

Металлургия

АШИНОСТРОЕНИЯ

№ 2
2017



Металлургия

МАШИНОСТРОЕНИЯ

2 2017

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

• СОДЕРЖАНИЕ •

ПЛАВКА. ОБРАБОТКА РАСПЛАВА • MELTING. MELT TREATMENT

- Гладких И.В. Огнеупорные материалы на основе техногенного сырья для литейно-металлургического производства • Gladkikh I.V. Refractories based on anthropogenic raw materials for the foundry-and metallurgy industry ...2
- Иванова В.А., Порсев К.И., Шамина Е.О., Туров А.М. Функциональное моделирование процесса плавки чугуна в вагранке • Ivanova V.A., Porsev K.I., Shamina E.O., Turov A.M. Functional modeling of cast iron melting process in a cupola ...6
- Левшин Г.Е. О параметрах электромагнитной индукционной печи с U-образным магнитопроводом • Levshin G.E. The parameters of the electromagnetic induction furnace with U-shaped magnetic cores ...11
- Болдырев Д.А., Попова Л.И., Давыдов С.В. Анализ фазового состава структуры графитизирующих ферросиликобариевых модификаторов • Boldyrev D.A., Popova L.I., Davydov S.V. Analysis of phase composition of graphitizing ferrosilicabarium inoculants' structure ...17
- Леушин И.О., Леушина Л.И., Плохов С.В. Разработка технической схемы применения минеральных шламов для рафинирования чугуна и стали • Leushin I.O., Leushina L.I., Plokhov S.V. Development of a process flow for recycling mineral sludge for finishing cast iron and steel ...21
- Марукович Е.И., Стеценко В.Ю. Плавка и литье силуминов – наноструктурные процессы • Marukovich E.I., Stetsenko V.Y. Melting and casting of silumins – nanostructural processes ...24

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ • MODERN MATERIALS

- Афанасьев В.К., Долгова С.В., Попова М.В., Магазов С.В., Черныш А.П. О новом понимании микроструктуры чистого железа • Afanasiev V.K., Dolgova S.V., Popova M.V., Magazov V.S., Chernysh A.P. On the new understanding of pure iron microstructure ...29
- Прусов Е.С., Кечин В.А. Синтез композиционных сплавов триботехнического назначения • Prusov E.S., Kechin V.A. Synthesis of composite alloys for tribotechnical application ...34
- Усков И.В., Беляев С.В., Сидельников С.Б., Усков Д.И. Разработка припоев для ювелирных сплавов • Uskov I.V., Belyayev S.V., Sidelnikov S.B., Uskov D.I. Development of solders for jewelry alloys ...38

ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА • XXI CENTURY TECHNOLOGIES

- Дмитриев Э.А., Живетьев А.С., Ри Э.Х., Ри Хосен. Управление структурой и свойствами меди путем термической и термоскоростной обработки жидкой фазы • Dmitriyev E.A., Zhivetiev A.S., Ri E.H., Ri Hosen. Controlling copper structure and properties by thermal and rapid thermal treatment of the liquid phase ...42

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА • INFORMATION. CHRONICLE

- Патенты и заявки ...45
- Мероприятия по металлургии и машиностроению ...47
- Выставка оборудования для неразрушающего контроля ...48
- Технофорум-2016 ...50

Второй день был полностью посвящен докладам молодых ученых, которые представили результаты работ, выполненных в МГТУ «Станкин» и Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева. Знаковым событием в рамках международной конференции стал круглый стол на тему «Подготовка специалистов среднего звена и рабочих кадров для организации ОПК: лучшие практики».

Передовые разработки отечественных машиностроителей для оснащения железнодорожного транспорта были представлены на научно-технической конференции «Инновационное станкостроение, технологии, инструмент предприятиям железнодорожного машиностроения». Подобное мероприятие в рамках «Технофорума» проходило впервые. Его организаторами выступили «Станкоинструмент», НП «ОПЖД» и АО «Экспоцентр».

Участники конференции были проинформированы об изменениях в станкоинструментальной отрасли, связанных с трансфером технологий и привлечением инвестиций, а также комплексом мер, направленных на изменение отношений между производителями и потенциальными потребителями станкоинструментальной продукции.

На конференции были представлены новейшие разработки отечественных машиностроителей, заводов инструментального комплекса, измерительной техники для оснащения железнодорожного транспорта. Одним из ключевых партнеров и потребителей продукции станкостроения выступает «РЖД». Было отмечено, что в связи с большим износом станочного парка «РЖД» поддерживает проекты «Станкоинструмента» по техническому перевооружению, в частности, участвует в строительстве завода «Рафамет» в Калужской обл. Предложено создать рабочую группу по проработке вопросов фактического состояния станочного парка и его сервисного обслуживания.

Деловую программу выставки «Технофорум» дополнил еще ряд мероприятий:

- конференция «Профессиональный менеджмент интеллектуальной собственности: практика и возможности». Организаторы: ВК «Мир-Экспо» и АО «Экспоцентр»;
- круглый стол «Локализация производства комплектующих изделий в РФ. Экспертные мнения и планы станкостроителей». Организаторы: Ассоциация «Станкоинструмент» и Промышленная группа «Приводная техника»;
- конференция «Инновационные материалы и технологии: IMTEX». Организаторы: ВК «Мир-Экспо» и АО «Экспоцентр».

Все события деловой программы были направлены на более глубокое понимание процессов, происходящих в отрасли. «Технофорум-2016» стал площадкой для демонстрации последних достижений и передовых технологий для предприятий станкостроительной отрасли.

Дальнейшее развитие машиностроительная тематика получит на Международной выставке «Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности» – «Металлообработка-2017» и Международной специализированной выставке «Оборудование и технологии обработки конструкционных материалов» – «Технофорум-2017», которые пройдут в ЦВК «Экспоцентр».

Пресс-служба АО «Экспоцентр», www.technoforum-expo.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- **Бех Николай Иванович** (председатель)
Д-р техн. наук, Президент
ОАО «Звезда Энергетика»
- **Афанасьев Владимир Константинович**
Д-р техн. наук, проф. кафедры
материаловедения, литейного и сварочного
производства СибГИУ
- **Малиновский Владимир Сергеевич**
Канд. техн. наук, Президент ООО НТФ «Экта»
- **Марукович Евгений Игнатьевич**
Академик НАН Респ. Беларусь,
зав. отделом ГНУ «Института технологии
металлов НАН Беларуси»
- **Найдек Владимир Леонтьевич**
Академик НАН Украины, Почетный Директор
Физико-технологического института
металлов и сплавов НАН Украины
- **Поддубный Анатолий Никифорович**
Д-р техн. наук, Советник ген. директора
АО «Инженерный центр ядерных
контейнеров»
- **Ри Хосен**
Д-р техн. наук, проф. кафедры «Литейное
производство и технология металлов»
Тихоокеанского государственного
университета
- **Тен Эдис Борисович**
Д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии
литейных процессов» НИТУ «МИСиС»
- **Тихонов Аркадий Константинович**
Д-р техн. наук, проф., Советник по науке
ОАО «АвтоВАЗ»
- **Яскевич Инна Авдеевна**
Главный редактор

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Литейное производство»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

И.А. Яскевич

ЖУРНАЛ ГОТОВИЛИ

А.И. Батышев

А.Е. Зевакина

Е.В. Трушина

НАШ АДРЕС

111394, Москва,
ул. Мартеновская,
д. 39, корп. 2, офис 4

ТЕЛЕФОН/ФАКС

8 (495) 303-85-81

E-MAIL: lp@niit.ru

САЙТ www.foundrymag.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Металлургия Машиностроения», осуществляется только с разрешения редакции

Сдано в набор 01.02.2017

Подписано в печать 01.03.2017

Формат 60х80 1/8

Отпечатано в ООО «Печатное дело»

127055, г. Москва, Вадковский пер.,
д. 12, офис 40

Цена договорная

УДК 621.745.55: 669.14

- В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова,
С.В. Магазов, А.П. Черныш
- V.K. Afanasiev, S.V. Dolgova, M.V. Popova,
V.S. Magazov, A.P. Chernysh

О новом понимании микроструктуры чистого железа

On the new understanding of pure iron microstructure

После первых крупных успехов с момента становления науки о металлах появилось много противоречивых моментов. В частности, непонятно было уменьшение эффекта ТО в двойных Fe–C-сплавах, содержащих $\geq 0,8\%$ C. Многие трудности в научном решении возникших проблем в области двойных сплавов требовали новых исследований. Однако столпы науки о металлах (Аустен, Сорби, Ван-дер-Троост, Бэйн, Мартенс, Йенсен, Эссер и др.) пошли по более легкому пути – легированию третьими и четвертыми элементами.

В связи с постоянно растущей стоимостью ферросплавов, наличием лишь общих закономерностей влияния других химических элементов и отсутствием рабочей теории легирования, необходимо вернуться к истокам формирования структуры и других свойств нелегированных сплавов Fe–C. В первую очередь, это касается микроструктуры основы сплавов. В работе, в качестве объекта изучения, было выбрано высокочистое железо 008ЖР производства Красноярского завода «Сибэлектросталь» следующего химсостава, %: C – 0,008; Mn – 0,006; Si – 0,03; S – 0,005; P – 0,003; Cr – 0,01; Ni – 0,03; Cu – 0,03; Al – 0,05; Fe – ост. Помимо традиционных металлических примесей, в этом железе содержатся водород, азот и кислород, т.е. здесь есть официальный комплект HCNO.

Ранее в работе [1] были обстоятельно изучены особенности влияния нагрева на газосодержание и механические свойства высокочистого железа, что позволило сделать два важных заключения.

Предлагается считать, что водород, углерод, азот и кислород – составные части единой общности HCNO – организма, который формирует темные структурные составляющие в чистом железе. Изучение особенностей приготовления шлифов с разным временем травления в общепринятом спиртовом растворе HCNO, при малом времени выдержки до 6 мин, обеспечивает резкую высокую травимость шлифов. При больших выдержках темная масса заменяется на светлые образования. Очевидно, что следует провести большой комплекс работ по термической (ТО) и химико-термической обработке (ХТО) чистого железа с целью получения железа с максимальной долей темного или светлого, что позволит регулировать свойства железа и Fe–C-сплавов в широких пределах.

Ключевые слова

Общность HCNO, чистое железо, микроструктура, травление.

АННОТАЦИЯ

SUMMARY

It is proposed to assume that hydrogen, carbon, nitrogen, and oxygen are part of a single community HCNO – body, which forms a dark structural components in pure iron. The study of preparation of thin sections with different etching time in the conventional alcohol solution HCNO at low exposure time to 6 minutes provides a sharp high travelmasti sections. At high exposures the mass of the dark is replaced by light of education. The results show that we should spend a complex of works on heat and chemical-heat treatment of pure iron with the aim of obtaining iron with the maximum amount of dark or light that will allow you to adjust the properties of iron and alloys Fe–C in wide limits.

Key words

Common HCNO, pure iron, microstructure, etching.

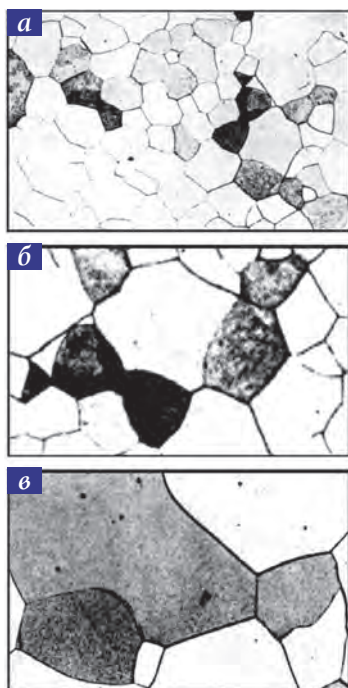


Рис. 1. Микроструктура железа [2]. Время травления 10 с: **а** – 100:1, **б** – 100:1 + УК, **в** – 500:1 + УК

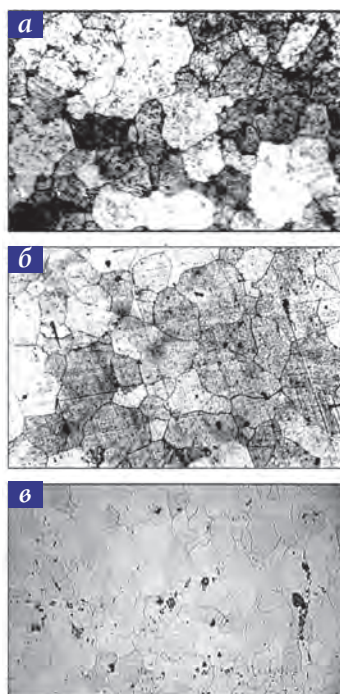


Рис. 2. Влияние времени выležивания Fe в сухом теплом помещении. Время травления 10 с, $\times 300$: **а** – свежеприготовленное, **б** – 10 лет, **в** – 40 лет



Рис. 3. Микроструктура цементита, $\times 300$ [3]

- Нагрев железа 008ЖР в интервале 20...950°C позволил выявить два интервала охрупчивания, выражающихся в снижении прочности и пластичности: первый – 200...400 и второй 750...850°C. Охрупчивание после нагрева в первом интервале происходит за счет новых выделений («субструктуры»), образующихся, предположительно, при взаимодействии водорода, азота и кислорода, количество которых после нагрева до 200°C наименьшее.

- Второй интервал охрупчивания обусловлен образованием крупнозернистой микроструктуры, за счет увеличения количества азота и кислорода, с соответствующим уменьшением водорода.

Там же подробно приведены результаты металлографии

ческого анализа влияния нагрева на микроструктуру.

Общее для всех микроструктур – колебания темного и светлого, в зависимости от нагрева. Сделана попытка увязать эти изменения с содержанием HNO при исходном содержании углерода в 0,008%. При изучении микроструктуры Fe существует единое положение – это травитель 4...5%-ной спиртовой раствор HNO₃, время травления 4...10 с и очень приблизительное объяснение разной травимости зерен Fe.

В 1972 г. бельгийцы предложили европейскую трактовку микроструктуры чистого железа, принятую затем в мировой практике. «Обычное травление выявляет только границы зерен. Если травление более глубокое, то получается незначительная разница в цвете зерен феррита,

который зависит от их ориентации относительно поверхности образца» [2].

Отсюда и началось ошибочное развитие приемов изучения двойных сплавов. Темные зерна или зерна повышенной травимости, начиная с чистого Fe, – начало начал понимания чугунов и сталей. Это темное очень мобильно и имеет весьма характерное построение (рис. 1) [2].

Важнейшее обстоятельство для понимания микроструктуры – изучение ее стабильности во времени при комнатной температуре.

Установлено, что длительное вылеживание железа в сухом теплом помещении в течение 40 лет после его изготовления устраняет зерна феррита «неправильно ориентированные к плоскости образца» (рис. 2).

Поэтому и предлагается считать, что темное – это не зерна феррита, цвет которых «зависит от их ориентации

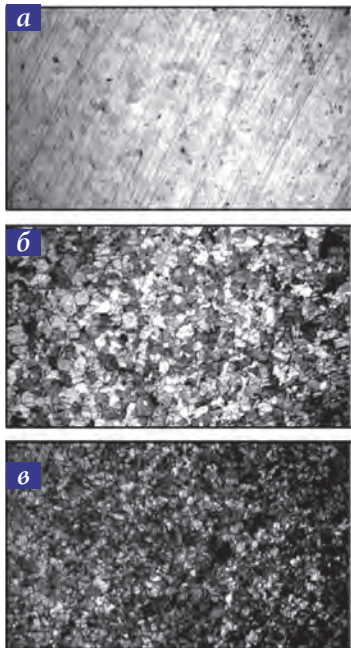


Рис. 4. Влияние времени травления на микроструктуру железа 008ЖР, $\times 80$: *а* – 10 с, *б* – 120 с, *в* – 360 с

относительно поверхности образца», а декорируемые травителем HCNO (5% HNO_3 в $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) потоки темного нового вещества в светлом железе.

Это новое вещество состоит из отдельных атомов Н, С, N и О, вакансий, дислокаций, зон Гинье-Престона I и II (ЗГП I и ЗГП II) и, наконец, новой промежуточной фазы, которая, к тому же, когерентно связана с матрицей.

Эта новая промежуточная фаза, без и с нарушением когерентности, названа тремя цементитами – третичным, вторичным, первичным – когерентно связанными – и, наконец, **цементитом** Fe_3C – самостоятельной.

Цементит – это светлая фаза, которая, как и чистое железо, содержит темное вещество (рис. 3) [3]. Рассматриваемые стадии изменения темного

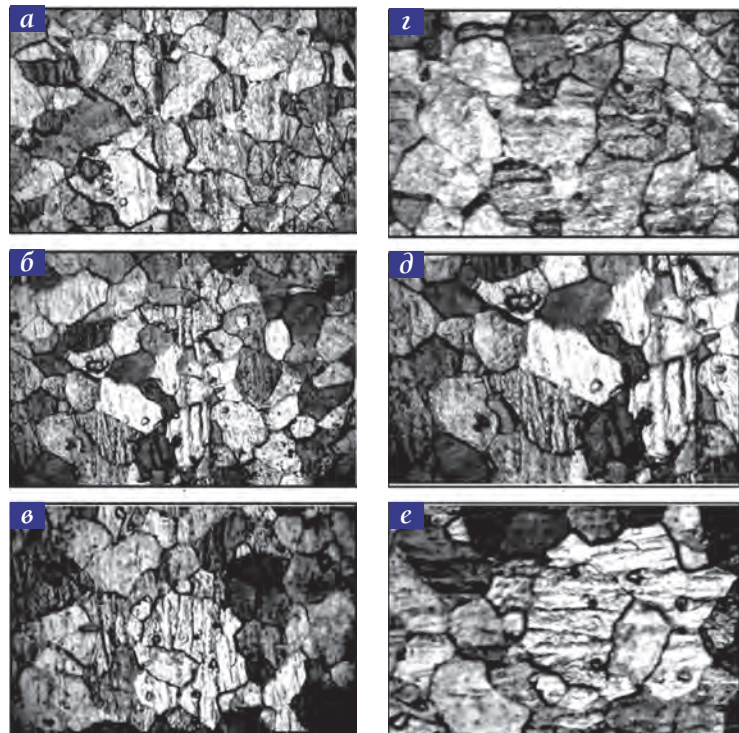


Рис. 5А. Микроструктура железа 008ЖР после травления 360 с: *а, б, в* – $\times 300$; *г, д, е* – $\times 300 + \text{УК}$

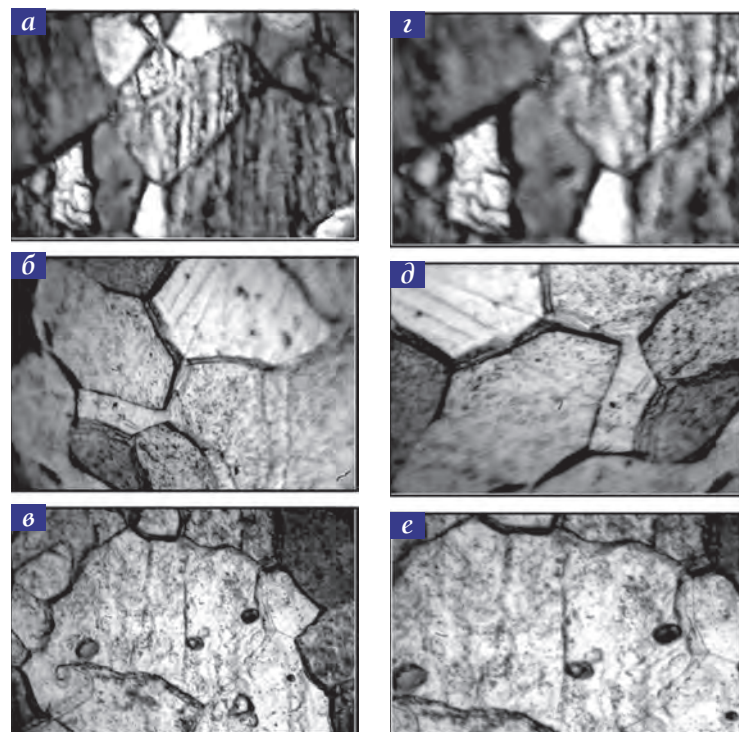


Рис. 5Б. Микроструктура железа 008ЖР после травления 360 с: *а, б, в* – $\times 750$; *г, д, е* – $\times 750 + \text{УК}$

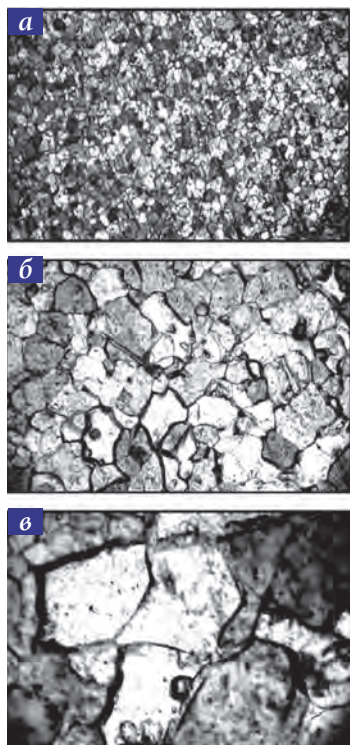


Рис. 6. Микроструктура железа 008ЖР после травления 480 с: а – $\times 80$, б – $\times 300$, в – $\times 750$

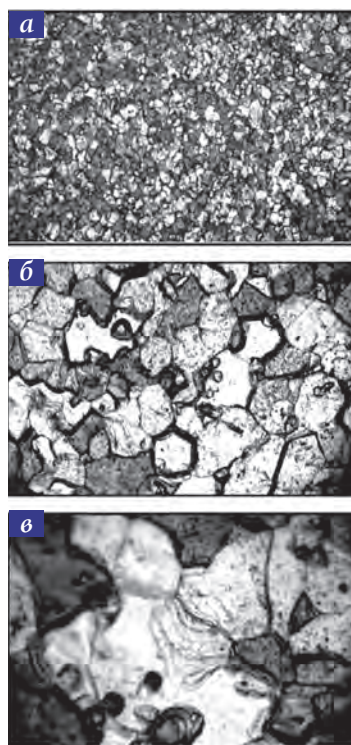


Рис. 7. Микроструктура железа 008ЖР после травления 600 с: а – $\times 80$, б – $\times 300$, в – $\times 750$

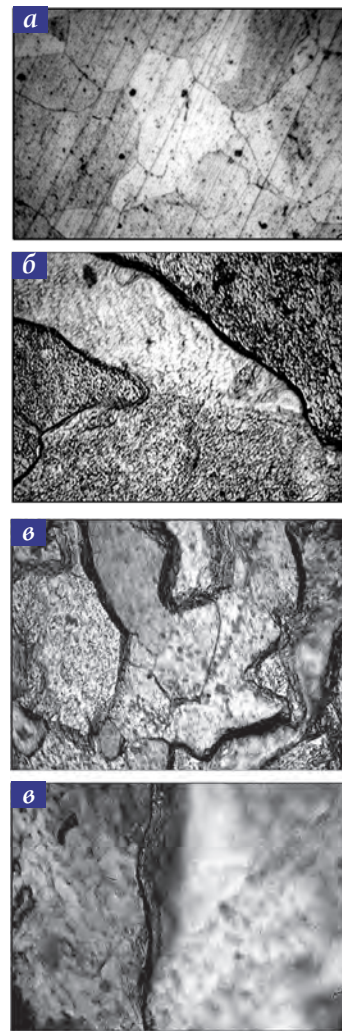


Рис. 8. Влияние длительного травления на микроструктуру железа 008ЖР, $\times 750$: а – 10 с, б – 30 мин, в – 45 мин, г – 60 мин

и светлого отражены на диаграмме Fe–C [4].

Здесь следует очень важное заключение, которое впоследствии будет иметь определяющее значение для всей «водородной металлургии».

Оно может быть следующим: поскольку уже в чистом железе (неорганическом веществе) есть темное вещество, которое, с увеличением HCNO (органическое вещество), станет полностью темным (0,8% C), а затем, светлым Fe_3C (6,67% C), то железо и цементит следует считать металлоорганическим веществом, а темное (0,8% C) – органо-металлическим.

Отсюда появилась необходимость выяснить, что есть более глубокое травление [2]. Поэтому образцы подвергались травлению в 5%-ном спирто-

вом растворе HNO_3 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HNO}_3$) в течение разного времени – от 10 до 600 с.

На рис. 4 приведена микроструктура после травления в течение 10...360 с. Видно, что 120-с травление уже резко увеличивает количество неправильно ориентированных к плоскости шлифа зерен, т.е. темной массы, а разница в цвете зерен феррита становится очень значительной.

Травление железа в течение 360 с в наибольшей мере исключает светлое, и шлиф становится подавляюще темным.

Здесь нужно сделать обычный в таких случаях вывод – шлиф перетравлен, но это в том случае, если микроструктура наблюдается визуально или при малых увеличениях $\times 48...80$. При $\times 300$ и $\times 750$ хорошо видны разные этапы на-

ступления темного вещества на светлые участки железа.

На рис. 5 приведена микроструктура после 360-с травления, при $\times 300$ (рис. 5А) и $\times 750$ (рис. 5Б).

При 300 еще есть общий серый (полусветлый или полутемный) фон рисунка, но при 750 уже резко обозначены темное (Т) и светлое (С). При наступлении Т (темное HCNO – органическое вещество) на С (светлое Fe – неорганическое вещество) видны

разные стадии этого процесса. На **рис. 5 (з, д, е)**, где подробно показаны увеличенные в графическом редакторе (УК) стадии зарастания (заполнения) светлого темным, видим моменты зарастания светлого железа (неорганического вещества) темным (органическим веществом HCNO), что подтверждает достоверность *нового понимания* микроструктуры.

С другой стороны, если шлиф перетравлен, то дальнейшее увеличение времени травления приведет к полному уничтожению проявляемой микроструктуры.

Однако увеличение времени травления уже до 8 (**рис. 6**) и 10 мин (**рис. 7**) является началом обратного процесса. После максимального образования темного в светлом железе (травление 6 мин) начинается процесс перехода темного в светлое, т.е. протекает процесс $T \leftrightarrow C$, а согласно законам организации и жизни материи идет наглядно процесс [5]:

$T \rightarrow \text{полусветлое} \rightarrow \text{светлое} \rightarrow \text{полутемное} \rightarrow \text{темное} \rightarrow \dots \rightarrow \dots \rightarrow \infty$

При необычно большом времени травления (30, 45 и 60 мин) исчезает зеренная структура, толщина границ между светлым и темным резко увеличивается и напоминает графитовые образования в сером чугуна, и уже после 60-мин травления (**рис. 8, з**) наблюдаются светлые и темные области железа, разграниченные темным веществом (**рис. 8**).

Выводы

- Изучение особенностей приготовления шлифов при разном времени травления в общепринятом спиртовом растворе HCNO и при малом времени выдержки до 6 мин обеспечивает резкую высокую травимость шлифов. При больших выдержках темная масса заменяется на светлые образования.
- Приведенные результаты исследования показывают, что следует провести большой комплекс работ по ТО и ХТО чистого железа для по-

лучения железа с максимальной долей темного или светлого, что позволит регулировать свойства железа и сплавов Fe–C в широких пределах.

СПИСОК

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.К., Долгова С.В., Лаврова Н.Б. и др. Особенности влияния нагрева на газосодержание и механические свойства высокочистого железа // *Металлургия машиностроения*. – 2009. – №6. – С. 12–16.
2. Хабракен Л., де Брауэр Дж. Л. Металлография железа. Т.1. Основы металлографии. Перевод с англ. З.Ш. Херодинашвили под ред. Ф.Н. Тавадзе. Монография с атласом микрофотографий. – Л.: Металлургия, 1972. – 240 с.
3. Бунин К.П. Основы металлографии чугуна / К.П. Бунин, Я.Н. Малиночка, Ю.Н. Таран. – М.: Металлургия, 1969. – 416 с.
4. Афанасьев В.К. О диаграмме Fe–C // *Металлургия машиностроения*. – 2014. – №6. – С. 16–22.
5. Афанасьев В.К., Долгова С.В., Попова М.В. и др. Металлография чугуна. – СПб: Изд-во политехнического университета, 2016. – 482 с.

Сведения об авторах

Афанасьев В.К. – д-р техн. наук, профессор-консультант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства СибГИУ, г. Новокузнецк.
E-mail: sv_dolgov@mail.ru

Долгова С.В. – мл. науч. сотр. УНИ СибГИУ.

Попова М.В. – д-р техн. наук, доц., проф., СибГИУ.

Магазов С.В. – ген. дир. ООО «Сибирское НПО».

Черныш А.П. – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин ФГБОУ ВО Кемеровский ГСХИ, г. Кемерово.