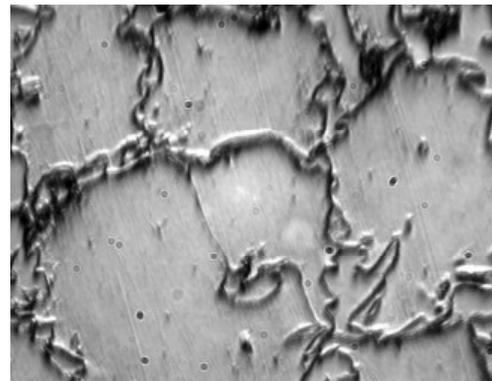
В данной работе изучена структура, фазовый состав, твердость, микромеханические характеристики и трещиностойкость структурных составляющих образцов хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии.

Микроструктуры исследуемых плавок хромомарганцевых чугунов в исходном литом

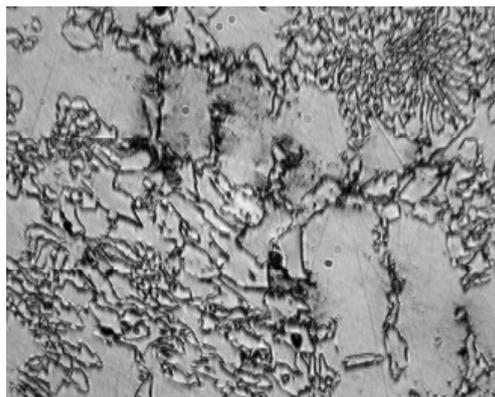
состоянии представлены на рисунке 1. Анализ микроструктуры исследуемых образцов чугунов в литом состоянии (рис. 1) свидетельствует о том, что кристаллизация начинается с выделения дендритов первичного аустенита и завершается формированием эвтектических колоний  $A+Cr_7C_3$ . В микроструктуре наблюдаются карбиды  $Me_7C_3$  как в продольном, так и в поперечном сечении и тонкодифференцированная аустенито-карбидная эвтектика на базе карбида  $Me_7C_3$  (рис. 1).



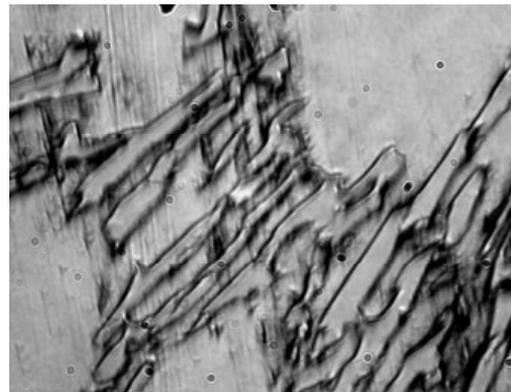
а



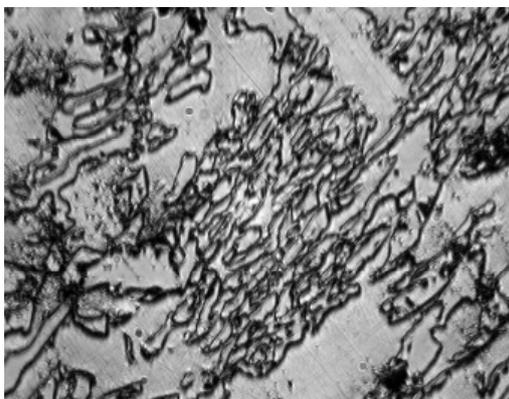
б



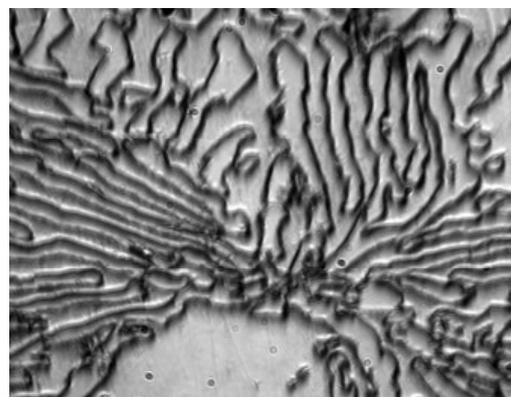
в



г



д



е

*Рис. 1. Микроструктура хромомарганцевых чугунов в литом состоянии:  
а, б - сплав 1; в, г – сплав 2; д, е – сплав 3 (а, в, д – x500; б, г, е – x1000) / Fig. 1 Microstructure of  
chromanganse cast iron in the cast state*

Нормализация хромомарганцевых чугунов при температуре 950°C приводит к образованию в структуре рекристаллизованного остаточного аустенита, как на периферии дендритных ветвей, так и в эвтектической составляющей аустенит–карбид, а также к формированию существенной неоднородности продуктов распада аустенита, укрупнению вторичных избыточных карбидов и образованию продуктов распада аустенита располагающихся как в центре, так и на периферии дендритных ветвей, что обусловлено ликвационными явлениями.

Методами количественной металлографии и рентгеноструктурного анализа определено количественное соотношение первичного аустенита ( $A_1$ ) и карбидной эвтектики (КЭ). В литом состоянии для сплава 1 это соотношение составляет:  $A_1 = 65\%$ , КЭ = 35%, для сплава 2:  $A_1 = 48\%$ , КЭ = 62%, для сплава 3:  $A_1 = 22\%$ , КЭ = 78%. В нормализованном состоянии при температуре 950°C для сплава 1 это соотношение составляет:  $A_1 = 33\%$ , КЭ = 67%, для сплава 2:  $A_1 = 28\%$ , КЭ = 72%, для сплава 3:  $A_1 = 23\%$ , КЭ = 77%. Определена длина сечений пластин эвтектических карбидов (ЭК)  $Me_7C_3$  во всех исследуемых сплавах в литом и нормализованном состоянии. В литом состоянии: в сплаве 1 она составляет 36,5 мкм, для сплава 2 она равна 42,5 мкм, а в сплаве 3 карбид характеризуется наибольшей длиной, которая составляет 55,65 мкм. Нормализация при температуре 950°C приводит к снижению длины сечений пластин эвтектических карбидов (ЭК)  $Me_7C_3$  во всех исследуемых сплавах: в сплаве 1 она составляет 17,23 мкм, для сплава 2 она равна 15,23 мкм, а в сплаве 3 – 29,33 мкм. Параметр формы (ПФ) пластин эвтектических карбидов (ЭК)  $Me_7C_3$  в исследуемых сплавах в литом состоянии составляет: в сплаве 1 – 3,95, в сплаве 2 – 3,85, в сплаве 3 – 2,68.

Параметр формы ЭК характеризует дифференцировку эвтектики, чем меньше ПФ, тем выше дифференцировка эвтектики, которая вносит вклад в прочностные и пластические свойства сплава. Нормализация при температуре 950°C приводит к сфероидизации эвтектических карбидов и изменению параметра формы (ПФ) пластин эвтектических карбидов (ЭК)  $Me_7C_3$ : в сплаве 1 составляет 1,94, в сплаве 2 – 1,99, в сплаве 3 – 2,18.

Количественное соотношение первичных дендритов аустенита и эвтектической составляющей определяется содержанием углерода и соотношением основных легирующих элементов – хрома и марганца.

В связи, с чем в сплаве 3, где количество углерода и марганца максимально, число карбидов увеличивается по сравнению со сплавами 1 и 2, соответственно, в 2,2 и 1,7 раза.

Фазовый состав исследуемых хромомарганцевых сплавов изучали с помощью рентгеноструктурного анализа. На рисунке 2 приведены схемы дифрактограмм исследуемых хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии. Рентгеноструктурный анализ в исследуемых сплавах выявил карбид  $Me_7C_3$  –  $(Cr, Mn, Fe)_7C_3$  [7-9], цементит, аустенит и феррит.

Количественные данные рентгеноструктурного анализа приведены в таблице 2.

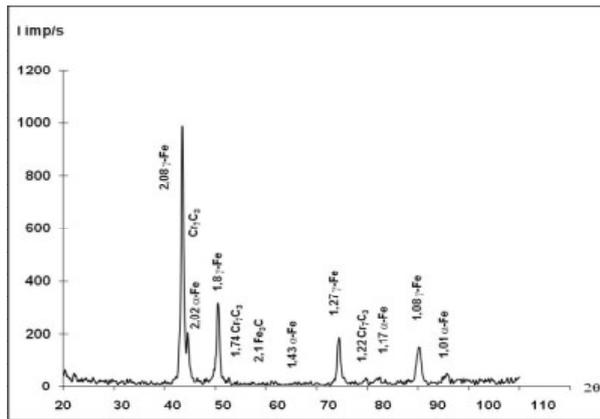
Количество аустенита в матрице исследуемых чугунов в литом состоянии повышается с 76% до 91% с увеличением содержания углерода и легирующих элементов (хрома и марганца), а феррита – уменьшается, соответственно, с 24% до 9% (таблица 2). Присутствие феррита связано, вероятно, с недостаточной стабильностью аустенита, претерпевающего распад на феррит и карбид в процессе охлаждения.

Анализ данных таблицы 2 свидетельствует о том, что в структуре чугуна в литом состоянии присутствует практически равновесная  $\alpha$ -фаза, степень несовершенства ( $\beta_{0,5}$ ) решетки которой находится в пределах от 0,57 до 0,59, параметр решетки  $\alpha$ -фазы ( $a_\alpha$ ) равен 2,871-2,880. Твердость исследуемых чугунов в литом состоянии с повышением содержания углерода и марганца растет на 25%.

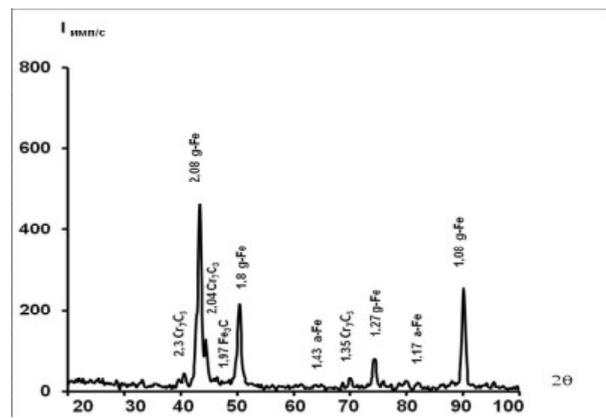
Нормализация хромомарганцевых чугунов при температуре 950°C приводит к снижению количества аустенита и увеличению количества феррита в матрице исследуемых сплавов. В структуре чугунов в нормализованном состоянии присутствует  $\alpha$ -фаза, степень несовершенства ( $\beta_{0,5}$ ) решетки которой находится в пределах от 0,5 до 0,6, а параметр решетки  $\alpha$ -фазы ( $a_\alpha$ ) равен 2,878-2,881.

Нормализация при температуре 950°C приводит к снижению твердости исследуемых чугунов: в сплаве 1 – на 13,7%, сплаве 2 – на 15%, в сплаве 3 – на 6,5% (табл.2).

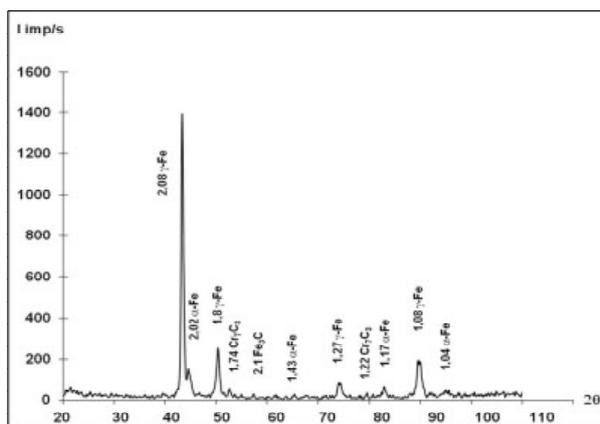
В таблицах 3, 4 приведены микромеханические характеристики карбидов и матрицы в хромомарганцевых чугунах в литом и нормализованном состоянии.



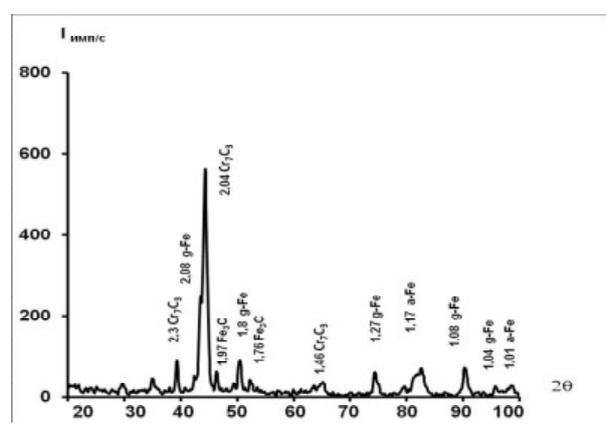
а



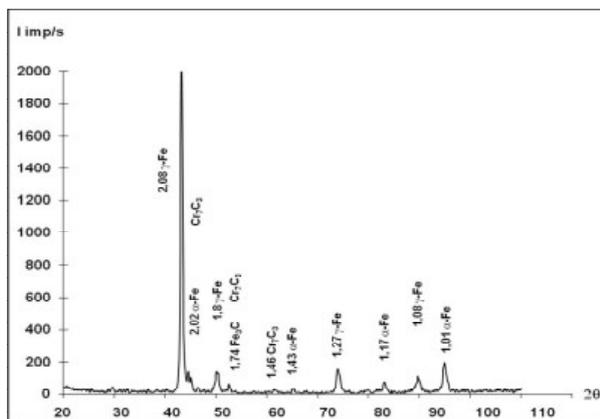
б



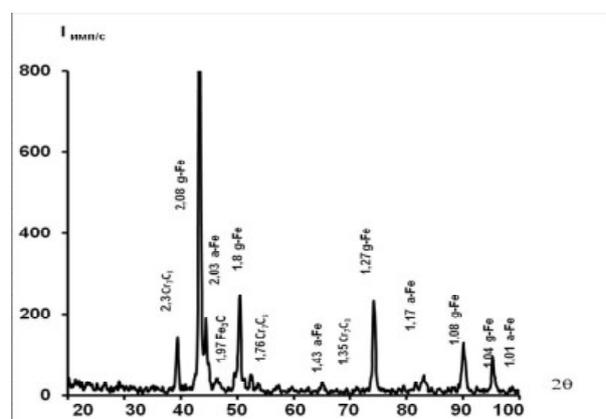
в



г



д



е

Рис. 2. Схемы дифрактограмм хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии: а, б – сплав 1; в, г – сплав 2; д, е – сплав 3 (а, в, д – в литом состоянии; б, г, е – после нормализации при температуре 950°C) / Fig. 2. Regions of diffraction of investigated chromanganse cast iron in the cast and normalization state

Таблица 2

**Данные рентгеноструктурного анализа хромомарганцевых чугунов  
в литом и нормализованном состоянии/ Data of X-ray structure analysis of investigated chromomanganese cast  
iron in the cast and normalization state**

№ п/п	Состояние исследуемых образцов	аα по (011)α	аγ по (022)γ	Степень несовершенства α – фазы (β <sub>0,5</sub> )	% γ, в матрице	% α, в матрице	Твердость, HRC
1	В литом состоянии	2,872	3,601	0,59	76	24	35
	Нормализация при температуре 950°С	2,881	3,612	0,6	72	28	29
2	В литом состоянии	2,880	3,620	0,59	87	13	42
	Нормализация при температуре 950°С	2,887	3,602	0,6	82	18	37
3	В литом состоянии	2,871	3,621	0,57	91	9	42
	Нормализация при температуре 950°С	2,878	3,611	0,5	74	26	40

Таблица 3

**Микромеханические характеристики карбидов в хромомарганцевых чугунах в литом и  
нормализованном состоянии/ Micromechanics characteristics of carbides of investigated chromomanganese  
cast irons in the cast and normalization state**

№ п/п	Состояние исследуемых образцов	Микротвердость карбида Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , МПа	Микрохрупкость карбида Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , γ отн. ед.	Хрупкая микропрочность карбида Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , σ <sub>вд</sub>	Трещиностойкость карбида Me <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , k <sub>1c</sub>
1	В литом состоянии	6577	5.5	3,33	4,49
	Нормализация при температуре 950°С	4664	3,91	5,72	2,48
2	В литом состоянии	8244	6.89	3,74	4,37
	Нормализация при температуре 950°С	5256	4,39	5.86	2,79
3	В литом состоянии	8965	7.49	6.41	3,92
	Нормализация при температуре 950°С	5515	7,31	6,94	3,75

Таблица 4

**Микромеханические характеристики матрицы в хромомарганцевых чугунах в литом и  
нормализованном состоянии / Micromechanics characteristics of matrix of investigated chromomanganese cast  
irons in the cast and normalization state**

№ п/п	Состояние исследуемых образцов	Микротвердость матрицы, МПа	Микрохрупкость матрицы, γ отн. ед.	Хрупкая микропрочность матрицы, σ <sub>вд</sub>	Трещиностойкость матрицы, k <sub>1c</sub>
1	В литом состоянии	4137	1,03	1,59	7,23
	Нормализация при температуре 950°С	3285	0,61	1,73	9,1
2	В литом состоянии	4228	1,98	1,87	7,15
	Нормализация при температуре 950°С	3532	0,76	1,93	9,3
3	В литом состоянии	4663	1,16	1,96	8,83
	Нормализация при температуре 950°С	3960	1,09	2,01	9,05

Микротвердость матрицы, эвтектических карбидов и микромеханические характеристики матрицы и эвтектических карбидов всех исследованных сплавов в литом состоянии возрастают с увеличением количества углерода, хрома и марганца (табл. 3, 4). Нормализация при температуре 950°C приводит к снижению микротвердости и микрохрупкости матрицы, эвтектических карбидов и повышению трещиностойкости матрицы.

Таким образом, максимальной прочностью и твердостью в литом и нормализованном состоянии характеризуются сплавы 2, 3, что позволяет прогнозировать повышение их абразивной и ударно-абразивной износостойкости как в литом, так и нормализованном состоянии. Указанная разница в свойствах хромомарганцевых чугунов определяется распределением легирующих элементов между матрицей и эвтектическим карбидом, степенью легированности матрицы и эвтектического карбида, а также параметром формы эвтектического карбида.

### Результаты

Проведенный комплекс исследований показал, что твердость исследуемых хромомарганцевых чугунов определяется содержанием углерода, марганца и количеством карбидной составляющей. Максимальной твердостью в литом и нормализованном состоянии характеризуются сплавы 2, 3, что позволяет прогнозировать повышение абразивной и ударно-абразивной износостойкости как в литом, так и нормализованном состоянии.

### Научная новизна и практическая ценность

Для хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии установлена взаимосвязь между количественным соотношением первичных дендритов аустенита, эвтектической составляющей и свойствами (микромеханическими характеристиками и твердостью). Понимание механизмов структурных изменений и получение количественных закономерностей, описывающих процесс формирования структурных составляющих, позволит управлять структурой и свойствами изделий из хромомарганцевых чугунов.

### Выводы:

Изучена структура, фазовый состав, свойства и микромеханические характеристики хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии. Показано:

- количественное соотношение первичных дендритов аустенита и эвтектической составляющей в литом и нормализованном состоянии определяется содержанием углерода и соотношением основных легирующих элементов – хрома и марганца;
- твердость исследуемых чугунов определяется содержанием углерода, марганца и количеством карбидной составляющей;
- твердость хромомарганцевых чугунов в литом состоянии с повышением содержания углерода и марганца растёт на 25%, а последующая нормализация приводит к снижению твердости исследуемых чугунов: в сплаве 1 – на 13,7%, сплаве 2 – на 15%, в сплаве 3 – на 6,5%;
- максимальной твердостью в литом и нормализованном состоянии характеризуются сплавы 2, 3, что позволяет прогнозировать повышение абразивной и ударно-абразивной износостойкости как в литом, так и нормализованном состоянии.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поддубный А.Н., Кульбовский И.К., Дюков А.В. Мелющие шары с высокой эксплуатационной стойкостью из белого легированного чугуна //Литейное производство. – 1997. – С.46. – Режим доступа: <http://ntb.misis.ru:591/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:49941/Source:default> – Назва з екрана. – Перевірено: 24.03.2016.
2. Соколов О.Г. Железомарганцевые сплавы / О.Г. Соколов, К.Б. Кацов. – Киев: Наукова думка, 1982. – 212с. – Режим доступа: [http://books.zntu.edu.ua/book\\_info.pl?id=212186](http://books.zntu.edu.ua/book_info.pl?id=212186) – Назва з екрана. – Перевірено: 24.03.2016.
3. Материалы в машиностроении. Справочник. – М: Машиностроение, т.4, 1969. – 248 с. – Режим доступа: <http://opac.lib.tpu.ru/catalogue/document/?query=rec.id%3D%22RU%5CTPU%5Cbook%5C52699%22>. – Назва з екрана. – Перевірено: 24.03.2016.
4. Чейлях А.П. Разработка и исследования новых экономнолегированных износостойких чугунов с метастабильной структурой для быстроизнашивающихся деталей / Чейлях А.П., Клок Д.В., Прекрасный С.В.// Металл и литье Украины. – 2006. – №9–10. – С. 13–17. – Режим доступа: <http://cgntb.dp.ua/library/callback/idisis/61081.html>. – Перевірено: 24.03.2016.
5. Самсонов Г.В. Карбиды и сплавы на их основе / Г.В. Самсонов, Т.Я. Косолапова [и др.]. – М. – Киев: Наукова думка. – 1976. – с. 32-41. – Режим доступа: <http://padabum.net/d.php?id=206294>. – Перевірено: 24.03.2016.
6. Новиков Н.В. Методы микроиспытаний на трещиностойкость / Н.В. Новиков, С.Н. Дуб, С.И. Булычев // Заводская лаборатория. – 1988. – №7 – С. 60-67.

