

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN 2542-1093 (Online)

Том 8, Номер 1–2

2021

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

<http://journals.nstu.ru/machine-building>

НОВОСИБИРСК



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN: 2542-1093 (Online)

Том 8 № 1-2 2021 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

Батаев Анатолий Андреевич - доктор технических наук, профессор, почётный работник высшего профессионального образования, ректор НГТУ, г. Новосибирск (Российская Федерация)

Члены совета

Федеративная Республика Бразилия: **Альберто Морейра Хорхе**, профессор, доктор технических наук, Федеральный университет, г. Сан Карлос

Федеративная Республика Германия: **Монико Грайф**, профессор, доктор технических наук, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук, г. Рюссельсхайм, **Томас Хассел**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, **Флориан Нюрнбергер**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен

Республика Беларусь: **Пантелеенко Ф.И.**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Украина: **Ковалевский С.В.**, доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Российская Федерация: **Анисименко Г.Е.**, директор производственно-технической фирмы «Сигма-инструмент», г. Новосибирск, **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г. Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск, **Кирсанов С.В.**, доктор техн. наук, профессор, ТПУ, г. Томск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАЕ, КузГТУ, г. Кемерово, **Кудряшов Е.А.**, доктор техн. наук, профессор, Засл. деятель науки РФ, ЮЗГУ, г. Курск, **Макаров А.В.**, доктор техн. наук, с.н.с., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Овчаренко А.Г.**, доктор техн. наук, профессор, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, **Сараев Ю.Н.**, доктор техн. наук, профессор, ИФПМ СО РАН, г. Томск, г. Барнаул, **Янюшкин А.С.**, доктор техн. наук, профессор, ЧГУ, г. Чебоксары

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Скиба Вадим Юрьевич - доцент, канд. техн. наук

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Лобанов Дмитрий Владимирович - профессор, доктор техн. наук

Мартынова Татьяна Геннадьевна - доцент, канд. техн. наук

Плотникова Наталья Владимировна - доцент, канд. техн. наук

Перепечатка материалов из журнала «Актуальные проблемы в машиностроении» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

ИЗДАЕТСЯ С 2014 г.

Периодичность – 2 номера в год

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован 31.10.2016 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-67566.

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Адрес редакции и издателя:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5, Тел. (383) 346-17-75

Сайт журнала:

<http://journals.nstu.ru/machine-building>
E-mail: machine-building@mail.ru
machine-building@corp.nstu.ru

Цена свободная

16+

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Михалёв О.Н., Янюшкин А.С. Искусственный интеллект в автоматизации технологических процессов	7
Борисов М.А., Лобанов Д.В. Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов	14
Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. Совершенствование методики проектирования технологических процессов обработки деталей свободными абразивами	22
Гартфельдер В.А., Васильев С.А., Янюшкин А.С., Секлетина Л.С., Борисов М.А. Перспективы развития новых направлений подготовки инженерных кадров	28

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Керженцев В.А., Перова Н.В. Разработка структурной модели шнекового конвейера пищеперерабатывающей машины функционально-логическими методами	35
Керженцев В.А., Перова Н.В. Моделирование структурных параметров шнекового конвейера. расчет технических характеристик.	42
Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Савельева Е.А., Разработка структурной схемы комбинированного токарного оборудования для плазменной и механической обработки	50
Зверев Е.А., Савельева Е.А., Гиззатуллин А.С. Применение автоматизированного измерительного комплекса для исследования энергоэффективности привода токарного станка	58

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П. Воздействие обработки расплава и циклической деформации на микроструктуру доменного чугуна	65
Прудников А.Н., Прудников В.А. Влияние режимов старения на линейное расширение малокремнистого поршневого силумина	72
Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Прудников В.А. Совершенствование режимов термической обработки поршневых алюминиевых сплавов	78
Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Сагалакова М.М. Новый модификатор для алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния	84
Рекомендации по написанию научной статьи	92
Подготовка аннотации	94
Правила для авторов	96

УДК 669.13:621.753.5

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА
МИКРОСТРУКТУРУ ДОМЕННОГО ЧУГУНА**

В.К. АФАНАСЬЕВ¹, академик РАН, доктор техн. наук, профессор,
М.В. ПОПОВА¹, доктор техн. наук, профессор,
С.В. ДОЛГОВА¹, мл. научн. сотр.,
М.М. САГАЛАКОВА², канд. техн. наук, доцент
А.П. ЧЕРНЫШ³, канд. техн. наук, доцент
(¹ СибГИУ, г. Новокузнецк,
² ХТИ-филиал СФУ, г. Абакан,
³ НИИ-филиал СФНЦА РАН, г. Кемерово)

Попова М.В. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: m.popova@rdtc.ru

Представлены результаты исследований микроструктуры доменного передельного чугуна после обработки расплава и последующей циклической деформации. Обработку расплава проводили графитовыми блоками, фторопластом, а также путем циклического изменения температуры. Установлено, что термоциклическая обработка расплава в интервале 1100–1200 °С позволяет полностью подавить процесс графитизации в доменном чугуне и получить ледебуритную структуру. Показано, что для чугуна без выделений графита возможно проведение горячей термоциклической деформации. Получены качественные деформированные заготовки в виде пластин толщиной от 5 до 0,5 мм. Исследовано воздействие циклическойковки на микроструктуру пластин различной толщины из чугуна без выделений графита. Установлено, что пластическая деформация способствует диспергированию структурных составляющих и их строчечному расположению.

Ключевые слова: доменный чугун, микроструктура, графит, ледебуриг, обработка расплава, пластическая деформация, ковка..

Введение

Чугун является одним из древнейших материалов, используемых человеком, но он по-прежнему широко применяется в промышленности, о чем говорят огромные объемы его производства. Согласно данным Всемирной ассоциации производителей стали (*World Steel Association, WSA*), мировое производство чугуна в 2019 году составило 1 281 998 тонн [1]. Большая часть доменного чугуна предназначена для передела в сталь, однако в последнее время проводится все больше исследований, связанных с разработкой технологических приемов, позволяющих использовать доменный чугун в качестве конструкционного или инструментального материала [2–4]. Это объясняется его хорошими технологическими свойствами и низкой стоимостью. Для повышения механических свойств доменного чугуна его обычно легируют такими элементами, как хром, ванадий, никель, ниобий. Они способствуют формированию хромованадиево-карбидных каркасов в эвтектических колониях и высоколегированной металлической матрицы [5–8]. Однако высоколегированные чугуны имеют более высокую стоимость, что, соответственно, повышает стоимость изделий из них.

Поскольку чугун представляет собой многокомпонентную и многофазную систему, то можно целенаправленно изменять его фазовый состав и микроструктуру, получая необходимый комплекс свойств [9–12]. Одним из перспективных направлений улучшения механических свойств чугуна является его пластическое деформирование. Традиционно изделия из чугуна получают методами литья, т.к. он имеет низкую технологическую пластичность. Исследования последних лет и в нашей стране, и за рубежом показывают, что белый чугун, а также чугун с шаровидной формой графита при определенных температурно-силовых параметрах можно пластически деформировать [13–18]. Однако в проведенных работах в основном рассмотрены либо легированные белые чугуны, либо высокопрочные чугуны с шаровидной формой графита, поэтому представляет интерес исследование влияния пластической деформации на микроструктуру и свойства обычного чугуна, в структуре которого выделения графита удалены после обработки расплава.

Исходя из указанного и на основании разработанных нами приёмов пластической деформации и термической обработки, было проведено изучение возможностей получения деформированной заготовки из доменного чугуна.

Цель работы – обосновать возможность получения деформированной заготовки из доменного чугуна после обработки расплава.

Методика экспериментального исследования

Доменный перелый чугун П1 производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в виде чушек весом 16 кг расплавляли в индукционной печи ИСП-006 и проводили обработку расплава. До переплава и обработки расплава чугун имел следующий химический состав, масс. %: углерод 4,15; кремний 0,90; марганец 0,30; фосфор 0,10; сера 0,02, железо – остальное. Обработку расплава чугуна осуществляли тремя способами: влажными графитовыми блоками и фторопластом в интервале 1200–1500 °С путем циклического введения порций реагента, а также путем циклического изменения температуры в интервале 1100–1200 °С. Пробы заливали в алюминиевый и медный кокиль размерами 80×80×450 мм. Из полученных заготовок нарезали темплеты и проводили изучение микроструктуры от дна до прибыльной части слитка.

Изучение микроструктуры чугуна осуществляли с помощью оптического микроскопа ОРТОН при увеличении ×110. Механические свойства образцов определяли по стандартным методикам [19]. Статистическую обработку результатов механических испытаний проводили по известным методикам [20, 21] проверки статистических гипотез и вычисления выборочных числовых характеристик при малом объеме выборки ($n < 50$) в режиме «Описательная статистика» Microsoft Excel. Термическую обработку проводили в электропечах сопротивления типа СНОЛ.

Результаты и обсуждение

Проведено систематическое исследование изменений микроструктуры образцов из донной и прибыльной частей слитков без и с обработкой расплава.

Было установлено, что в структуре слитков чугуна без обработки расплава во всех случаях присутствуют выделения графита и распределение его по сечению слитка неравномерно. Количество выделений графита увеличивается от дна к прибыльной части. Максимальное количество выделений во всех частях слитка наблюдалось в центральной зоне. Было проведено систематическое исследование изменений микроструктуры образцов из донной и прибыльной частей после нагрева в интервале 20...1000°С. Установлено, что,

начиная с температуры 700°C уменьшается травимость ледобурита, при этом увеличивается травимость графитовых выделений и прилегающих к ним областей. Характерной особенностью является увеличение размеров графитовых выделений. Согласно результатам металлографического анализа, проведение качественной пластической деформации слитков с такой структурой маловероятно, так как графитовые выделения являются готовыми очагами зарождения и распространения трещин. Несмотря на это, в условиях кузнечного цеха была сделана попытка получить деформированную заготовку. Деформации подвергались слитки, предварительно отожженные при $800, 900^{\circ}\text{C}$ и литые. Микроструктура литого чугуна и результаты деформации показаны на рисунке 1.

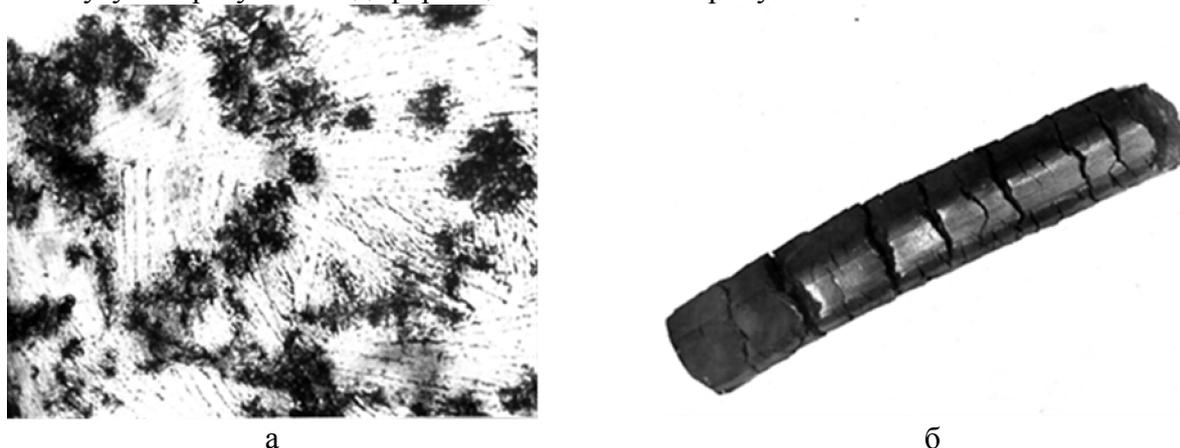


Рис. 1. Микроструктура литого доменного чугуна без обработки расплава, $\times 110$ (а) и общий вид деформированной заготовки (б)

Проведенные эксперименты по применению традиционных способов выплавки и деформации чугуна и невозможность получения качественной деформированной заготовки позволили сделать заключение о необходимости применения различных способов обработки расплава с целью устранения выделений графита в структуре чугуна и повышения его деформируемости.

Обработку чугуна проводили веществами, изменяющими соотношение элементов внедрения в расплаве и, соответственно, влияющими на условия образования графитовых включений [22]. Графитовый блок периодически вводили в расплав и выдерживали в течение 10 минут. Суммарное время обработки расплава вращающимся сырым графитовым блоком изменяли от 10 минут до 1 часа. Установлено, что такая обработка резко уменьшает зону графитовых выделений, но полностью её не устраняет. Без обработки расплава графитовые выделения наблюдались даже в краевых зонах слитка. После указанной обработки расплава в слитке графитовые выделения наблюдаются только в узкой центральной зоне. Обработку расплава полимером тетрафторэтилена C_2F_4 проводили шестикратно в количестве 0,1 и 0,2 % от веса расплава в течение 15 минут. Установлено, что полимер тетрафторэтилена благоприятно влияет на формирование структуры слитка. В этом случае даже в центральной зоне слитка отсутствуют выделения графита и образуется ледобуритная структура.

С целью более полного удаления выделений графита во всех зонах слитка проводили термоциклическую обработку расплава в интервале $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$. Расплавленный в индукционной печи чугун подвергался многократному расплавлению и кристаллизации. В соответствии с широко известными закономерностями растворения газов в металле при переходе твердое \rightarrow жидкое и жидкое \rightarrow твердое уменьшалось газосодержание, в связи с чем процесс графитизации резко замедлялся. В термоциклированном чугуне при любом способе

его кристаллизации выделения графита не образуются, по всему сечению слитка наблюдается тонкодисперсная ледебуритная структура. Важно отметить, что после 4–6 циклов такой обработки содержание углерода в чугуна практически не уменьшалось, а твердость несколько снижалась (табл. 1).

Таблица 1

Влияние термоциклической обработки расплава на содержание углерода и твердость доменного чугуна

Количество циклов ТЦО	–	1	2	3	4	5	6
Содержание С, %	4,20	4,82	4,65	4,39	4,20	4,19	4,17
Твердость НВ, МПа	4600	5100	4500	4350	4200	4100	4000

Было изучено влияние указанных видов обработки расплава на формирование структуры слитков размерами $h = 15$ мм и $l = 250$ мм. Удлиненные слитки малой толщины с ледебуритной структурой без выделений графита подвергались циклической ковке на 3-х тонном молоте в кузнечном цехе. Получены качественные деформированные заготовки в виде пластин толщиной 5 мм. Микроструктура их приведена на рис. 2. Металлографический анализ показал, что в центральной части поковок формируется мелкодисперсная структура без выраженной преимущественной геометрической ориентировки ледебуритных колоний, в отличие от краевых зон, где наблюдается их строчечное расположение.

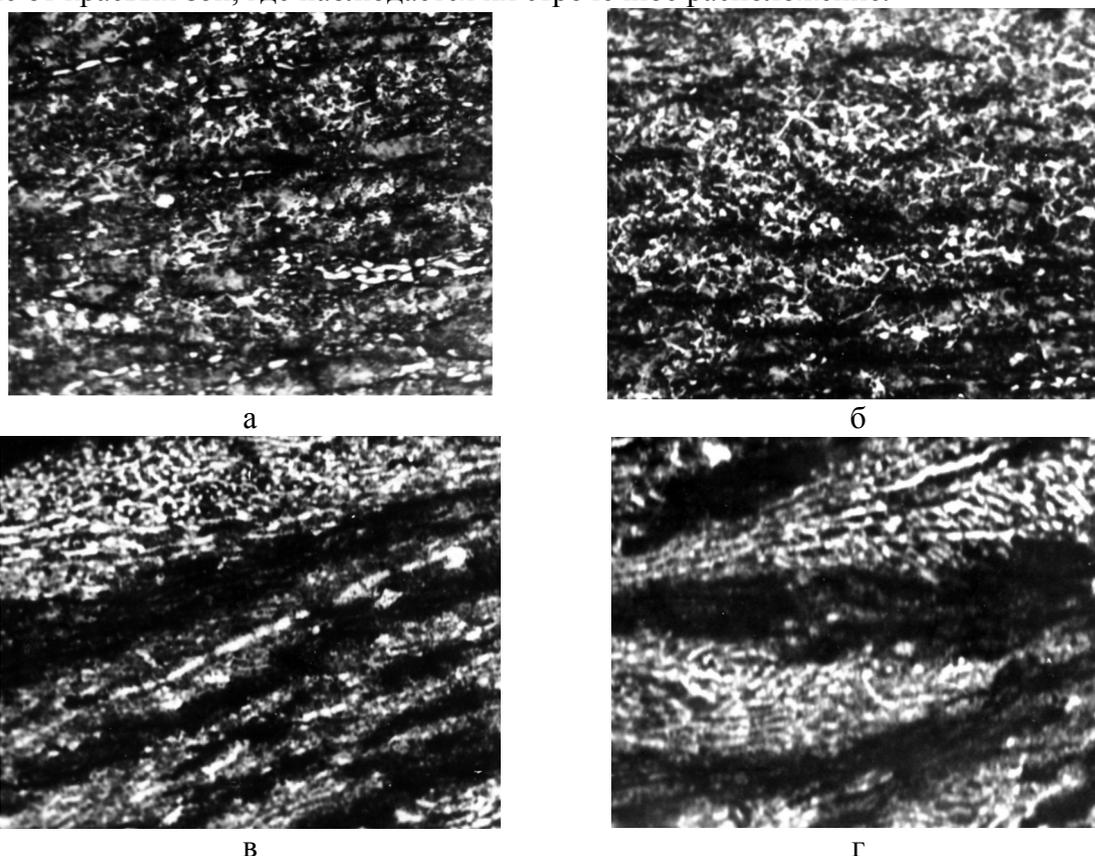


Рис. 2. Микроструктура кованных заготовок из доменного чугуна после термоциклической обработки расплава, $\times 110$: а, б – центральная часть; в, в – краевые зоны

Затем кованные пятимиллиметровые пластины подвергали многократной циклической горячей прокатке до толщины 0,5–0,3 мм. Таким образом, была установлена принципиальная возможность получения фольги из доменного чугуна. Количество циклов горячей деформации составляло от 6 до 10. Общий вид кольца из фольги доменного чугуна и микроструктура фольги представлены на рис. 3. Механические свойства фольги определяли после горячей циклической прокатки и последующего охлаждения на воздухе. Установлено, что предел прочности деформированного чугуна после 6–10 циклов горячей прокатки находится в пределах $\sigma_B = 500-800$ МПа при $HV = 2000-2200$ МПа.

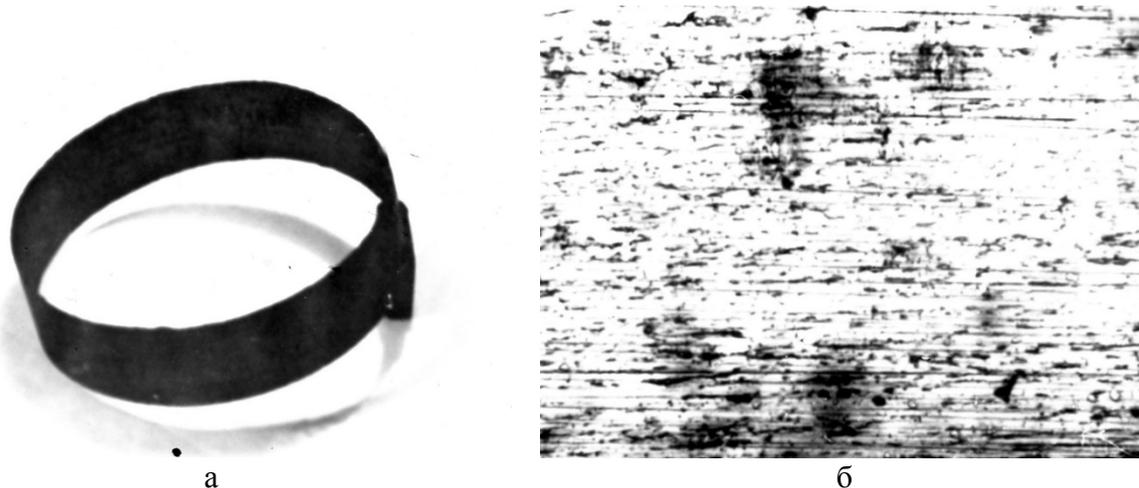


Рис. 3. Кольцо из фольги доменного термоциклированного чугуна (а) и микроструктура фольги $\times 110$ (б)

Выводы

1. Изучено влияние различных способов обработки расплава на структуру и свойства передельного чугуна. Выявлены перспективные способы обработки расплава и термоциклической деформации, обеспечивающие возможность получения поковок из передельного чугуна.

2. Установлена принципиальная возможность получения фольги из доменного термоциклированного чугуна с пределом прочности 500 – 800 МПа и твердостью $HV=2000-2200$ МПа после горячей циклическойковки и прокатки. Следует считать целесообразным дальнейшее проведение работы с целью изучения воздействия различных факторов на свойства деформированного чугуна.

Список литературы

1. Steel Statistical Yearbook: 2020 concise version. – Brussels: World Steel Association, 2020. – 46 p. – URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:5001dac8-0083-46f3-aadd-35aa357acbcc/Steel%20Statistical%20Yearbook%202020%20%2528concise%20version%2529.pdf>.

2. Чугун: справочник / под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.

3. Афанасьев В.К. Доменный чугун – металл будущего / В.К. Афанасьев, С.А. Гладышев, М.В. Попова и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005. – 343 с.
4. Machining of Hard Materials: Provides a discussion of recent advancements in hard machining / edit. D.J. Paulo – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 211 p.
5. Быстрорежущая сталь и инструментальный чугун / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, С.В. Магазов, А.В. Кольба, А.П. Черныш; под научн. ред. В.К. Афанасьева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 630 с.
6. Radionov A., Mikhailov G.G., Vinnik D.A. Estimation of the Heat Stability of Hardened Cr-V Cast Irons // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 558–563. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.558.
7. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V. Structure features and properties of high-alloy white irons // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. – 2013. – № 5. – P. 3–8.
8. Chien L.Y., Chen F.J., Pan Y.N. Research on the Wear Resistance of High-Chromium White Cast Iron and Multi-Component White Cast Iron // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 859. – P. 64–69. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.859.64.
9. Металлография чугуна / В.К. Афанасьев, С.В. Долгова, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, А.О. Токарев и др.; под научн. ред. В.К. Афанасьева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 482 с.
10. Доменный чугун без выделений графита – новый материал многоцелевого назначения / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.В. Кольба, М.М. Сагалакова, Г.Е. Громов, А.В. Сочнев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2003. – № 2 (18). – С. 14–16.
11. О термической обработке инструмента из доменного белого нелегированного чугуна / В.К. Афанасьев, А.П. Черныш, М.В. Попова, М.М. Сагалакова, К.Г. Малютин // Металлургия машиностроения. – 2020. – № 3. – С. 32–36.
12. Некоторые итоги и перспективы развития нелегированного высокопрочного чугуна / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.П. Черныш, С.В. Долгова, К.Г. Малютин, М.М. Сагалакова // Металлургия машиностроения. – 2020. – № 4. – С. 11–16.
13. Козлов Л.Н. Деформирование чугуна с шаровидным графитом / Л.Н. Козлов, Н.Г. Власов, В.И. Крысев и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – № 2. – С. 12–13.
14. Лякишев Н.П., Шербединский Г.В. Горячая пластическая деформация высокопрочного чугуна // Сборник трудов 5 собрания металлургов России. – Краснодар, 2001. – С. 249–251.
15. Покровский А.И. Горячая пластическая деформация чугуна: структура, свойства, технологические основы. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 256 с.
16. Алифанов А.В. Применение горячедеформированного хромованадиевого белого чугуна для получения дереворежущего инструмента // Литьё и металлургия. – 2012. – № 3 (67). – С. 157–161.
17. Sjögren T., Persson P.E., Vomacka P. Analysing the Deformation Behaviour of Compacted Graphite Cast Irons Using Digital Image Correlation Techniques // Key Engineering Materials. – 2010. – Vol. 457. – P. 470–475. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.457.470.
18. Öberg C., Zhu B.H., Jonsson S. Plastic Deformation and Creep of Two Ductile Cast Irons, SiMo51 and SiMo1000, during Thermal Cycling with Large Strains // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 925. – P. 361–368. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.925.361.
19. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
20. Степнов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 399 с.

21. *Brian S. E., Dunn G.* Applied multivariate data analysis. – London: Arnold; New York: Oxford University Press, 2001. – 342 с.

22. *Афанасьев В.К.* Водородный механизм образования выделений графита в чугунах // Литейное производство. – 2014. – № 1. – С. 8–13.

EFFECT OF MELT TREATMENT AND CYCLIC DEFORMATION ON BLAST FURNACE IRON MICROSTRUCTURE

Afanasyev V.K.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: in_afanaseva@mail.ru

Popova M.V.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru

Dolgova S.V.¹, junior researcher, e-mail: sv_dolgov@mail.ru

Sagalakova M.M.², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: m_sagalakova@mail.ru

Chernysh A.P.³, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Director, e-mail: tmrm@mail.ru

¹ Siberian State Industrial University, 42 Kirov st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

² Khakass Technical Institute of the Branch of Siberian Federal University, 27 Shchetinkina st., Abakan, 655017, Russian Federation

³ Kemerovo Research Institute of the Branch of SFNCA RAS, 47 Central st., Novostrojka village, Kemerovo district, 650510, Russian Federation

Abstract

This paper explores the microstructure of blast furnace pig iron after melt treatment and subsequent cyclic deformation. Melt treatment was carried out with graphite blocks, fluoroplastic, as well as by cyclic temperature change. The thermocyclic treatment of the melt in the range of 1100-1200 ° C has been found to allow to completely suppress the graphitization process in blast furnace iron and obtain a ledeburite structure. It has been shown that hot thermocyclic deformation is possible for cast iron without graphite emissions. High-quality deformed blanks were obtained in the form of plates with thickness from 5 to 0.5 mm. Effects of cyclic forging on microstructure of plates of different thickness from cast iron without graphite discharge have been investigated. Plastic deformation has been found to contribute to the dispersion of structural components and their line arrangement.

Keywords

Blast furnace iron, microstructure, graphite, ledeburite, melt treatment, plastic deformation, forging.