

А.Ю.Борисенко

О СТРУКТУРНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ В СЕРЫХ ЧУГУНАХ

Целью работы является исследование структурной наследственности в серых чугунах как составной частью общей теории структурной наследственности в металлах и их сплавах. Выполнен аналитический обзор данных о структурной наследственности в серых чугунах. Отмечена необходимость разработки общей теории структурной наследственности в железоуглеродистых сплавах на основе знаний о механизмах жидко–твердофазных превращений.

чугун, железоуглеродистые сплавы, структурная наследственность, жидко–твердофазные превращения

Современное состояние вопроса. В последнее время внимание исследователей вновь привлекает проблема наследственности в металлических сплавах и, в частности, в чугуне и стали [1–3], которая зародилась в 30–е годы XX столетия в СССР и усиленно разрабатывалась в 50–70 годы ленинградской школой литейщиков под руководством Н.Г.Гершовича [4–6]. Теория наследственности в серых чугунах и сегодня является весьма дискуссионной и не находит всеобщего признания [7, 8].

В настоящее время теория наследственности литейных сплавов, разрабатываемая самарской школой литейщиков–металловедов под руководством В.И.Никитина, находит свое развитие на примере цветных сплавов [9–12]. Странники этой теории развивают новое научное направление – генную инженерию в сплавах, рассматривая понятие «ген» применительно к металлам как химико–структурную единицу, несущую информацию от шихтовых материалов через жидкую фазу к закристаллизовавшейся отливке. Их оппоненты утверждают, что описание известных явлений наукообразным понятием, ничего не добавляющим к пониманию сути процессов, не имеет смысла [7].

История развития теории наследственности в металлических сплавах показывает, что под понятием наследственности в чугунах традиционно понимается связь между свойствами исходных шихтовых материалов и свойствами произведенных из них отливок [5,8]. Явление структурной наследственности в серых чугунах, т.е. наследование особенностей структуры шихтовых материалов отливками, является составной частью общей теории структурной наследственности в металлах и их сплавах. В вопросе изучения структурной наследственности серых чугунов особое внимание привлекают выводы, сформулированные в работе [4]:

- характеристики чушковых чугунов, даже одного завода и одной марки, не всегда являются постоянными;
- природа чушковых чугунов сильнее проявляется при высоком углеродном эквиваленте чугуна вторичной плавки;

- происхождение чушковых чугунов влияет не только на форму включений графита, но и на структуру металлической основы;
- наиболее важной составляющей структуры чушковых чугунов при получении серых чугунов является характеристика графита.

Явление структурной наследственности в чугунах должно заключаться в наследственной передаче отливкам структуры исходных литейных чугунов: размера, морфологии, характера распределения графитных включений, а также металлической матрицы (основы) [13]. По данным работ [14, 15] отрицательная наследственность доменных литейных чугунов наиболее сильно проявляется в отливках за счет грубопластинчатой структуры графита.

Изложение основных материалов аналитического исследования.

Практикой литейного производства установлено, что литейные доменные чугуны одной марки, имеющие близкий химический состав, но разных заводов–изготовителей имеют разную структуру и механические свойства [16–18], которые сохраняются при последующих переплавах. Различие свойств доменных чугунов одного химического состава, но разных металлургических заводов объясняют наличием разного количества микропримесей, неметаллических включений и содержанием газов [1]. Установлено, что на наследственные свойства чушковых чугунов, используемых для производства отливок, могут оказывать влияние различные факторы доменного производства: объем доменной печи, температура и режим дутья, степень восстанавливаемости руды, особенности разлива чугуна в изложницы и др. В связи с этим, **полученному** в конкретной доменной печи **чугуну**, присущи свои особенности по склонности к графитизации, формированию структуры металлической основы, чувствительности к усадке и пористости, передающиеся после переплава к отливкам. Следует отметить, что, связывая многие виды брака отливок с неблагоприятной наследственностью доменных чугунов, **производственники** зачастую скрывают собственные технологические просчеты и недостатки [1].

Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению вопроса структурной наследственности в серых чугунах, работ, направленных на установление причин ее возникновения, имеется немного. При этом, иногда, результаты этих исследований противоречивы. Так, например, исследуя влияние различных факторов производства на качество доменного литейного чугуна, В.И.Леви было установлено решающее влияние на его структуру и свойства, при прочих равных условиях, содержания растворенного азота [19]. Было показано, что повышение содержания азота на 0,001% в сером чугуне с пластинчатым графитом сопровождается увеличением прочности при растяжении на 0,8–1,0 кгс/мм². Результаты этой работы не подтвердили полученные ранее данные о влиянии на свойства чугунов оксидов железа. Было установлено, что различное содержание азота в чугуне, зависящее от содержания в нем химических элементов (рис.1), основными из которых являются углерод и кремний,

приводит к различной степени графитизации. Конечное содержание азота в доменном чугуна, зависящее от ряда факторов, – химического состава, температурного режима доменной печи, ее размеров, кусковатости руды, скорости хода печи, сечения фурм, условий разливки и др. – может для одной и той же марки чугуна колебаться в заметных пределах, влияя на свойства чугунных отливок. При этом не исключается влияние на структуру и свойства чугуна других примесей, имеющих в микроскопических количествах. Но из их числа, по мнению В.И.Леви, влияние азота наиболее сильно.

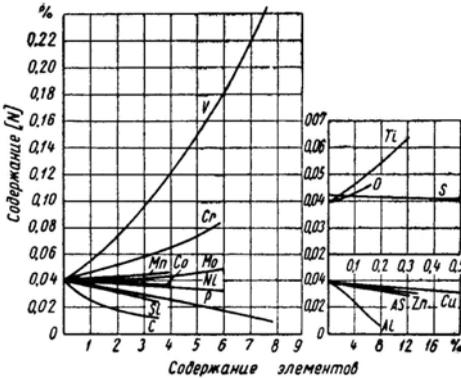


Рис.1. Влияние содержания химических элементов на содержание азота в чугуне доменной плавки [19]

Результаты более поздних исследований наследственности в чугунах не позволили однозначно установить положительное влияние азота на свойства доменных чугунов и

произведенных из них отливок [18]. Анализируя данные работы [18] по содержанию в различных чугунах C, Mn, Si, P, S, газов (CO, N₂, H₂, O₂), количества и состава неметаллических включений, а также размера графитных включений и структуры металлической основы, можно сделать вывод, что на свойства чугунов оказывают существенное влияние оксиды железа (FeO, Fe₃O₄) и CO. При этом наследственного влияния структуры доменного чугуна на структуру отливок не установлено. Показано, что длина графитных включений в доменном чугуне комбината «Азовсталь» до переплава была 350–370 мкм, а после переплава стала 750–1000 мкм. В то же время для аналогичного чугуна производства завода им. Дзержинского длина графитных включений составила 750–1000 мкм – до переплава и 350 мкм – после переплава.

В работе [17] показано, что чугуны после переплава, полученные на основе доменных чугунов марки ЛК-3 разных металлургических заводов, заметно различаются только ходом эвтектической кристаллизации во внешних зонах отливок. Полученные результаты не могут являться вполне достоверными, поскольку не были учтены возможные различия химического состава этих чугунов. Идентичность марки исходного доменного чугуна не гарантирует идентичность его химического состава и, особенно, по неконтролируемым примесям и газам. Имеющиеся различия в ходе

кристаллизации исследованных чугунов могут быть связаны с различиями их химического состава.

Результаты работы [20] показывают, что наследственность литых сплавов определяется зависимостью их свойств и кинетики кристаллизации от структурного состояния расплава, из которого они образуются. Одним из наиболее вероятных факторов, влияющих на структурную наследственность в серых чугунах, является степень растворения графитных включений в расплаве в зависимости от их исходного размера и температуры перегрева.

В работе [21] выполнены исследования влияния структуры и распределения графита в серых чугунах на свойства их расплавов. Было установлено (рис.2), что изменение размера и морфологии графитных включений приводит к изменению температурных зависимостей поверхностного натяжения жидкости (σ).

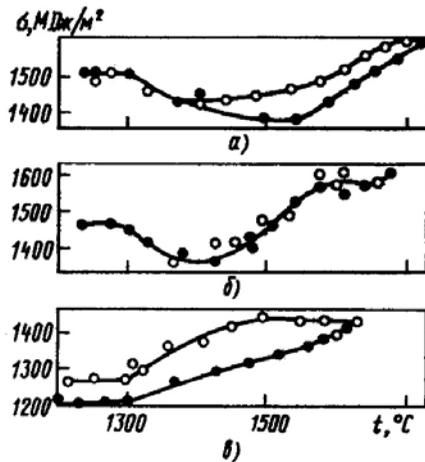


Рис.2. Политермы при нагреве (●) и охлаждении (○) чугунов с различной формой графита [21]: а – вермикулярной, б – шаровидной, в – пластинчатой

Причину постоянства σ при температуре менее 1300°C авторы работы [21] связывают с растворением пакетов графита на поверхности расплава. Высказанное предположение было подтверждено результатами рентгенографического анализа, которые свидетельствовали о том, что при температурах более 1300°C свободный углерод (графит) переходит в связанное состояние. Этот вывод является весьма интересным и важным, т.к. указывает на наличие в жидкости ближнего порядка, т.е. ее структурированности и способность к фазо-структурным превращениям, что согласуется с имеющимися данными по этому вопросу [22–25]. Из рис.2 видно, что способность графита к растворению существенно зависит от его морфологии и размера. При одинаковой степени перегрева наименьшая растворимость наблюдается у пластинчатого графита. При соответствующих температурах перегрева возможно получение одинакового растворения разных типов графита с полным переходом углерода в связанное состояние (рис.3).

По данным работы [22] повышение температуры до 1550°C приводит к растворению частиц графита, постепенно затухающего во времени и

сопровождающегося понижением плотности расплава. Выше 1550°C происходит интенсивное образование графита и повышение плотности расплава, усиливающееся с повышением температуры, что связано с выделением атомов углерода в полостях «рыхлой жидкости» и ассоциации их в частицы графита, образуя с железом на поверхности расплава так называемую спель. Это явление имеет важное практическое значение при производстве стали во время продувки чугуна кислородом, когда наблюдается значительно более интенсивное выгорание углерода при температурах выше 1550°C . Связано это с тем, что выгорание растворенного углерода происходит менее интенсивно, чем в виде графита. При температурах выше 1600°C происходит потеря ближнего порядка и жидкость становится бесструктурной (рис.3).

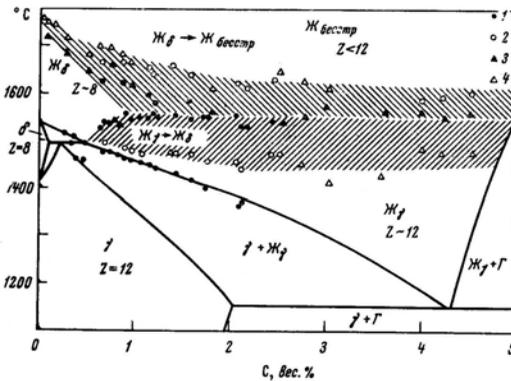


Рис.3. Строение (ближний порядок) расплавов в системе железо–графит [24]: 1 – по измерению интенсивности излучения, начало структурного перехода; 2 – то же, конец перехода; 3 – по измерению плотности, начало структурного перехода; 4 – то же, конец перехода; Z – координационные числа структурных областей.

Образование ближнего порядка в жидкости и ее способность к фазо–структурным переходам в железоуглеродистых сплавах наблюдается и при образовании метастабильной высокоуглеродистой фазы – цементита [25]. Как видно из рис.4, переход цементита (Fe_3C) в связанное состояние с упорядочением жидкости по типу γ сопровождается образованием несвязанного углерода (C), что, по–видимому, обусловлено графитизацией цементита. Сохранение этих графитных включений возможно при значительных температурах расплава.

Влияние структуры шихтовых материалов на свойства чугуновых расплавов, как отмечают авторы работы [21], может быть обусловлено существенным воздействием микропримесей, которые не только усиливают энергетическую неравноценность различных межатомных взаимодействий, но и приводят к появлению ощутимых структурных особенностей в твердом состоянии.

О значительном влиянии примесей в шихте на структуру и свойства серых чугунов говорится во многих работах. В работе [26] установлено, что использование низкосортной шихты приводит к загрязнению расплава

примесями, обычно неконтролируемыми, но заметно воздействующими на характер кристаллизации чугуна. Например, в чугуне с пластинчатым графитом присутствие десятых или даже сотых долей процента примесей может привести к изменению формы и размеров графитных включений, соотношению перлита и феррита в металлической основе отливки или даже вызвать отбел в отдельных ее частях. Некоторые из этих примесей являются устойчивыми и воздействуют на структурообразование не только в процессе доменной плавки, но и при последующих переплавах.

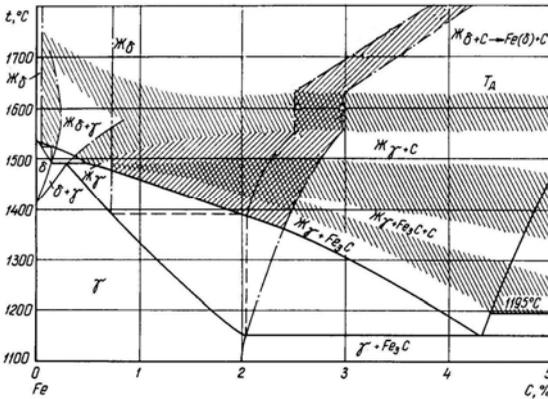


Рис.4. Строение (ближний порядок) расплавов в системе железо–цементит [25]

Говоря о проявлении эффекта структурной наследственности часто имеют в виду сохранение особенностей исходной структуры

шихты в отливках независимо от условий кристаллизации [5,6,8, 13]. Однако, известно [27], что для чугунов с разным содержанием углерода после кристаллизации возможно формирование двух принципиально разных структур высокоуглеродистой фазы. При больших скоростях охлаждения образуется белый чугун, т.е. высокоуглеродистая фаза выделяется в виде цементита (структура ледебурита). При относительно медленных скоростях охлаждения высокоуглеродистая фаза выделяется в виде графита, образуя структуру серого чугуна. При промежуточных скоростях охлаждения образуется половинчатый чугун, состоящий из графита и ледебурита. Легирование чугунов приводит к изменению кинетики процессов кристаллизации, влияя на образование высокоуглеродистой фазы в виде графита, цементита или других карбидов. Поэтому формирование разной структуры графита и металлической основы в серых чугунах, при прочих одинаковых условиях, возможно только в случае разного переохлаждения при жидко–твёрдофазных превращениях. В работе [28] показано, что ледебуритная структура шихты не является «наследственным» признаком, т.к. при дальнейшем ее переплаве образующаяся структура зависит от скорости кристаллизации. С точки зрения структурной наследственности кинетический фактор не должен являться превалирующим, поскольку конечная структура отливки должна определяться (наследоваться) структурой исходных шихтовых материалов. Однако в данном случае этого не

происходит.

Таким образом, можно видеть, что структурную наследственность в серых чугунах часто связывают с влиянием химического состава исходных шихтовых материалов и имеющейся в них структуры графитных включений на структуру отливок. Поскольку химический состав шихты определяет химический состав произведенной из нее отливки, то при одинаковых условиях плавления и кристаллизации формирование однотипных структур, т.е. существование их наследственной связи, представляется вполне закономерным явлением. Для управления формированием структуры и свойств отливок и устранения так называемой отрицательной наследственности необходимо знание закономерностей влияния основных химических элементов, микропримесей, количества и состава газов на жидко–твердофазные превращения чугунов в зависимости от условий их кристаллизации и последующей термической обработки. Некоторые данные по этим вопросам уже известны и отражены в литературе, например [27, 29–31]. Большой вклад в изучение влияния химического состава и условий кристаллизации на структуру и свойства чугуна сделан сотрудниками Института черной металлургии под руководством чл.–корр. АН УССР К.П. Бунина.

Нерастворившиеся в жидкости грубые включения графита шихтовых материалов вследствие малого перегрева расплава могут переходить в отливку, являясь в последующем центрами кристаллизации крупного графита. Такое явление скорее всего является нарушением технологии плавки, в результате чего происходит очевидная «наследственная» передача крупного графита из шихты отливкам. Для предотвращения этого необходимо повышение температуры расплава и (или) времени выдержки перед разливкой. При производстве отливок из серого чугуна и, в частности, чугунных поршневых колец используются перегревы расплава до 1500–1550⁰С [32], при которых согласно рис.2 и 3 должно происходить полное растворение графитных включений шихтовых материалов (чушки и возврата). Наличие в структуре шихты цементитных (отбеленных) участков (рис.4) при этих температурах будет приводить к образованию графита и выделению его в виде спели, которая теоретически также может переходить в отливку с образованием грубого графита, снижая ее механические свойства. Следует отметить, что нерастворившиеся или образовавшиеся грубые включения графита из шихты с «наследственно неблагоприятной» структурой в большинстве своем находятся на поверхности расплава в шлаке, который удаляется перед разливкой. Переход графитных включений в шлак уменьшает содержание углерода в расплаве и требует его доводки до необходимого состава путем плавления и растворения дополнительных порций углеродсодержащей шихты.

В последние годы заводские лаборатории контроля качества на чугунолитейных предприятиях оснащаются атомно–эмиссионными спектрометрами тлеющего разряда, определяющие химический состав чугуна на

специально отбеленных пробах. Образование структуры белого чугуна свидетельствует о «связывании» углерода, т.е. об отсутствии графита в расплаве.

Попадание графита с поверхности в объем расплава возможно при его конвективном или электромагнитном перемешивании в ходе плавки в индукционных печах, наиболее часто используемых на машиностроительных предприятиях. Для предотвращения этого явления перед разливкой чугуна печи временно отключаются.

Таким образом, переход нерастворившихся или образовавшихся графитных включений из шихтовых материалов в отливки обусловлено скорее нарушениями технологии ведения плавки, чем структурной наследственностью. Образование грубых включений графита возможно и при нарушении условий кристаллизации, несмотря на получение гомогенного расплава. Микроскопически отделить структуру графита первой и второй причины происхождения очень трудно, если вообще возможно.

Подытоживая вышеизложенное, можно сказать, что если не предпринимать специальных мер, направленных на изменение химического состава шихты с целью устранения ее негативных составляющих, на обеспечение требуемых условий ведения плавки, кристаллизации и последующих твердофазных превращений, то вероятность перехода «неблагоприятной наследственности» из шихтовых материалов отливкам предопределена. В этом случае, вероятно, можно говорить о влиянии структурной наследственности шихтовых материалов на структуру отливки. Думается, что при таком подходе к определению структурной наследственности в литейных сплавах и, в частности, чугуне и стали, найти ответ на вопрос, что собой представляет «ген», наследующий информацию об их структуре, представляется малоперспективным.

Для того, чтобы говорить о возможности применения терминов «наследственность», «ген» и других, взятых из области биологии, к железоуглеродистым сплавам, т.е. «неживым» системам, необходимо понимание их значений в связи с историческим возникновением и общепринятым использованием. Далее, применительно к чугуну и стали необходима формализация этих терминов и той информации (ее вида, количества, формы, способа передачи и др. характеристик), которая должна «наследоваться» через «ген(ы)», а также установление причин, обуславливающих ее передачу. Многие из затрагиваемых в этой связи вопросов имеют общенаучный и философский характер и отражены В.Я.Савенковым в работе [33].

Для дальнейшего и плодотворного развития представлений о структурной наследственности с учетом всех ее аспектов в металлах и сплавах необходимо разработка соответствующей теории. Основной причиной отсутствия общей теории структурной наследственности в железоуглеродистых сплавах является отсутствие на сегодняшний день достоверных данных о механизмах жидко–твердофазных превращений, их взаимосвязи

и влиянии на структуру и свойства конечных изделий. Наличие же самой наследственной связи жидко–твердофазных превращений неоднократно отмечалась многими исследователями, в том числе и сотрудниками Института черной металлургии [34–39].

Заключение. В заключение приведем цитату из работы [40], отражающей современное положение в теории твердофазных превращений в стали: «... для предмета, относящегося к области твердотельных превращений, необычно, что проблема заключается в отсутствии подходящей теории, а не в недостатке количественных данных». Сказанное еще больше относится к затронутым в настоящей статье вопросам структурной наследственности в железоуглеродистых сплавах.

1. Писаренко Л.В., Лукашевич С.Ф. О наследственности чугунов // *Литье и металлургия*. – 2002. – №2. – С.55–57.
2. Лучкин В.С., Демина Е.Г., Кагуренко А.А. Особенности структурообразования в сером чугуне для литых поршневых колец // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. – Вып. 6 – Дн–вск, ИЧМ, 2003. – С.329 – 332.*
3. *Металлургическая наследственность в жидкой стали* / В.С.Лучкин, Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, Н.И.Падун, Шевченко А.М. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. – Вып. 15 – Дн–вск, ИЧМ, 2007. – С.130 – 140.*
4. Гирилович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М. – Л.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
5. Никитин В.И. Перспективы технологий генной инженерии в сплавах // *Литейное производство*. – 1999.–№1. – С.5–9.
6. Никитин В.И., Исмагилов В.С., Пронь Е.Б. Явления структурной наследственности литейных сплавов // *Литейное производство*. – 1996. – №8. – С.16–18.
7. *Тематическая подборка статей // Литейное производство*. – 1999. – №1. – С. 4.
8. Никитин В.И. К истории развития проблемы наследственности в сплавах // *Литейное производство*. – 2000. – №5. – С.20–22.
9. *Модифицирование* силуминов с учетом наследственного влияния структуры шихты / В.И.Никитин, Е.М.Закречкин, В.Г.Волков и др. // *Литейное производство*. – 1981. – №8. – С.14–15.
10. Никитин В.И. Исследование применения наследственности структуры шихты для повышения качества отливок // *Литейное производство*. – 1985. – №6. – С.20–21.
11. Никитин В.И. Связь эффекта наследственности шихты с природой добавок и примесей в сплавах алюминия // *Литейное производство*. – 1990. – №8. – С.6–7.
12. *Исследование* наследственного влияния структуры шихты и перегрева расплава на структуру силуминов / Ли Пыцзе, В.И.Никитин, К.В.Никитин и др. // *Литейное производство*. – 2001. – №5. – С.15–16.
13. Кузнецов Б.Л. Наследственность в чугунах // *Литейное производство*. – 1991. – №5. – С.5–6.
14. *Производство* высококачественных чугунов для машиностроения / П.П.Ми-

- шин, С.П.Кошелев, Г.Б.Петров, М.А.Цейтлин – М.: Металлургия, 1969. – 40 с.
15. *Давыдов С.В.* Эффективный способ устранения «наследственности» в доменных чугунах и чугунах ваграночной плавки // Черные металлы. – Июнь 2003. – С.15–17.
 16. *Сравнительная оценка литейных чугунов заводов Урала / В.П.Чернобровкин, А.А.Ананьин, А.А.Добрыдень и др.* // Литейное производство. – 1961. – №5. – С.8–10.
 17. *Мельников В.П.* Влияние наследственности доменных чугунов на кристаллизацию и структуру крупногабаритных отливок // Литейное производство. – 1977. – №12. – С.5–6.
 18. *Денисенко В.Н., Александров Б.И.* Влияние наследственных свойств доменных чугунов // Литейное производство. – 1993. – №10. – С.6–8.
 19. *Леви Л.И.* Об одной из главных причин «наследственных» свойств литейного доменного чугуна // Литейное производство. – 1962. – №7. – С.27–29.
 20. *Губенко А.Я.* Влияние исходного структурного состояния расплава на свойства сплавов // Литейное производство. – 1991. – №4. – С.19–20.
 21. *Влияние исходной структуры чугунов на поверхностное натяжение их расплавов / Е.Е.Третьякова, М.В.Ровбо, О.П.Хакимов и др.* // Литейное производство. – 1991. – №4. – С.11–12.
 22. *Филиппов Е.С., Григорович В.К., Самарин А.М.* Структурные переходы в расплавах железо–углерод // Док. Академии наук СССР. Техническая физика. – 1967. – Т. 173. – № 3. – С.564–566.
 23. *Куприянов А.А., Филиппов С.И.* Поверхностное натяжение и структурные превращения в железоуглеродистых расплавах // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1968. – № 11. – С.16–20.
 24. *Григорович В.К.* Электронное строение и термодинамика сплавов железа. – М.: Наука, 1970. – 292 с.
 25. *Филиппов Е.С., Крестовников А.Н.* Влияние предела растворимости на ближайший порядок расплавов Me–C и Me–O // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1971. – № 1. – С.126–130.
 26. *Картошкин С.В., Козлов Л.Я.* О роли примесей в формировании структуры чугуна // Литейное производство. – 2000. – №9. – С.8–11.
 27. *Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н.* Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия, 1969. – 416 с.
 28. *Курганов В.А., Лесовой В.В., Краузе Л.А.* Доменные чугуны для литейного производства // Литейное производство.–1992.–№10.–С.12–14.
 29. *Бунин К.П., Таран Ю.Н.* Строение чугуна. – М.: Металлургия, 1972. – 160 с.
 30. *Богачев И.Н.* Металлография чугуна. – Москва–Свердловск.: МАШГИЗ, 1952. – 368 с.
 31. *Неижко И.Г.* Термическая обработка чугуна. – К.: Наукова думка, 1992. – 208 с.
 32. *О влиянии структурной наследственности в отливках поршневых колец из серого чугуна / А.Ю.Борисенко, Ю.Н.Голованов, В.Н.Литвинов, В.С.Лучкин, А.А.Качуренко* // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч.тр.ИЧМ. – Вып. 8 – 2004. – С.341 – 346.
 33. *Савенков В.Я.* Новые представления о возникновении жизни на Земле. – К.: Выща школа, 1991. – 231 с.
 34. *О перитектическом превращении в сталях / К.П.Бунин, Б.Ф.Марцинив, Н.И.Репина, А.И.Яценко* // ДАН СССР. – 1972. – № 1, т. 202. – С.71–73.

35. *Особенности превращения аустенита в горячекатаных полосах из непрерывнолитого сляба стали 17Г2СФ* / Ю.Н.Таран, А.И.Яценко, Н.И.Репина, О.А.Симоненко // МиТОМ. – 1979. – № 3. – С.60–62.
36. *Структура и свойства автолистовой стали.* / В.Л.Пилюшенко, А.И.Яценко, А.Д.Белянский и др. – М.:Металлургия, 1996. – 176 с.
37. *Борисенко А.Ю., Яценко А.И., Кононенко А.А.* Особенности строения перлита в доэвтектоидном железоуглеродистом сплаве после кристаллизации // Металлофизика и новейшие технологии. – 2006. – Том 28. – №8. – С.1089 – 1097.
38. *Яценко А.И.* Фазово–структурные превращения в низкоуглеродистых сталях при охлаждении после кристаллизации // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов ПГАСА. – Дн–вск. – 2006. – Вып. 36, Ч.1. – С.79–86.
39. *Влияние механизма образования аустенита на его строение в первичной структуре сталей* / А.И.Яценко, А.Ю.Борисенко, Н.И.Репина и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб.науч. трудов ПГАСА. – Вып.48, ч.1. – Дн–вск.. – 2009.– С.160.– 167.
40. *Физическое материаловедение: В 3–х т.* / Под. ред. Канна Р.У. и Хаазена П. – Т. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1987. – 624 с.

*Статья рекомендована к печати:
ответственный редактор
раздела «Металловедение и материаловедение»
докт.техн.наук, проф. Г.В.Левченко
рецензент канд.техн.наук В.С.Лучкин*

А.Ю.Борисенко

Про структурну спадковість в сірих чавунах

Метою роботи є дослідження структурної спадковості в сірих чавунах як складові частини загальної теорії структурної спадковості в металах і їх сплавах. Виконано аналітичний огляд даних щодо структурної спадковості в сірих чавунах. Відмічено необхідність розробки загальної теорії структурної спадковості в залізовуглецевих сплавах, що ґрунтується на знаннях механізмів рідко–твердофазних перетворень.