

Панов А.Г.^{1,2}, Гуртовой Д.А.^{1,3}, Закиров Э.С.^{1,3}, Дегтярёва Н.Г.²,
Шаехова И.Ф.¹, Мыльникова В.А.^{1,3}
¹ФГАОУ ВО НЧИ КФУ, ²ООО ИЦМ, ³ПАО КАМАЗ, г. Набережные Челны,

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ ЧВГ С ПОМОЩЬЮ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

ABOUT THE POSSIBILITY OF INCREASE IN CGI PROPERTIES BY AUSTEMPERING

Аннотация

В статье представлены первые результаты комплексных исследований ФГАОУ ВО НЧИ КФУ, ПАО КАМАЗ и ООО ИЦМ по влиянию термической обработки на структуру и свойства чугуна с вермикулярным графитом. Показано, что изотермическая закалка ЧВГ повышает его прочностные характеристики более, чем в два раза и, благодаря хорошим литейным свойствам, исключительно высокому сопротивлению деформации, хорошим демпфирующей способностью и механической обрабатываемости позволяют расширить области применения ЧВГ, в частности, вместо легированных высокопрочных чугунов с шаровидным графитом, в том числе, аустенитно-бейнитных.

Ключевые слова

ЧВГ, изотермическая закалка, бейнит, свойства

Summary

The first results of the complex researches by NChI KFU, KAMAZ and RC Modifier of influence of heat treatment on CGI structure and properties are presented in article. It is shown that austempering of CGI raises his strength characteristics more, than twice and, thanks to good foundry properties, exclusively high resistance of deformation, good damping capacity and machinability, allow to expand CGI applications, in particular, instead of the alloyed SGI, including ADI.

Keywords

CGI, austempering, bainite, properties

Чугуны с вермикулярной формой графита (ЧВГ) представляют большой интерес своими уникальными свойствами в литом состоянии [1]. В то же время информации о влиянии термической обработки на структуру и свойства ЧВГ недостаточно, работ по тематике крайне мало. Так, в последнем справочнике советского периода времени по свойствам и технологиям получения чугунов [2] о термической обработке ЧВГ не приводится совсем никаких данных, в то время как по серым чугунам с пластинчатым графитом и, особенно, по чугунам с шаровидным графитом имеется информация по большому набору видов термической обработки. Поэтому представляет интерес исследование влияния раз-

личных видов и режимов термической обработки на свойства ЧВГ с целью расширения возможности их применения. В связи с чем на кафедре материалов технологий и качества ФГАОУ ВО НЧИ КФУ совместно с ПАО КАМАЗ и ООО ИЦМ были инициированы соответствующие работы, в частности, исследование влияния на структуру и свойства ЧВГ изотермической закалки.

Как известно, основными этапами изотермической закалки железо-углеродистых сплавов являются аустенитизация, закалка и изотермическая выдержка при температурах выше точки начала мартенситного превращения. Из достаточно обширных теоретических исследований по изотермической закалке высокопрочных чугунов с шаровидным графитом известно (например [3,4]), что температура и продолжительность аустенитизации и изотермической выдержки влияют на конечные структуру и свойства материала.

В настоящей работе, являющейся началом комплексных исследований, оценивали возможность повышения механических свойств рядовых для ПАО КАМАЗ нелегированных ЧВГ с феррито-перлитной матрицей с помощью изотермической закалки, а также влияние на них продолжительности аустенитизации и изотермической выдержки. Исследования влияния режимов термообработки на микроструктуру и механические свойства образцов ЧВГ Ø24×h25 мм состава, указанного в таблице 1 и микроструктуры, представленной на рисунке 1, проводили в два этапа. На первом этапе исследовали микроструктуры двенадцати образцов, термически обработанных по двенадцати режимам в широком диапазоне, представленном в таблице 2. На втором этапе исследовали микроструктуры и механические свойства 10 образцов, термически обработанных по двум режимам в узком диапазоне, представленным в таблице 3.

Таблица 1.

Химический состав ЧВГ до и после модифицирования

	Содержание элементов, %												
	C	S	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	P	Al	Mg	Ce	La
Печь	3,86	0,01	1,77	0,32	0,08	0,03	0,11	0,01	0,04	0	0,00	-	-
		5			7	7		6			1		
Ков	3,77	0,01	2,45	0,33	0,09	0,04	0,12	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,00
ш		3			2			9		6	4	5	3

Исследования проводили при постоянных температурах аустенитизации 900 °С и изотермической выдержки 300 °С, выбранных на основании результатов работы [3]. Расширенные диапазоны варьирования времени аустенитизации и изотермической выдержки на первом этапе выбрали также аналогично исследованиям [3].

В предварительно разогретую до 900 °С муфельную печь для аустенитизации заложили сразу все 12 образцов в 3 ряда, начиная от дверцы печи по 4 образца в ряд. Аустенитизацию проводили в следующем порядке. Первые 24

минуты выдержки отвели на прогрев образцов из расчёта 1 минута на 1 мм толщины образца. Последующее время выдержки образцов занимало 2 часа, 4 часа и 6 часов.

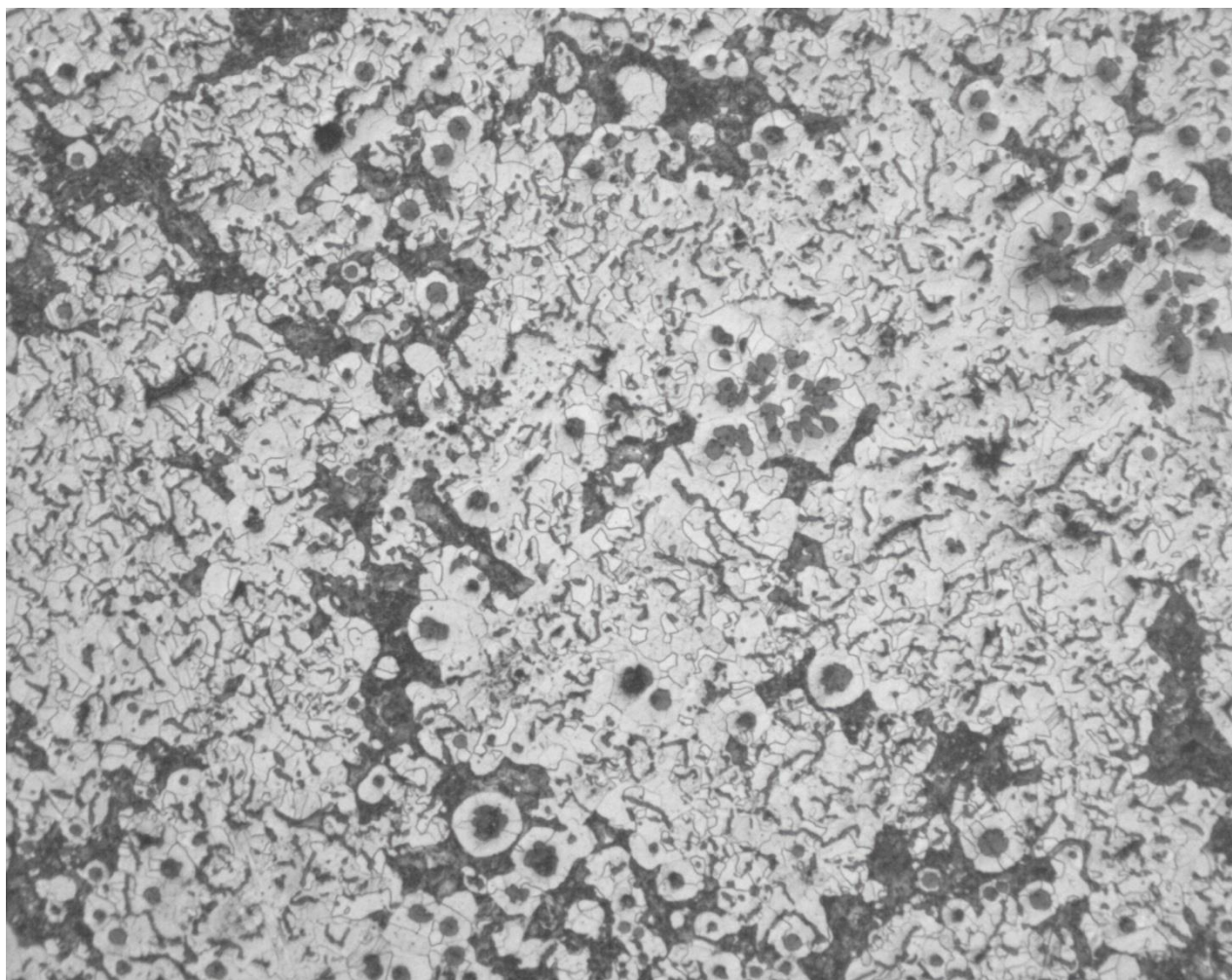


Рисунок 1. Исходная микроструктура ЧВГ, $\times 50$, травлено ГОСТ3443: ВГф2, ШГф1,4,5; ВГр2 ШГр2; ШГд25-180; Пт1 П10-П20

Закалку проводили в соляной ванне из смеси калиевой и натриевой селитр, взятых в соотношении 1:1, при температуре солевого расплава 300°C . Для каждого из вариантов времени аустенитизации последующую термическую обработку проводили по следующей схеме. Первый образец – закалка в течение 1 минуты и последующее охлаждение в воде до комнатной температуры, три образца – закалка с выдержкой 0,5 часа, 1 час и 2 часа с последующим охлаждением на воздухе.

Исследование микроструктур матрицы изотермически закалённого чугуна первого этапа показало, что все они представляли собой продукты распада аустенита, преимущественно игольчатой формы (бейнит, мартенсит, таблица 2).

В проведённом эксперименте, как следует из таблицы 2, бейнитная основа матрицы ЧВГ получена при минимальном времени аустенитизации эксперимента. Наряду с этим, особенно при остальных режимах аустенитизации в

микроструктуре образцов помимо бейнита наблюдались в различном сочетании и количестве аустенит остаточный, мартенсит, а в отдельных случаях и троостит. В то же время, полученные на первом этапе результаты влияния режимов т/о на структуру ЧВГ не имеют чётких закономерностей и требуют проверки на более широкой выборке с более подробным исследованием исходной микроструктуры ЧВГ до термической обработки, которая может колебаться в достаточно сильных пределах как по характеристикам графита, так и по структуре матрицы [1], что могло сказаться на результатах настоящего эксперимента. Тем не менее, принципиальная возможность получения бейнитной структуры нелегированных ЧВГ при небольших выдержках аустенитизации методом изотермической закалки экспериментом подтверждена однозначно.

Таблица 2.

Режимы т/о и микроструктура образцов ЧВГ первого этапа

Образец	Время при 900°С, час	Время при 300°С, мин	Микроструктура матрицы чугуна
0	0	0	Пт1 П10-П20
1	2	1	Б+М с остат. А
2		30	Б
3		58	Б
4		119	Б
5	4	1	М с остат. А
6		30	Б+М с остат. А
7		60	Б+М с остат. А
8		118	Б+Мс остат. А
9	6	1	М+Б+А
10		30	Б
11		60	Б,М,Т
12		120	Б,М,Т

Таким образом, первые эксперименты показали, что для получения бейнитной матрицы ЧВГ не требуется длительная выдержка при $T = 900^{\circ}\text{C}$. Такое явление может быть объяснено тем, что вермикулярный графит обладает большой удельной поверхностью, которая приводит к более высокой теплопроводности и активности диффузионных процессов по сравнению с ЧШГ [4]. В этой связи и по причине ограниченности образцов одинакового состава и структуры, полученных из расплава одного ковша, на втором этапе было решено аустенитизацию провести на одном уровне с более коротким временем выдержки (30 минут), а влияние времени изотермической выдержки провести на двух уровнях продолжительности 30 (режим 1) и 60 (режим 2) минут. Механические свойства образцов второго этапа в сравнении со свойствами исходного ЧВГ (тез термической обработки) и нормативными требованиями отечественного и европейского стандартов на самые высокие марки ЧВГ представлены в таблице 3. Микроструктура образцов этапа 2 представлена на рисунках 2,3.

Таблица 3.

Механические свойства ЧВГ

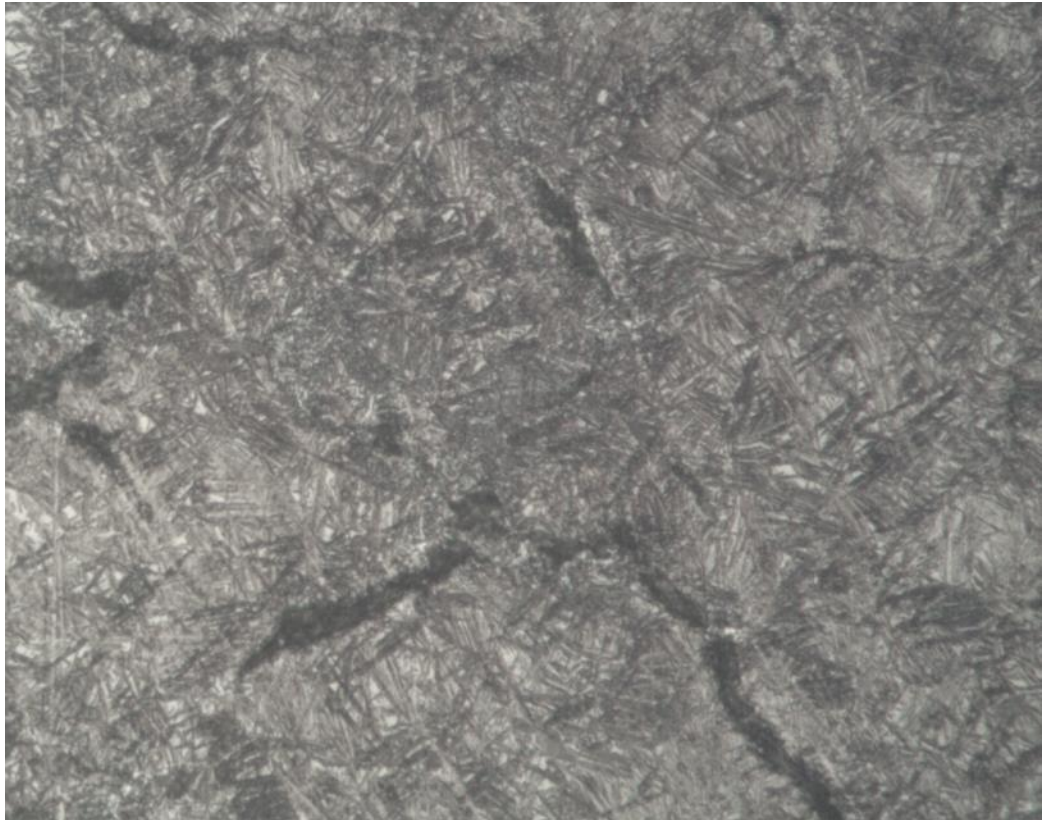
Вид термообработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КС, МДж
Без термообработки	335	250	1,8	
Режим 1	850, 750	765, 675	≥ 0 ; $\geq 1,0$	0,12; 0,15
Режим 2	750, 855, 765	675, 770, 690	≥ 0 , ≥ 0 , ≥ 0	0,12; 0,14; 0,12
ЧВГ45 ГОСТ 28394-89	≥ 450	≥ 380	$\geq 0,8$	
GJV450 ISO 16112 – 2006	≥ 450	≥ 315	$\geq 1,0$	
GJV500 ISO 16112 – 2006	≥ 500	≥ 350	$\geq 0,5$	
ВЧ70 ГОСТ 7293-85	≥ 700	≥ 420	≥ 2	0,10-0,25*
ВЧ80 ГОСТ 7293-85	≥ 800	≥ 480	≥ 2	
ВЧ100 ГОСТ 7293-85	≥ 1000	≥ 700	≥ 2	0,2-0,4**

* – не регламентированы ГОСТ 7293-85, приводятся данные [2].

** – не регламентированы ГОСТ 7293-85, приводятся данные [3].

Как следует из таблицы 3, по обоим режимам изотермической закалки получены чугуны с достаточно высокими прочностными свойствами $\sigma_B \geq 750$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 675$ МПа при ненулевом относительном удлинении. Предел прочности и предел текучести при растяжении опытных образцов превышают свойства известных нормированных марок ЧВГ, соответственно, в полтора и два раза. При этом указанные известные марки ЧВГ получают за счёт легирования медью, а GJV500 дополнительно ещё и оловом с молибденом [5]. Кроме того, предел текучести полученных опытных ЧВГ превышает предел текучести чугунов с шаровидным графитом на несколько десятков процентов для легированных марок ВЧ70 и ВЧ80 и имеет тот же порядок для марки ВЧ100, получаемой также с помощью изотермической закалки. Ударная вязкость опытных образцов имеет уровень легированных чугунов марок типа ВЧ70 и близкий к уровню марки ВЧ100.

Полученные характеристики изотермически закалённых ЧВГ в сочетании с его известными хорошими литейными свойствами, хорошей демпфирующей способностью и механической обрабатываемостью могут быть полезными, например, при изготовлении и эксплуатации таких изделий, как "Клин фрикционный", изготавливаемых в настоящее время, в частности, из чугуна марки ВЧ100. Вместе с тем, наличие мартенсита в структуре полученных образцов говорит о том, что, с одной стороны, требуются дальнейшие исследования по оптимизации технологии получения, структуры и свойств нового материала. С другой стороны, что имеется резерв в совершенствовании свойств нового материала.

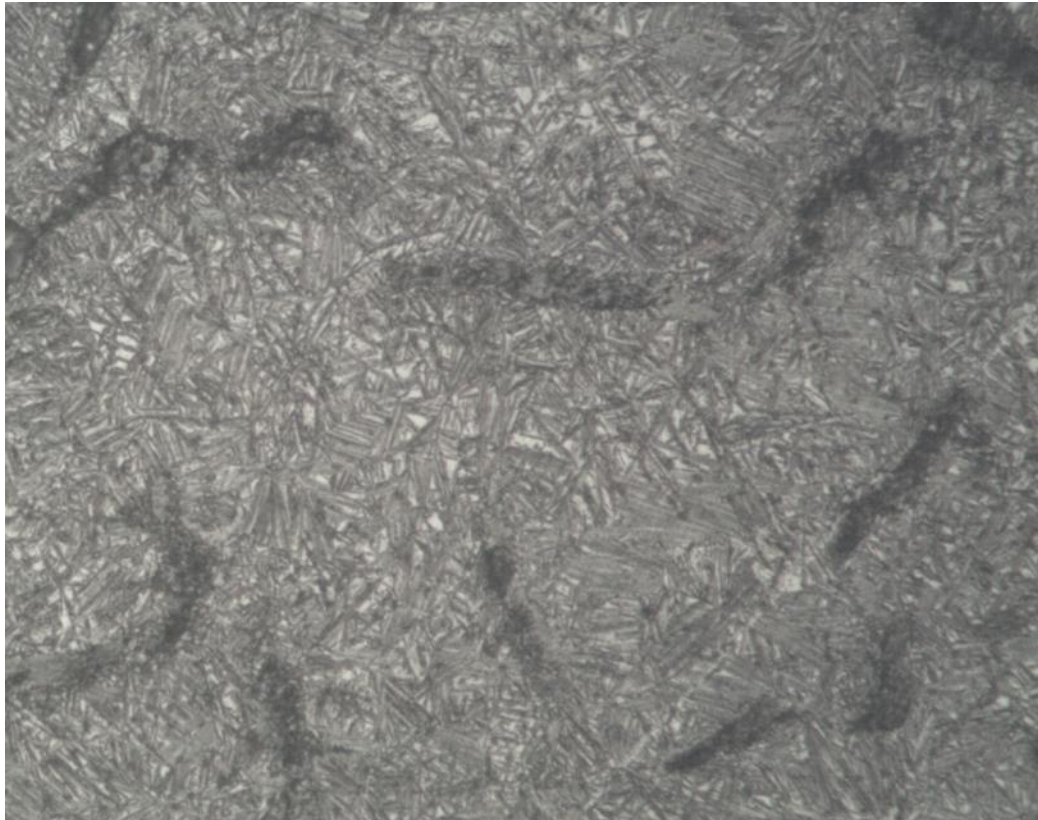


а)

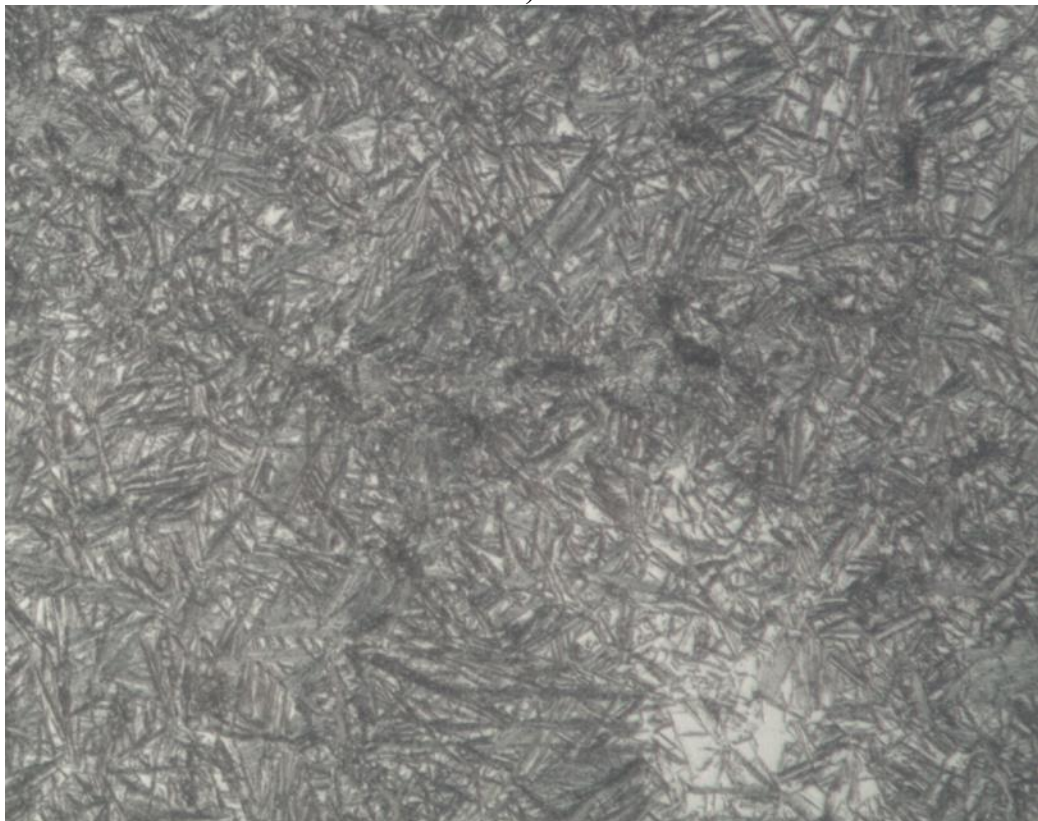


б)

Рисунок 2. Микроструктура ЧВГ режим 1, Б+М с остат. А, $\times 500$, травлено



а)



б)

Рисунок 3. Микроструктура ЧВГ режим 2, Б с остат. А, $\times 500$, травлено

ЛИТЕРАТУРА

1. Детали машиностроения из чугуна с вермикулярным графитом: свойства, технология, контроль: тезисы докладов МНТК, (Набережные Челны, 17–

18 октября 2017 г.) / под ред. А.Г. Панова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 97 с.

2. Шерман, А.Д. Чугун: справочное издание / под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.

3. Корниенко Э.Н., Панов А.Г., Хальфин Д.Ф. Перспективы производства отливок из ЧШГ аустенитно-бейнитного класса // М: Литейщик России, 2004. – № 6. – с. 11-16.

4. Крутилин А.Н. Влияние термической обработки на структуру и свойства экономнолегированного высокопрочного чугуна // Минск: Литье и металлургия. – 2008. – №1 (45). – с. 102 - 108.

5. Стив Доусон. Особенности структуры ЧВГ и свойства, определяющие перспективы его применения в машиностроении // Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Детали машиностроения из чугуна с вермикулярным графитом. Свойства. Технология. Контроль». – 2017. – с. 12-13.