

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА С УГЛЕРОДОМ, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ И ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А. А. ЖУМАЕВ, Ю. Н. МАНСУРОВ, Дж. Дж. МАМАТКУЛОВ, К. С. АБДУЛЛАЕВ*

Сплавы на основе железа начали использовать настолько давно, что сегодня их относят к категории классических материалов, так как эти сплавы достаточно глубоко изучены. Производство различной продукции из сталей и чугунов по объему закономерно занимает первое место, поскольку они обладают ценным комплексом свойств: широким диапазоном пластичности и прочности, уникальными технологическими свойствами, что позволяет применять к ним все технологические операции — от простого литья в землю до сложных процессов обработки давлением. Такое сочетание свойств обеспечивает в первую очередь состав сплавов на основе железа с основным легирующим элементом углеродом. Серьезным недостатком черных сплавов является низкий уровень их коррозионных свойств. Для ликвидации этого недостатка и стали, и чугуны легируют такими металлами, как хром, никель, кобальт и др. Естественно, это приводит к повышению массы готовых изделий и конструкций. Поэтому поиск легирующих элементов для совершенствования и оптимизации составов черных сплавов сегодня является актуальным. С другой стороны, промышленность Узбекистана производит достаточное количество переходных, редкоземельных металлов. Таким образом, стоит задача получить добавочную стоимость от производства и переработки этой продукции цветной металлургии. Анализ известной литературы по этой тематике показывает, что были проведены исследования по использованию различных переходных и редкоземельных металлов для легирования сплавов черных металлов. Однако имеющиеся научные результаты не позволяют говорить о системных знаниях об использовании редкоземельных и/или переходных металлов в качестве эффективных добавок для сталей и чугунов. Авторами изучены фазовые равновесия, определены составы фаз и протекающие в системах реакции, построены диаграммы состояния, их изотермические разрезы, определена структура сплавов на основе железа с добавками редкоземельных и переходных металлов со всеми структурными составляющими. Показана перспектива использования продукции цветной металлургии Узбекистана для производства качественных сталей и чугунов.

Ключевые слова: железо, углерод, стали, чугуны, легирование, редкоземельные элементы, переходные металлы, фазовые равновесия, структура.

DOI: 10.17580/chm.2020.11.03

Введение

Последние пять лет объем производства сталей и чугунов в мире стабильно растет и достиг по сталям в среднем более 1600, по чугунам — более 1160 млн т в год [1]. Эта тенденция может приостановиться в 2020 г. из-за угрозы пандемии, но в целом потребление продукции из черных сплавов увеличивается. Соответственно, объемы производства сплавов на основе железа закономерно занимают первое

место, поскольку обладают уникальным комплексом свойств: широким диапазоном пластичности и прочности, уникальными технологическими свойствами, что позволяет применять к ним все технологические операции: от простого литья в землю до сложных процессов обработки давлением. Такое сочетание свойств обеспечивает в первую очередь состав сплавов на основе железа с основным легирующим элементом углеродом, в которые вводят также легирующие элементы и малые добавки. Серьезным недостатком черных сплавов является их низкий уровень коррозионных свойств, снижение показателей пластичности, а затем и прочности при увеличении содержания углерода. Для ликвидации этого недостатка и стали, и чугуны легируют такими металлами, как хром, никель, кобальт и другие в больших количествах [2–7]. Естественно, это приводит к повышению массы готовых изделий, конструкций, поскольку основные легирующие элементы имеют, как правило, высокую плотность. Поэтому поиск легирующих элементов, позволяющих совершенствовать и оптимизировать составы черных сплавов, уменьшая массу готовых изделий, является

**Навоийское отделение АН Республики Узбекистан, Навои, Узбекистан:*

А. А. Жумаев, аспирант базовой докторантуры;

Институт общей и неорганической химии АН Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан:

докт. техн. наук Ю. Н. Мансуров, директор; профессор Ташкентского государственного транспортного университета;

Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт, Самарканд, Узбекистан:

докт. техн. наук Дж. Дж. Маматкулов, профессор;

ПО «Навоийский машиностроительный завод», Навои, Узбекистан:

К. С. Абдуллаев, главный инженер;

эл. почта: ahmadjon_jumayev@mail.ru; yulbarsmans@gmail.com

© Жумаев А. А., Мансуров Ю. Н., Маматкулов Дж. Дж., Абдуллаев К. С., 2020

актуальной задачей. С другой стороны, промышленность Узбекистана готова производить достаточное количество переходных и редкоземельных металлов, которые сегодня реализует в виде сырьевых материалов [4, 8, 9]. Соответственно, стоит задача получить добавочную стоимость от производства и переработки этой продукции цветной металлургии страны. Анализ известной литературы показывает, что эксперименты по использованию различных переходных и редкоземельных металлов для легирования сплавов черных металлов проводились [10–12]. Однако имеющиеся источники не позволяют говорить о системности знаний по их использованию в качестве эффективных добавок для сталей и чугунов [13–15].

Целью работы является изучение фазового состава, структуры сплавов железа с углеродом, легированных редкоземельными (РЗМ) и переходными металлами (ПМ) для оптимизации состава и количества легирующих элементов в износостойких белых чугунах, используемых на Навоийском машиностроительном заводе (НМЗ).

Для достижения цели в работе решены следующие задачи:

- определены составы фаз и протекающие в системах превращения;
- построены диаграммы состояния, их изотермические разрезы;
- определен вид структуры железоуглеродистых сплавов с добавками РЗМ и ПМ;
- установлены химические элементы, рекомендованные для легирования белых износостойких чугунов, производимых горно-металлургической промышленностью Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Для приготовления модельных сплавов на основе железа в работе использованы железо, никель, кобальт чистотой 99,9 %, церий, лантан и углерод чистотой 99,8 %. Для приготовления сплавов использовали электродуговые печи литейного цеха НМЗ, в которых можно готовить отливки разного объема (веса): от граммовых до сотен килограммов, в зависимости от марки печи. Авторы настоящей работы готовили слитки весом до 5 г. Печи позволяют при необходимости использовать защитную атмосферу инертных газов. Для литья применяли медные водоохлаждаемые тигли. Состав сплавов контролировали с помощью метода рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, использовали сканирующий спектрометр MagiX. Учитывая, что угар не превышал 0,5 %, состав сплавов принимали по шихте.

Фазовые равновесия, диаграммы состояния, поли- и изотермические разрезы строили расчетным методом, используя программу Thermo-Calc. Экспериментально проверяли расчетные значения программы, используя методы дифференциального

термического анализа на установке DSC LABSYS, используя образцы весом 0,15–0,25 г. Скорость нагрева и охлаждения образцов составила около 5 °С/мин. Микроструктуру сплавов изучали методами световой микроскопии с помощью микроскопа Neophot-2, фазовый анализ проводили методами микрорентгеноспектрального анализа на электронном микроскопе Tescan.

Для выравнивания состава слитков по сечению применяли термическую обработку в трубчатой печи Nabertherm с возможностью нагрева образцов до 1700 °С в защитной среде. При этом образцы помещали в корундовые тигли.

Результаты и их обсуждение

Практика использования РЗМ основана на том, что они могут быть раскислителями в сплавах на основе железа, десульфаторами, деграфитизаторами [16–18]. Часто используют легирующие элементы для повышения прочностных качеств черных сплавов [19–21]. В чугунах РЗМ применяют также для снижения вредного влияния фосфора, азота, водорода, кислорода, серы [12, 22, 23]. Кроме того, РЗМ и ПМ добавляют в сплавы на основе железа в целях улучшения их технологических свойств, например жидкотекучести или обрабатываемости [7, 17, 19, 20]. Кроме того, по данным [11, 14, 21–23], РЗМ и ПМ могут снижать температуру нагрева жидкого металла, повышают пластичность при прокатке, устраняют краснотекучесть. Причем опубликованные результаты исследований охватывают множество элементов. Анализ показывает, что наиболее часто в научных работах в качестве легирующих элементов встречаются кобальт, никель, марганец, лантан и церий, которые, по опыту практической деятельности авторов на предприятии, позволяют получать более достоверные данные. Кроме того, кобальт, никель, марганец по свойствам и строению ближе к железу, могут образовывать с ним фазы, способствующие улучшению качества сплавов на основе железа. Более конкретно положительное влияние названных элементов хорошо показано на примере сталей. Когда речь идет о чугунах, то в опубликованной литературе нет сведений по комплексному влиянию названных ПМ и РЗМ. И наконец, выбор легирующих элементов для изучения их влияния на чугуны был основан также на доступности этих элементов на производстве, где изготавливают детали для горных машин из различных марок износостойкого белого чугуна. По итогам комплекса исследований необходимо будет дать ответ на вопрос: можно ли заменить сложнелегированный белый чугун на экономно легированный в целях снижения производственных затрат?

Для этого в работе изучены фазовые равновесия в трехкомпонентных системах с участием железа и углерода в качестве постоянных компонентов,

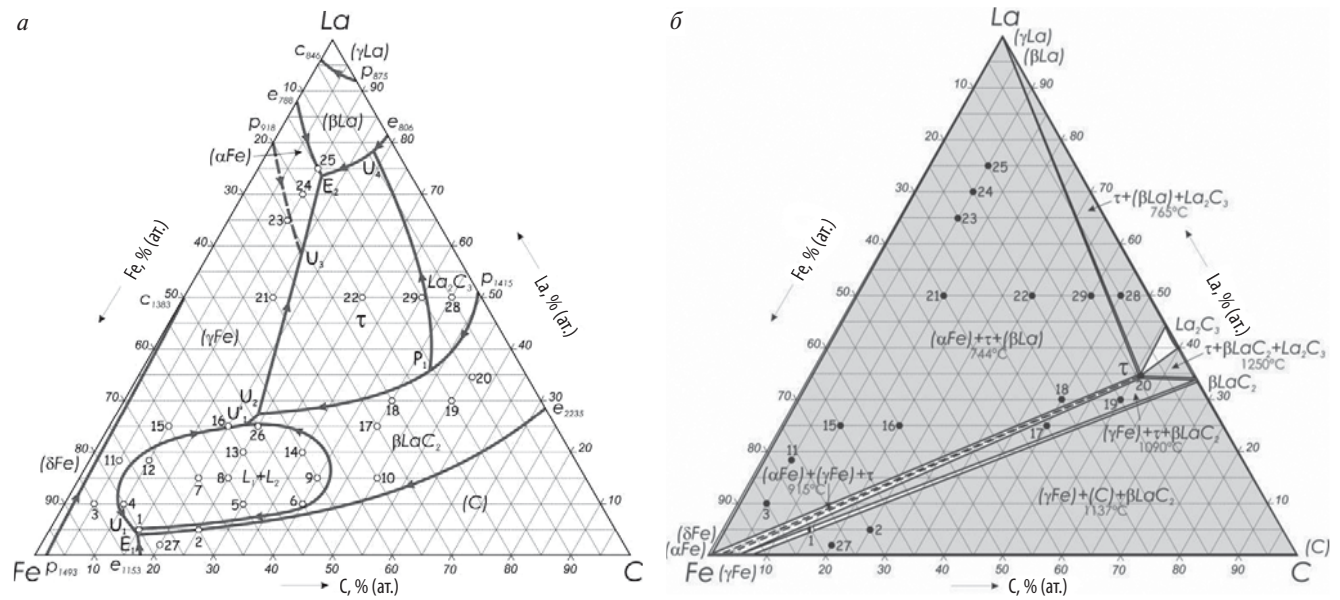


Рис. 1. Поверхность ликвидуса (а) и солидуса (б) системы Fe – С – La (цифрами обозначены номера образцов изученных сплавов)

а легирующих элементов — в качестве переменных. Естественно, основываясь на практике Производственного объединения «Навоийский машиностроительный завод» по производству деталей из износостойких белых чугунов, в исследования включены все химические элементы, которые входят в состав используемых на заводе белых износостойких чугунов марок 300X32Н2М2ТЛ и 280X29НЛ.

В общей сложности построено более 60 трех- и четырехкомпонентных диаграмм состояний системы: Fe + 3,4 %С (или Fe + 2,8 %С) + легирующие элементы, их изо- и политермические разрезы. Под легирующими элементами надо понимать также добавки, внесенные порознь и совместно, как, например, построены диаграммы состояния Fe + 3,4 %С – Ni; Fe + 3,4 %С – La; Fe + 3,4 %С – Ni – La. Естественно, в число рассчитываемых и строящихся диаграмм состояния входят также диаграммы с легирующими элементами из состава используемых на НМЗ белых износостойких чугунов, а именно: хром, медь, титан, марганец.

В процессе построения диаграмм состояния изучены фазовые равновесия при температурах невариантных превращений, структуры модельных

сплавов и сплавов, применяемых в НМЗ. На основе анализа представлены наиболее интересные результаты, в первую очередь в плане науки металловедения черных сплавов.

Система Fe – С – La. Фазовые равновесия в данной системе при кристаллизации не обнаружены в научных публикациях. Поэтому была необходимость построения поверхности ликвидуса и солидуса по всей области концентраций основных химических элементов сплавов (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что ликвидус системы состоит из поверхностей кристаллизации всех модификаций железа, двух модификаций лантана и углерода, двойных соединений $\beta(\text{LaC}_2)$ и La_2C_3 ; тройного соединения La_4FeC_6 (τ). В отношении солидуса системы надо отметить, что большинство сплавов находятся в трехфазной области. Обнаруженное в системе соединение типа La_4FeC_6 , или (τ)-фаза, участвует практически во всех превращениях, и его можно наблюдать на литых образцах. В целом в системе происходит 7 превращений, из которых 2 эвтектических, 1 перетектическое и 5 превращений переходного типа (табл. 1), в которых происходит следующая реакция:

Таблица 1 Инвариантные равновесия в системе La – Fe – С					
Точка жидкости	Инвариантное равновесие	Температура, °С	Состав жидкой фазы, % (ат.)		
			La	Fe	С
E ₁	$L \rightleftharpoons (\gamma\text{Fe}) + \beta\text{LaC}_2 + (\text{C})$	1137	4	81	15
E ₂	$L \rightleftharpoons (\alpha\text{Fe}) + \tau + (\beta\text{La})$	744	73	16	11
U ₁	$L_1 + L_2 \rightleftharpoons (\gamma\text{Fe}) + \beta\text{LaC}_2$	1400	25	52	23
U ₂	$L + \beta\text{LaC}_2 \rightleftharpoons (\gamma\text{Fe}) + \tau$	1090	28	48	24
U ₃	$L + (\gamma\text{Fe}) \rightleftharpoons (\alpha\text{Fe}) + \tau$	915	59	26	25
U ₄	$L + \text{La}_2\text{C}_3 \rightleftharpoons (\beta\text{La}) + \tau$	765	78	4	18
P ₁	$L + \beta\text{LaC}_2 + \text{La}_2\text{C}_3 \rightleftharpoons \tau$	1250	34	44	22

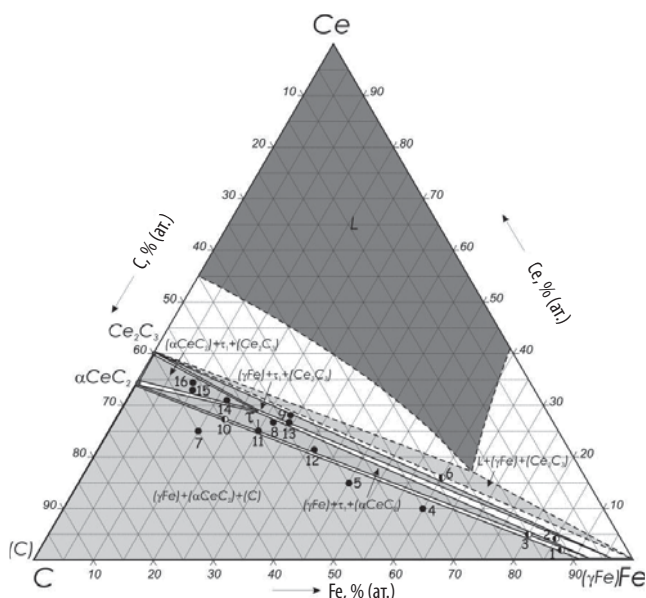


Рис. 2. Изотермическое сечение системы Fe – Ce – C при температуре 1100 °С (цветом выделена жидкофазная область)

$L_{U2} + \beta LaC_2 \rightleftharpoons (\gamma Fe) + \tau$, $L_{U3} + (\gamma Fe) \rightleftharpoons (\alpha Fe) + \tau$, $L_{U4} + La_2C_3 \rightleftharpoons (\beta La) + \tau$ с образованием в итоге τ -фазы.

Система Ce – Fe – C. Фазовые равновесия в этой системе изучены в области Fe – CeFe₂ – Ce₂C₃ – C. Однако в опубликованной литературе есть несоответствия по температурам фазовых равновесий. Поэтому была необходимость изучить вопрос, используя различные методы исследования. Результаты проведенной работы показали, что в системе образуется по перетектоидной реакции при температуре 1100 °С тройное соединение $(\gamma Fe) + \beta CeC_2 + Ce_2C_3 \rightleftharpoons \tau_1$. Тройная фаза по составу больше соответствует Ce₄Fe₄C₇, хотя соотношение железа к церию не всегда стабильно.

Изотермическое сечение железного угла системы Fe – C – Ce при температуре 1100 °С показано на рис. 2.

Представляют интерес относительно получения качественных чугунов сплавы, расположенные на диаграмме состояния ближе к области реальных

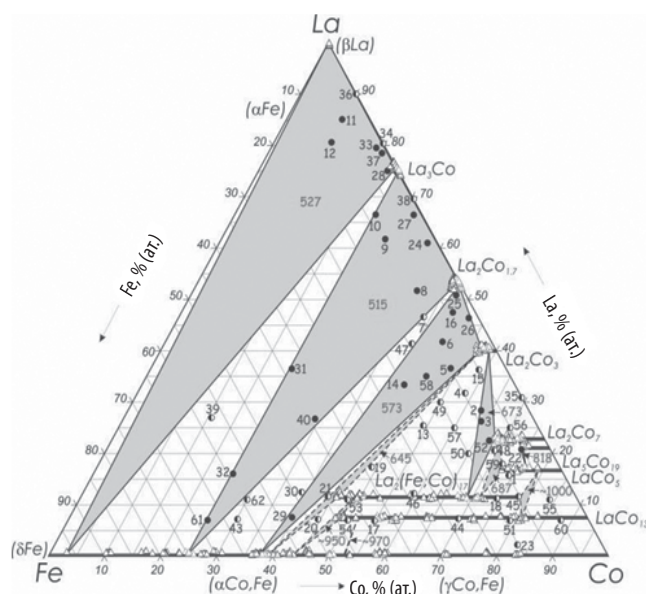


Рис. 3. Проекция солидуса системы La – Co – Fe

сплавов (4–6 % по массе углерода). Возможно, это объясняется обнаруженными двумя областями тройных фаз: $(\gamma Fe) + (C) + \alpha CeC_2$ и $L + (\gamma Fe) + Ce_2C_3$, причем без участия τ_1 -фазы. Тройные фазы, как правило, обеспечивают дисперсность структуры.

Система La – Fe – Co. Изотермический разрез названной системы показан на рис. 3 для области, где кобальта больше, чем лантана.

Надо отметить, что в опубликованной литературе есть информация о фазовом составе сплавов, относящихся к названной системе. Однако полных и достоверных данных о фазовых равновесиях не найдено. Исследованиями установлено, что в системе существуют фазовые равновесия (табл. 2).

Система La – Fe – Ni. Изучению данной системы посвящено множество работ. Тем не менее фазы, описанные в одних работах, не были идентифицированы в других, и наоборот. Поэтому был изучен фазовый состав сплавов, богатых никелем, поскольку заводская практика показала, что модифицирование белых

Таблица 2 Инвариантные равновесия в системе Fe – Co – La					
Точка жидкости	Инвариантное равновесие	Температура, °С	Состав жидкой фазы, % (ат.)		
			Fe	Co	La
E ₁	$L_{E1} \rightleftharpoons La_3Co + (\beta La) + (\alpha Co, Fe)$	527	4	17,5	78,5
P ₁	$L_{P1} + LaCo_{13} + LaCo_5 \rightleftharpoons \tau$	~1000	8	5,5	26,5
P ₂	$L_{P2} + LaCo_{13} + (\gamma Co, Fe) \rightleftharpoons (\alpha Co, Fe)$	~970	19	47	34
U ₁	$L_{U1} + LaCo_{13} \rightleftharpoons \tau + (\alpha Co, Fe)$	949	17	49	34
U ₂	$L_{U2} + La_5Co_{19} \rightleftharpoons LaCo_5 + La_2Co_7$	819	1,5	51	47,5
U ₃	$L_{U3} + LaCo_5 \rightleftharpoons \tau + La_2Co_7$	687	10	2	88
U ₄	$L_{U4} + La_2Co_7 \rightleftharpoons \tau + La_2Co_3$	674	4	44	52
U ₅	$L_{U5} + \tau \rightleftharpoons (\alpha Co, Fe) + La_2Co_3$	645	5	37	58
U ₆	$L_{U6} + La_2Co_3 \rightleftharpoons (\alpha Co, Fe) + La_2Co_{1,7}$	573	3	35	62
U ₇	$L_{U7} + (\alpha Co, Fe) \rightleftharpoons La_3Co + La_2Co_{1,7}$	515	0,5	31	68,5

Таблица 3
Инвариантные равновесия в системе Fe – Ni – La

Тип	Инвариантное равновесие	Температура, °С	Состав жидкой фазы, % (ат.)		
			Fe	Ni	La
U ₁	$L_{U1} + La_5Ni_{19} \rightleftharpoons LaNi_5 + La_2Ni_7$	830	3	61	36
U ₂	$L_{U2} + LaNi_5 \rightleftharpoons (\gamma Fe, Ni) + La_2Ni_7$	900	9	54,5	36,5
U ₃	$L_{U3} + (\alpha Fe) \rightleftharpoons (\beta La) + (\gamma Fe, Ni)$	<788	11,5	5,5	83
U ₄	$L_{U4} + LaNi_3 \rightleftharpoons La_2Ni_3 + La_7Ni_{16}$	<714	2	55,5	42,5
U ₅	$L_{U5} + La_7Ni_{16} \rightleftharpoons La_2Ni_7 + La_2Ni_3$	<688	4	53	43
U ₆	$L_{U6} + La_2Ni_7 \rightleftharpoons (\gamma Fe, Ni) + La_2Ni_3$	667	7	48,5	44,5
U ₇	$L_{U7} + La_2Ni_3 \rightleftharpoons (\gamma Fe, Ni) + LaNi$	658	6,5	47,5	46
U ₈	$L_{U8} + La_3Ni \rightleftharpoons (\gamma Fe, Ni) + La_2Ni_3$	534	4	32	64
U ₉	$L_{U9} + (\gamma Fe, Ni) \rightleftharpoons LaNi + La_7Ni_3$	525	3	27	70
E ₁	$L_{E1} \rightleftharpoons (\beta La) + (\gamma Fe, Ni) + La_3Ni$	527	3	19	78

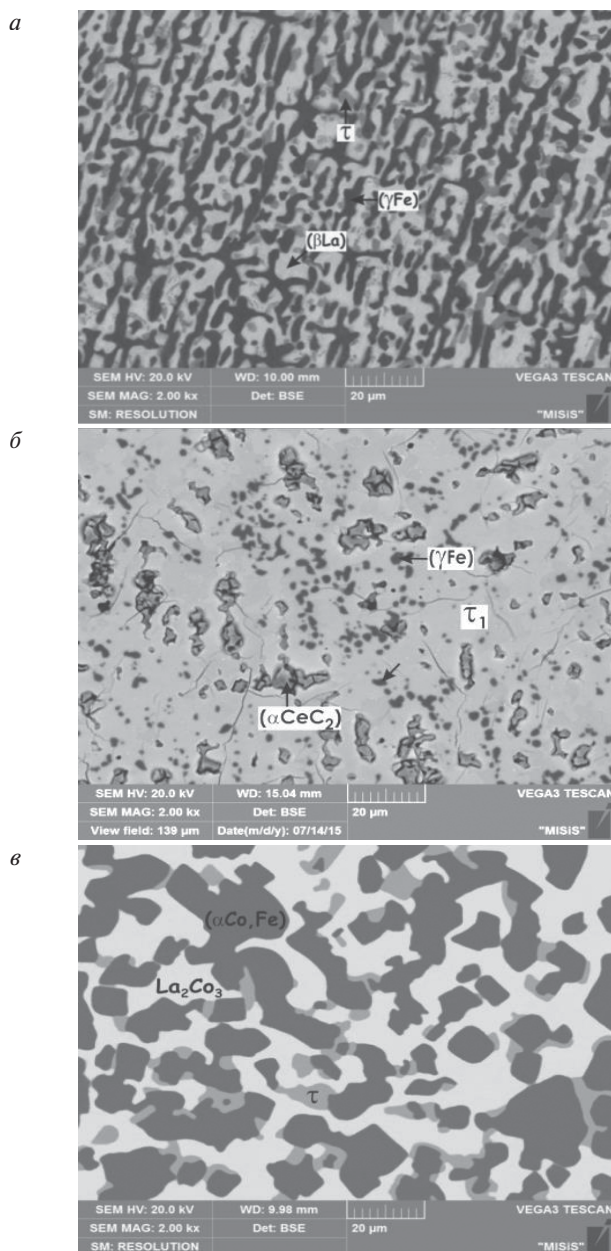


Рис. 4. Типичные структуры изученных сплавов, РЭМ, ×2000:
а — сплав с лантаном; б — сплав с церием;
в — сплав с кобальтом

чугунов никелем дает возможность получить детали с большим сроком службы.

Установлено, что в системе происходит 10 инвариантных превращений (табл. 3).

Структура сплавов была изучена методами световой и растровой электронной микроскопии (рис. 4).

На рис. 4, а показана структура сплава, содержащего 77 % Fe, 5 % С, 18 % La. Микроструктура сплава выбрана в качестве типичной по составу для сплавов с содержанием углерода, близким к его содержанию в износостойких белых чугунах, используемых на производстве.

На рис. 4, б показана структура сплавов на основе железа содержащих 5 % углерода и 10 % церия в качестве добавки. Структура благоприятна, и на ней четко видны три фазы: черные зерна, серая матрица и темно-серые зерна (см. рис. 4), которые соответствуют фазам (γFe), τ₁ и αCeC₂, что подтверждено данными рентгенофазового анализа.

Типичная структура сплавов, богатых железом и кобальтом, представлена на рис. 4, в. Из анализа ее структурных составляющих следует, что в сплавах, богатых кобальтом, структура также благородна, что связано, видимо, с наличием трехфазной области (αFe, Co) + La₂Co₃ + La₂Co_{1,7}.

Выводы

1. В результате изучения фазовых равновесий в системах Fe – С – РЗМ и Fe – С – РЗМ – ПМ (РЗМ — лантан, церий; ПМ — никель и кобальт) построены диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентных систем, их ликвидусы и солидусы, изотермические разрезы, а также определены точки и содержание инвариантных превращений.

2. Результаты работы в части структурных исследований позволяют сделать вывод о необходимости дополнительного полного элементного, микрорентгеноспектрального анализа структурных составляющих сплавов, расположенных на диаграммах состояния ближе к области концентраций чугунов.

3. Практические рекомендации по оптимизации составов промышленных сплавов, используемых на

НМЗ, будут представлены по результатам исследований их фазового состава, фазовых превращений в них, анализа структурных составляющих с учетом применения результатов данной работы. ■

Библиографический список

1. Обзор рынка черной металлургии, Deloitte 2019 [Электронный ресурс] URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/research-center/metals-1h-2019.pdf> (дата обращения: 02.10.2020).
2. Sankaran Krishnan K., Mishra Rajiv S. Metallurgy and Design of Alloys with Hierarchical Microstructures. — Elsevier. — 506 p.
3. Ahmad J. K. Melting of a new carbon-free waxed sponge iron in Electric Arc Furnace (EAF) for steelmaking // International Journal of Materials Science and Applications. 2015. Vol. 4. No. 1-2. P. 1–6.
4. Михайлов В. А. Редкоземельные руды мира: Геология, ресурсы, экономика : монография. — Киев : Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2010. — 223 с.
5. Чейлях А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. — Харьков : ННЦ ХФТИ, 2003. — 212 с.
6. Yuki Tanaka, Setsuo Takaki, Toshihiro Tsuchiyama, Ryuji Uemori. Effect of grain size on the yield stress of cold worked iron // ISIJ International. 2018. Vol. 58, Iss. 10. P. 1927–1933.
7. Волчок И. П., Нетребко В. В. Влияние марганца на процессы структурообразования износостойких высокохромистых чугунов // Строительство, материаловедение, машиностроение. 2012. Вып. 64. С. 301–304.
8. Кадырходжаев А. П., Купченко В. П. Отходы уранодобывающих предприятий Центральной Азии // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 2. С. 119–124.
9. Рузиев Н. Р. Особенности формирования инвестиционной программы на 2020–2022 гг. по ГП «НГМК» // Горный вестник Узбекистана. 2020. № 1. С. 116–119.
10. Elkader M. A., Fathy A., Eissa M., Shama S. Effect of Direct Reduced Iron Proportion in Metallic Charge on Technological Parameters of EAF Steelmaking Process // ISIJ International. 2016. Vol. 5, Iss. 2. P. 2016–2024.
11. Belikov S., Volchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron // Archives of Metallurgy and Materials. 2013. Vol. 58, Iss. 3. P. 895–897.
12. Коростелев А. А. Исследование влияния горячебрикетированного железа в металлошихте на технологические показатели плавки с целью повышения эффективности производства стали в дуговой сталеплавильной печи : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСиС, 2019. — 184 с.
13. Илюшкин Д. А., Давыдов С. В., Болдырев Д. А. Наномодифицирование чугуна для отливок стеклоформ // Вестник Брянского государственного технического университета. 2017. № 2. С. 113–119.
14. Shamelkhanova N. A., Uskenbayeva A. M., Volochko A. T., Korolyov S. P. The Study of the Role of Fullerene Black Additive During the Modification of Ductile Cast Iron // Materials Science Forum. Switzerland. 2017. Vol. 891. P. 235–241.
15. Кудря А. В. Роль разномасштабных структур в обеспечении пластичности и вязкости структурно-неоднородных сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2005. № 5. С. 18–23.
16. Ахметова Г. Е., Смагулов Д. У., Вяткина А. К., Ахмедова Т. Ш., Кудря А. В. и др. Компьютеризированные процедуры количественной обработки изображений структур трубных сталей // Сталь. 2019. № 1. С. 55–59.
17. Штрель М. А., Кудря А. В. Качество стали // Сталь на рубеже столетий / под ред. Ю. С. Карабасова. — М. : МИСиС, 2001. С. 445–543.
18. He Y., Han Y., Stamenov P., Kundys B., Coey J. M. D. et al. Investigating non-Joulian magnetostriction // Nature. 2018. Vol. 556. E5–E7.
19. Taheri P., Barua R., Hsu J., Zamanpour M., Chen Y. Structure, magnetism, and magnetostrictive properties of mechanically alloyed Fe 81 Ga 19 // Journal of Alloys Compounds. 2016. Vol. 661. P. 306–311.
20. Yao Z., Tian X., Jiang L. et al. Influences of rare earth element Ce-doping and meltspinning on microstructure and magnetostriction of Fe 83 Ga 17 alloy // Journal of Alloys and Compounds. 2015. Vol. 637. P. 431–435.
21. Кудря А. В. Конструкционные материалы и методы управления их качеством. Перспективные материалы. Т. 2 / под ред. Д. Л. Мерсона. — М. : ТГУ МИСиС, 2006. С. 281–304.
22. Кан Р. У., Ханзен П. М. Физическое металловедение. Т. 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми свойствами : пер. с англ. — М. : Металлургия, 1987. — 624 с.
23. Кудря А. В., Соколовская Э. А., Ахмедова Т. Ш., Пережогин В. Ю. Информативность морфологии структур твердых сплавов для прогноза качества наплавов // Цветные металлы. 2017. № 12. С. 78–83.

DOI: 10.17580/chm.2020.11.03

“CHERNYE METALLY”, 2020, No. 11, pp. 22–28

PHASE TRANSFORMATIONS IN IRON-CARBON ALLOYS DOPED WITH RARE EARTH AND TRANSITION METALS

A. A. Zhumaev¹, Postgraduate Student;
 Yu. N. Mansurov², Dr. Eng., Director, Prof. of the Tashkent State Transport University;
 D. D. Mamatkulov³, Dr. Eng., Prof.;
 K. S. Abdullaev⁴, Chief Engineer.

¹Navoi branch of the Academy of Sciences of Uzbekistan (Navoi, Uzbekistan)

²Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Uzbekistan (Tashkent, Uzbekistan)

³Samarkand State Institute of Architecture and Civil Engineering (Samarkand, Uzbekistan)

⁴Navoi Machine-Building Plant (Navoi, Uzbekistan)

E-mail: ahmadjon_jumayev@mail.ru, yulbarsmans@gmail.com

Abstract: Iron-based alloys began to be used so long ago that today they are classified as classical materials, since these alloys have been studied in depth. The production of various products from steel and cast iron naturally takes the first place in terms of volume, since they have a valuable set of properties: a wide range of plasticity and strength, unique technological properties, which makes it possible to apply all technological operations to them - from simple casting into earth to

complex pressure treatment processes. This combination of properties provides, first of all, the composition of iron-based alloys with the main alloying element – carbon. The serious disadvantage of ferrous alloys is their low level of corrosion properties. To eliminate this drawback, both steel and cast iron are alloyed with such metals as chromium, nickel, cobalt, etc. Naturally, this leads to an increase in the mass of finished products and structures. Therefore, the search for alloying elements to improve and optimize the composition of ferrous alloys is relevant today. On the other hand, the industry of Uzbekistan produces a sufficient amount of transition, rare earth metals. Thus, the task is to get added value from the production and processing of these non-ferrous metallurgy products. The analysis of the known literature data on this topic shows that research has been carried out on the use of various transition and rare earth metals for alloying ferrous alloys. However, the available scientific results do not allow to speak about systemic knowledge about the use of rare earth and/or transition metals as effective additives for steels and cast irons. The authors studied phase equilibria, determined the compositions of the phases and the reactions occurring in the systems, constructed phase diagrams, their isothermal sections, determined the structure of iron-based alloys with additions of rare-earth and transition metals with all structural components. The prospect of using the products of nonferrous metallurgy of Uzbekistan for the production of high-quality steels and cast irons is shown.
Keywords: iron, carbon, steels, cast irons, alloying, rare earth elements, transition metals, phase equilibria, structure.

References

1. Overview of the iron and steel market, Deloitte 2019 [Electronic resource] Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/research-center/metals-1h-2019.pdf> (accessed: 02.10.2020).
2. Sankaran Krishnan K., Mishra Rajiv S. Metallurgy and Design of Alloys with Hierarchical Microstructures. Elsevier. 506 p.
3. Ahmad J. K. Melting of a new carbon – free waxed sponge iron in Electric Arc Furnace (EAF) for steelmaking. *International Journal of Materials Science and Applications*. 2015. Vol. 4. No. 1–2. pp. 1–6.
4. Mikhaylov V. A. World rare earth ores: Geology, resources, economics: monograph. Kiev: Izdatelsko-poligraficheskiy tsentr "Kievskiy universitet", 2010. 223 p.
5. Cheylyakh A. P. Economically alloyed metastable alloys and hardening technologies. Kharkov: NNTs KhFTI, 2003. 212 p.
6. Tanaka Y., Takaki S., Tsuchiyama T., Uemori R. Effect of grain size on the yield stress of cold worked iron. *ISIJ International*. 2018. Vol. 58, Iss. 10. pp. 1927–1933.
7. Volchok I. P., Netrebko V. V. The influence of manganese on the processes of structure formation of wear-resistant high-chromium cast irons. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*. 2012. Iss. 64. pp. 301–304.
8. Kadyrkhodzhaev A. P., Kupchenko V. P. Waste from uranium mining enterprises in Central Asia. *Gorny Vestnik Uzbekistana*. 2010. No. 2. pp. 119–124.
9. Ruziev N. R. Features of the formation of the investment program for 2020–2022 for SC "NMMC". *Gorny vestnik Uzbekistana*. 2020. No. 1. pp. 116–119.
10. Elkader M. A., Fathy A., Eissa M., Shama S. Effect of Direct Reduced Iron Proportion in Metallic Charge on Technological Parameters of EAF Steelmaking Process. *ISIJ International*. 2016. Vol. 5, Iss. 2. pp. 2016–2024.
11. Belikov S., Vlchok I., Netrebko V. Manganese influence on chromium distribution in high-chromium cast iron. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2013. Vol. 58, Iss. 3. pp. 895–897.
12. Korostelev A. A. Study of the effect of hot briquetted iron in a metal charge on technological indicators of melting in order to increase the efficiency of steel production in an arc steel-making furnace: Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. Moscow: MISiS, 2019. 184 p.
13. Ilyushkin D. A., Davydov S. V., Boldyrev D. A. Nanomodification of cast iron for glass molds. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017. No. 2. pp. 113–119.
14. Shamelkhanova N. A., Uskenbayeva A. M., Volochko A. T., Korolyov S. P. The Study of the Role of Fullerene Black Additive during the Modification of Ductile Cast Iron. *Materials Science Forum. Switzerland*. 2017. Vol. 891. pp. 235–241.
15. Kudrya A. V. The role of different-scale structures in ensuring the plasticity and toughness of structurally inhomogeneous steels. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2005. No. 5. pp. 18–23.
16. Akhmetova G. E., Smagulov D. U., Vyatkina A. K., Akhmedova T. Sh., Kudrya A. V. et al. Computerized procedures for quantitative image processing of pipe steel structures. *Stal*. 2019. No. 1. pp. 55–59.
17. Shtremel M. A., Kudrya A. V. Steel quality: in the book. Steel at the turn of the century. Edited by Yu. S. Karabasov. Moscow: MISiS, 2001. pp. 445–543.
18. He Y., Han Y., Stamenov P., Kundys B., Coey J. M. D. et al. Investigating non-Joulian magnetostriction. *Nature*. 2018. Vol. 556. E5–E7.
19. Taheri P., Barua R., Hsu J., Zamanpour M., Chen Y. Structure, magnetism, and magnetostrictive properties of mechanically alloyed Fe81Ga19. *Journal of Alloys Compounds*. 2016. Vol. 661. pp. 306–311.
20. Yao Z., Tian X., Jiang L. et al. Influences of rare earth element Ce-doping and meltspinning on microstructure and magnetostriction of Fe83Ga17 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. Vol. 637. pp. 431–435.
21. Kudrya A. V. Construction materials and quality management methods. Promising materials. Vol. 2. Edited by D. L. Merson. Moscow: TGU MISiS, 2006. pp. 281–304.
22. Cahn R. W., Hansen P. M. Physical Metallurgy. Vol. 2. Translated from English. Moscow: Metallurgiya, 1987. 624 p.
23. Kudrya A. V., Sokolovskaya E. A., Akhmedova T. Sh., Perezhogin V. Yu. Information content of hard alloy structures morphology for the forecast of facings quality. *Tsvetnye Metally*. 2017. No. 12. pp. 78–83.

Редакция и редакционный совет журнала «Черные металлы», а также Издательский дом «Руда и Металлы» поздравляют авторский коллектив ПАО «ЧТПЗ» с присвоением премии Правительства РФ в области науки и техники 2020 г. за работу «**Разработка инновационных технологий и освоение производства специальных видов труб ответственного назначения для нефтегазового, оборонного комплексов и атомной промышленности**».

Работа направлена на разработку инновационных технологий, обеспечивающих производство специальных видов труб для транспортировки газа, нефти и ее продуктов, труб из нержавеющей марки стали, сплавов на основе титана для атомной, судостроительной, химической, машиностроительной промышленности и ВПК, шестигранных труб-заготовок из стали марки 04X14T3P1Ф-Ш для хранения и транспортировки отработанного ядерного топлива, труб из стали марки 40XH2МА для изготовления цельнометаллических лонжеронов лопастей для вертолетостроения. Работа является актуальной, комплексной, многоплановой и имеет большое научно-практическое значение.

В число награжденных вошли следующие специалисты ПАО «ЧТПЗ»: **Никитин Кирилл Николаевич** (советник генерального директора), **Брагин Александр Александрович** (ведущий специалист отдела филиала), **Гизатуллин Антон Бильгуварович** (руководитель центра), д.т.н., проф. **Осадчий Владимир Яковлевич** (советник по науке и технике филиала), к.т.н. **Романцов Игорь Александрович** (советник генерального директора), к.т.н., заслуженный изобретатель России **Сафьянов Анатолий Васильевич** (советник генерального директора), **Маковецкий Александр Николаевич** (начальник отдела), к.т.н. **Шандер Сергей Викторович** (начальник отдела), к.т.н. **Федоров Александр Анатольевич** (председатель комитета) и к.т.н. **Федоров Михаил Александрович** (начальник участка).

Еще раз поздравляем коллег с высокой наградой!