

УДК 669.13/339.5

В. А. Гнатуш, В. С. Дорошенко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕНДЕНЦИИ МИРОВОГО РЫНКА ЛИТЬЯ ИЗ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Представлен анализ мирового рынка чугуна с шаровидным графитом, а также тенденции и прогнозы на перспективу.

Ключевые слова: чугун с шаровидным графитом, рынок, отливки, тенденции, производство.

Представлено аналіз світового ринку чавуну з кулястим графітом, а також тенденції та прогнози на перспективу.

Ключові слова: чавун з кулястим графітом, ринок, виливки, тенденції, виробництво.

The paper presents the analysis of the ductile iron market, as well as some of the trends and projections.

Keywords: ductile iron, market, castings, trend, production.

Динамика производства и мировые игроки рынка ЧШГ

Основным конструкционным материалом для производства деталей различными методами литья в начале XXI в. остается чугун. В 2014-2015 гг. его доля в общем мировом производстве отливок составляла 70-71% [1-2]. Уже много десятилетий ученые изыскивают способы эффективного управления структурой чугуна. Предпочтительным направлением при этом является разработка способов регулирования формообразования графита при переходе его от разветвленной формы к компактной и сферической. Прорывом в решении этой проблемы стало применение американскими исследователями К. Д. Миллис, А. П. Гагнэбин и Н. Б. Пиллинг из International Nickel Company магния в виде сплава с медью для получения чугуна с шаровидной формой графита (патент US 2485760 «Cast ferrous alloy», приоритет от 22.03.1947, опубл. 25.10.1949). В тех же годах (1948-1949) в Киеве и Москве проводились аналогичные работы, что повлекло создание научных школ по получению и изучению свойств высокопрочных чугунов.

В результате были разработаны надежные технологические решения, и литейное производство многих стран мира начало в большей или меньшей степени развивать производство отливок из чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ). Благодаря конкурентоспособным эксплуатационным характеристикам применение литых изделий из ЧШГ в XXI в. существенно увеличилось, что привело к его прогрессирующему

Новые литые материалы

производству. Так, по данным журнала «Modern Casting», за период с 2000 по 2015 гг. мировое производство ЧШГ (Ductile Iron) увеличилось с 13,1 до 25,6 млн. т, или в 2 раза. При этом доля ЧШГ на мировом литейном рынке среди отливок из черных металлов возросла с 24,0 до 29,8% (рис. 1). Предполагаем, что по итогам 2016 г. производство ЧШГ в мире составит примерно 26,7 млн. т, а в 2017 г. сможет достигнуть 27,2 млн. т.

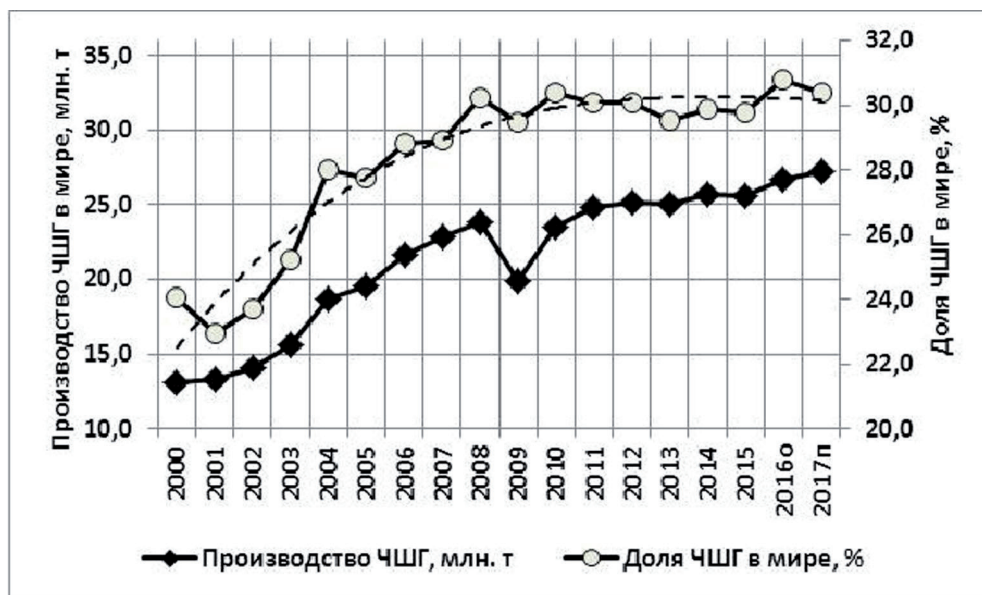


Рис. 1. Динамика производства ЧШГ в мире (исходные данные из «Modern Casting»)

Проведенное авторами рейтингование стран, производителей продукции из ЧШГ, позволило выявить ряд тенденций. Во-первых, доля 10-и основных производителей (без учета России) в 2015 г. составила 92,3 % (табл. 1). Во-вторых, бесспорным лидером, а фактически монополистом этого рынка, является Китай. Его доля возрастает, и в 2015 г. составила 49,7 % мирового рынка ЧШГ. Следует отметить активность азиатских стран, таких как Япония, Индия, Республика Корея и Турция. В-третьих, доля стран, не входящих в ведущую десятку, с 2011 по 2015 гг. уменьшилась с 11,0 до 7,7 %.

Все это свидетельствует о неравномерности развития литейного производства в странах, которые производят продукцию из ЧШГ. Определено, что это коррелирует с темпами экономического развития данных стран (рис. 2). Коэффициент корреляции между ВВП и производством ЧШГ для стран, исключая Китай и США, равен 0,8. Это логично, ведь отливки из ЧШГ используются во многих отраслях промышленности, конечные товары которых позволяют получить достаточно большую экономическую прибыль.

Итак, обзорный экскурс по основным мировым производителям ЧШГ.

Китай. По данным «Modern Casting» за период с 2000 по 2015 гг. литейное производство ЧШГ в стране увеличилось в 5,4 раза и достигло 12,6 млн. т. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 32,7 % («Modern Casting»).

США. Производство отливок из ЧШГ за 2000-2015 гг. составило в среднем 3,7 млн. т при колебании от 2,6 (2009 г.) до 4,5 млн. т (2012 г.). Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 39,0 % («Modern Casting»). Анализ данных обзора American Foundry Society (AFS) [3] свидетельствует о том, что около 75 % по стоимости продукции США из чугуна с шаровидным графитом в 2011 г. при-

Таблица 1. Рейтинг мировых производителей ЧШГ*

Рейтинг 2015 г.	Страна	2011 г.		2015 г.		2015 г. к 2011 г, %
		Производство, млн. т	Доля, %	Производство, млн. т	Доля, %	
1	Китай	10,375	42,0	12,600	49,7	121,4
2	США	3,841	15,5	3,115	12,3	81,1
3	Япония	1,636	6,6	1,704	6,7	104,2
4	Германия	1,698	6,9	1,521	6,0	89,5
5	Индия	1,090	4,4	1,180	4,7	108,3
6	Франция	0,832	3,4	0,761	3,0	91,5
7	Республика Корея	0,652	2,6	0,708	2,8	108,6
8	Испания	0,584	2,4	0,637	2,5	109,1
9	Турция	0,480	1,9	0,630	2,5	131,3
10	Бразилия	0,812	3,3	0,549	2,2	67,6
	Всего	22,000	89,0	23,406	92,3	106,4
	Прочие 27 стран	2,725	11,0	1,959	7,7	71,9
	Итого	24,725	100,0	25,365	100,0	102,6

*Исходные данные из «Modern Casting»

шлось на пять кодов видов производства (табл. 2). К ним относится производство труб и люков, автомобилей, строительной техники и сельскохозяйственных машин.

Таким образом, в США 19 видов производств используют при создании продукции отливки из ЧШГ. Что касается перспектив на 2020 г., то AFS прогнозирует увеличение поставок продукции, использующей отливки из ЧШГ, на 19,5 % по сравнению с 2011 г. (табл. 2).

Япония. Среднегодовое производство отливок из ЧШГ за 2000-2015 гг. составило 1,7 млн. т. Минимальное производство имело место в 2000 г. (0,4 млн. т), а максимальное – 2,0 млн. т в 2006 и 2007 гг. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 43,4 % («Modern Casting»). В 2013 г. при производстве 1,3 млн. т отливок из ЧШГ, доля деталей для автомобилей составила 64,1 %, а деталей промышленных машин, в том числе и электрических, – 15,1 % [4].

Германия. За 2000-2015 гг. среднегодовое производство ЧШГ составило 1,5 млн. т. Минимальный уровень производства имел место в кризисном 2009 г. (1,2 млн. т), а максимальный – в 2007 г. (1,8 млн. т). Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 37,2 % («Modern Casting»). В 2012 г. для автомобилестроения было произведено 41 % отливок из ЧШГ, а для энергетического и прочего машиностроения – 33 % [5].

Индия. С 2000 по 2015 гг. производство ЧШГ увеличилось с 0,3 до 1,2 млн. т, или в 4,7 раза. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 12,4 % («Modern Casting»).

Франция. За период с 2003 по 2015 гг. производство ЧШГ в стране уменьшилось с 1,0 до 0,8 млн. т при среднегодовом показателе 0,9 млн. т. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 57,3 % («Modern Casting»). В 2006-2013 гг. объем литья из ЧШГ (Spheroidal graphite cast) на 5-10% превышал объем литья из серого чугуна (Grey cast). В 2012 г. для автомобилестроения было произведено 30% отливок из ЧШГ, а для прочих отраслей – 66% [5].

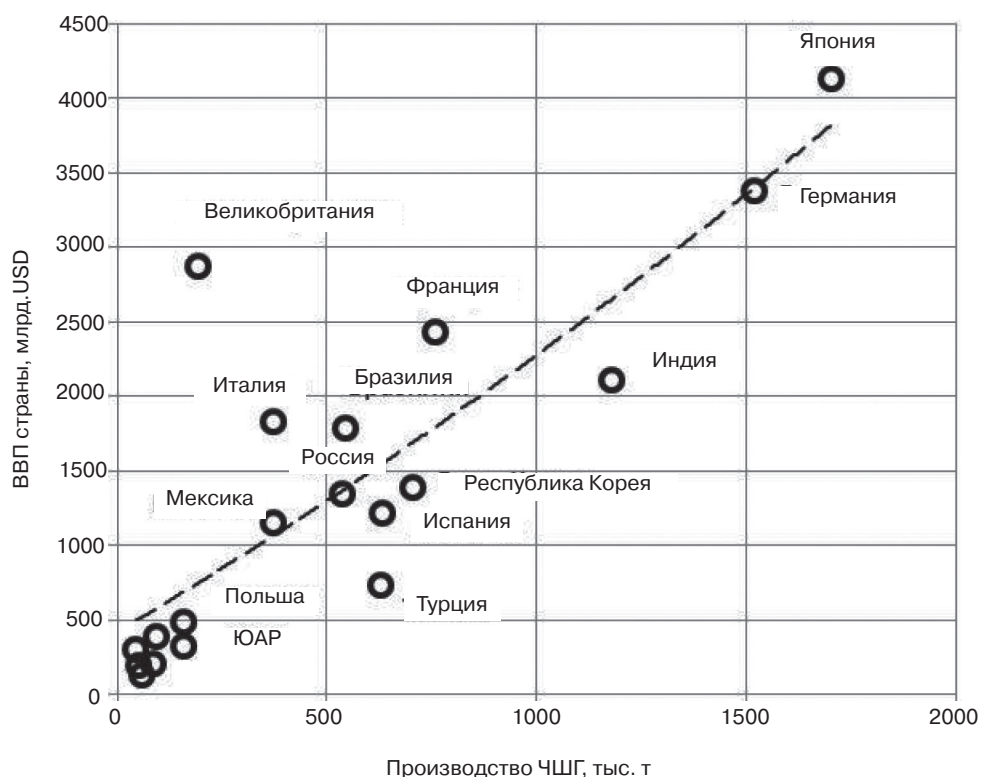


Рис. 2. Взаимосвязь между ВВП стран и производством ЧШГ в 2015 г. (данные «Modern Casting» и World Bank)

Республика Корея. Производство ЧШГ достаточно стабильно повышалось с 0,5 до 0,7 млн. т. в течение 2000-2015 гг. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 36,2 % («Modern Casting»).

Испания. Производство ЧШГ в 2001-2015 гг. не было стабильным при среднегодовом показателе 0,6 млн. т. В 2006-2013 гг. объем литья из ЧШГ (Spheroidal graphite cast) на 15-26 % превышал объем литья из серого чугуна (Grey cast). Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 59,8 % («Modern Casting»).

Турция. Производство ЧШГ в стране характеризуется уверенной тенденцией роста. С 2000 по 2015 гг. выпуск отливок из ЧШГ увеличился в 4,8 раза и в 2015 г. достиг 0,6 млн. т. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 42,9 % («Modern Casting»). В 2012 г. для автомобилестроения было произведено 50 % отливок из ЧШГ, для энергетического и прочего машиностроения – 22, и 14 % составили трубы [5].

Бразилия. Работа производителей ЧШГ, несмотря на спады и подъемы, характеризуется слабым повышательным трендом при среднегодовом показателе 0,6 млн. т за 2000-2015 гг. Доля ЧШГ в производстве отливок из черных металлов в 2015 г. составила 25,7 % («Modern Casting»).

Россия. По потенциалу литейного производства страна по праву могла бы входить в десятку мировых производителей ЧШГ. Однако отсутствие надежных статистических данных за 11 лет из 16 последних в публикациях («Modern Casting») не позволяет точно определить позицию России среди производителей ЧШГ. Известно [1], что в 2011 г. Россия произвела 898 тыс. т отливок из чугуна с шаровидным графитом. Это соответствует шестому месту ЧШГ-рейтинга за 2011 г. Однако, исходя из структуры потребления отливок из черных металлов авторами определено, что в течение 2013-2015 гг. производство отливок из ЧШГ в этой стране уменьшилось

Таблица 2. Отгрузки в США продукции из чугуна с шаровидным графитом [3]

Рейтинг 2020	Код NAICS*	Наименование	2011 г.		2020 г., прогноз		
			Отгрузки, млн. USD	Доля, %	Отгрузки, млн. USD	Доля, %	2020 г. к 2011 г., %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	331511	производство чугунных труб, люков и крышек	1965,65	40,03	1963,18	33,46	99,87
2	33611	производство автомобилей малой грузоподъемности	541,55	11,03	824,35	14,05	152,22
3	33612	производство тяжелых грузовиков	419,53	8,54	513,03	8,75	122,29
4	333120	производство строительной техники	409,96	8,35	469,58	8,00	114,54
5	33311	производство сельскохозяйственных машин	320,57	6,53	381,70	6,51	119,07
		Итого	3657,26	74,47	4151,84	70,77	113,52
6	33291	производство вентилялей и клапанов	177,43	3,61	296,74	5,06	167,24
7	333132	производство машин и оборудования для добычи нефти и газа	120,06	2,44	267,38	4,56	222,71
8	33391	производство насосов и компрессоров	154,52	3,15	247,27	4,21	160,02
9	333618	производство прочих ДВС	225,33	4,59	225,23	3,84	99,96
10	33329	производство промышленного оборудования, прочего	152,59	3,11	176,26	3,00	115,51
11	237310	строительство шоссе, улиц и мостов	88,25	1,80	138,91	2,37	157,41
12	3334	производство оборудования для вентиляции, отопления и т. п.	86,33	1,76	103,25	1,76	119,60
13	333612	производство высокоскоростных приводов и передач	75,75	1,54	84,74	1,44	111,87
14	3365	производство железнодорожного подвижного состава	26,04	0,53	38,56	0,66	148,08
15	333518	производство металлообрабатывающего оборудования	51,85	1,06	32,27	0,55	62,24

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
16	333514	изготовление специальных инструментов и приспособлений	37,05	0,75	31,65	0,54	85,43
17	333516	производство оборудования для прокатки металлов	27,27	0,56	29,16	0,50	106,93
18	333512	производство металлорежущих станков	20,81	0,42	22,60	0,39	108,60
19	335312	производство электрических двигателей и генераторов	10,31	0,21	20,61	0,35	199,90
		Всего	4910,85	100,00	5866,47	100,00	119,46

* NAICS – North American Industry Classification System

с 850 до 540 тыс. т. Последний оценочный показатель выводит Россию за рамки десяти ведущих мировых производителей ЧШГ.

Украина. В течение 2010-2015 гг., исходя из данных Госстата Украины, среднегодовое производство отливок из ЧШГ в стране находилось на уровне 1,8 тыс. т. При этом доля ЧШГ в производстве отливок из сплавов черных металлов составляла в среднем 2,2 %. В 2015 г. больше всего (49,6 % по тоннажу) было произведено отливок из ЧШГ деталей машин и механизмов, за исключением ДВС. На следующих позициях находятся детали подвижного состава железных дорог (24,5 %) и детали для подшипников скольжения (20,8 %).

Тем самым в Украине, несмотря на достаточно мощные научные наработки по ЧШГ, сохраняется тенденция, присущая литейному производству времен Советского Союза. Тогда, например, в 1988 г. доля отливок из ЧШГ составляла 2,8 % производства отливок из черных металлов в Украине. Вероятно, это обусловлено тем, что на заре становления технологии получения отливок из ЧШГ для этого процесса не был создан соответствующий технико-коммерческий фундамент.

Сферы применения отливок из ЧШГ

Уже достаточно долго ЧШГ по темпам увеличения объема производства и разнообразию сфер применения занимает лидирующие позиции среди других литых конструкционных материалов. В технологически развитых странах уменьшается выпуск отливок из стали и серого чугуна, а производство отливок из ЧШГ даже в периоды кризисов ежегодно увеличивается на 2-3 % [6]. Как следствие, отливки из ЧШГ находят применение в разных сегментах промышленности.

В трубопроводном транспорте широко используются центробежно-литые трубы из ЧШГ. По механическим свойствам они почти равноценны стальным, но по долговечности превышают последние в 3-8 раз в силу более высокой коррозионной стойкости. Их используют в трубопроводах для транспортировки воды, нефти, а также различных агрессивных жидкостей и газов. Диапазон размеров труб составляет по диаметру 50-2800 мм, а по длине 2000-8000 мм. При применении труб для трубопроводов из ЧШГ вместо серого чугуна масса погонного метра уменьшается до 30 %. Кроме того, ЧШГ широко применяют для производства запорной и регулирующей трубопроводной арматуры.

Номенклатура отливок из ЧШГ в транспортном машиностроении весьма обширная. Она включает: коленчатые и распределительные валы, блоки цилиндров, кронштейны рессор, картеры заднего моста, дифференциала и делителя, шатуны, тормозные барабаны, диски сцепления, маховики, выхлопные коллекторы, крыш-

ки подшипников, ступицы, зубчатые колеса, поршни, поршневые кольца, корпуса турбин, сервоцилиндры, кулаки заднего моста, поворотные шкворни, водила планетарного механизма конечной передачи, корпуса передней оси, рычаги поворотного кулака и пр. [7].

ЧШГ также используют для деталей металлургического оборудования, в частности, валков, а также изложниц массой до 10 т при производстве прокатных и кузнечных слитков, прибыльных надставок и других деталей.

Широкую номенклатуру литых деталей из ЧШГ производят для станкостроения. В тяжелом, транспортном, сельскохозяйственном и других отраслях машиностроения потребность в отливках из ЧШГ достаточно большая, а требования к их структуре и свойствам более высокие [8].

Современные направления развития технологии литья ЧШГ

Традиционно на большинстве предприятий, особенно стран СНГ, используют технологию получения ЧШГ модифицированием в открытых литейных ковшах магнийсодержащими лигатурами. При этом в атмосферу выделяются вредные вещества, поскольку сгорает 65-75 % магния, вводимого в жидкий чугун. Одновременно процесс модифицирования характеризуется определенной нестабильностью, связанной с образованием в тонкостенных отливках структурно-свободного цементита (отбела), для графитизации которого применяют энергоемкую термическую обработку (отжиг при температуре 920-950 °С в течение 6-10 часов), значительно повышающую себестоимость литья.

В то же время наряду с другими исследователями, учеными Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины показано, что эффективным конкурентом технологии модифицирования в открытых литейных ковшах является экологичная технология внутриформенного модифицирования. Применение при этом плавки чугуна на качественных шихтовых материалах с содержанием 0,015-0,020 % серы позволяет получить включения шарообразного графита, а также большей частью ферритную металлическую основу без структурно-свободного цементита с повышением технологических, механических и эксплуатационных свойств отливок из ЧШГ [6].

Использование внутриформенного модифицирования обеспечивает сближение во времени процессов модифицирования и кристаллизации. Это стимулирует зарождение дополнительных центров кристаллизации (инокуляцию), повышает уровень сфероидизации графитовых включений и эффективно предотвращает отбел в тонкостенных отливках. Внутриформенное модифицирование обеспечивает получение измельченной структуры феррито-перлитной основы в стенках отливок толщиной 2,5-10,0 мм без структурно-свободных карбидов с повышением механических свойств. Одновременно уменьшается расход ферросилиций-магниевого лигатур в 2-3 раза в сравнении с модифицированием в литейном ковше [6]. Экономится также ферросилиций за счет ликвидации операции вторичного модифицирования, на 100-120 °С снижается температура модифицирования и, следовательно, перегрев расплава в печи, что сопровождается уменьшением расхода электроэнергии и количества вредных выбросов в помещении литейного цеха. Также уменьшает себестоимость литья ликвидация термообработки отливок, обязательной для большинства технологий ковшевого модифицирования.

Вторым направлением совершенствования структуры чугуна, после сфероидизации графита, является получение, начиная с 70-х гг. XX в., аустенито-бейнитной структуры металлической матрицы (так называемый «бейнитный чугун») [9, 10]. В технической литературе его обозначают аббревиатурой АБЧШГ (аустенито-бейнитный чугун с шаровидным графитом – рус.) или ADI (Austempering Ductile Iron – англ.), или ZGK (Zwischenstufenvergtung von Gusseisen mit Kugelgraphit – нем.). Последнее можно перевести как «закалка чугуна с шаровидным графитом в промежуточной области превращений» [9].

Высокий технико-экономический эффект обеспечивает производство из бейнитного ЧШГ коленчатых валов в автомобилестроении. Средние значения предела выносливости коленчатых валов при ступенчатых испытаниях на изгиб в случае бейнитного чугуна вдвое выше по сравнению с перлитным ЧШГ [7]. При одинаковой конструкции коленчатые валы из бейнитного чугуна имеют на 10% меньшую массу и на 20% меньший модуль упругости при одинаковых показателях относительного удлинения и твердости. Такая структура обеспечивается специальным легированием, а также особой термообработкой (изотермической закалкой). После того, как на опытных образцах были достигнуты значения предела прочности при растяжении на уровне 1500 МПа и относительного удлинения до 10%, началось широкое освоение высокопрочного бейнитного чугуна в производстве. В настоящее время в промышленных масштабах выпускаются (в частности, фирмами «General Motors» и «Ford») сотни типоразмеров деталей, причем за рубежом наиболее массовыми изделиями являются зубчатые колеса [9]. Эксплуатационные характеристики АБЧШГ таковы, что позволяют значительно, по сравнению с ЧШГ, расширить зону конкуренции с легированными сталями.

Анализ рынка чугуна с шаровидным графитом позволяет рекомендовать украинским ученым и менеджерам направить свои усилия на активное расширение внедрения в литейных цехах технологии литья ЧШГ и АБЧШГ. Экономически и технологически целесообразно повысить конкурентный технологический уровень украинского литейного производства с учетом мировых и отечественных наработок. При этом использовать металло-, энергосберегающие, и экологически безопасные технологии производства точных отливок для различных отраслей отечественной экономики, а также для расширения экспорта отливок, который обладает потенциалом возрастающей финансовой отдачи.



Список литературы

1. 46th Census of World Casting Production. Modern Casting, December 2012, pp. 25-29.
2. 50th Census of World Casting Production. Modern Casting, December 2016, pp. 25-29.
3. AFS Metalcasting Forecast & Trends 2012. Compiled December 2011 by the American Foundry Society Inc. URL: www.afsinc.org.
4. Statistics Japan Foundry Society. URL: www.foundry.jpn.com.
5. The European Foundry Industry 2012, CAEF. URL: www.globalcastingmagazine.com.
6. Бубликов В. Б. Эффективность модифицирования чугуна в проточных реакторах литниковых систем / В. Б. Бубликов, Е. П. Нестерук // Литейное производство. – 2016. – № 9. – С. 8.
7. Пуяткина Л. И. Особенности применения отливок из высокопрочного чугуна / Л. И. Пуяткина, Л. А. Тимофеева // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – № 145. – С. 150-153.
8. Карпенко М. И. Особенности процессов производства корпусных отливок из высокопрочных чугунов / М. И. Карпенко, М. А. Сайков, М. В. Мамаева, Д. М. Кукуй, В. Ф. Одинокко, А. П. Мельников // Литье и металлургия. – 2009. – № 3. – С. 169-174.
9. Покровский А. И. Использование высокопрочного бейнитного чугуна для изготовления зубчатых колес / А. И. Покровский, Л. Р. Дудецкая // Литье и металлургия. – 2015. – № 2. – С. 126-134.
10. Макаренко К. В. Изотермическая закалка – эффективный способ управления структурой и свойствами высокопрочного чугуна / К. В. Макаренко, Д. А. Илюшкин, Е. А. Зенцова // Литейщик России. – 2016. – №4. – С. 10-14.



References

1. 46th Census of World Casting Production. (2012) Modern Casting, December, pp. 25-29. [in English].
2. 50th Census of World Casting Production. (2016) Modern Casting, December, pp. 25-29. [in English].
3. AFS Metalcasting Forecast & Trends 2012. Compiled December 2011 by the American Foundry Society Inc. URL: www.afsinc.org. [in English].
4. Statistics Japan Foundry Society. URL: www.foundry.jp. [in English].
5. The European Foundry Industry 2012, CAEF. URL: www.globalcastingmagazine.com. [in English].
6. *Bublikov V. B., Nesteruk E. P.* (2016) Effektivnost modifitsirovaniya chuguna v protochnikh reaktorakh litnikovyykh sistem [*Efficiency modification of cast iron in a flow reactor gating systems*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 9, p. 8. [in Russian].
7. *Putyatina L. I., Timofeeva L. A.* (2014) Osobennosti primeneniya otlivok iz vysokoprochnogo chuguna [*Features of castings made of ductile cast iron*]. Zbirnik naukovikh prats UkrDAZT, no. 145, pp. 150-153. [in Russian].
8. *Karpenko M. I.* et al. (2009) Osobennosti protsessov proizvodstva korpusnykh otlivok iz vysokoprochnykh chugunov [*Features production processes hull castings of ductile iron*]. Lite i metallurgiya, no. 3, pp. 169-174. [in Russian].
9. *Pokrovskiy A. I., Dudetskaya L. R.* (2015) Ispolzovanie vysokoprochnogo beynitnogo chuguna dlya izgotovleniya zubchatykh koles [*Using high-strength bainitic cast iron for the manufacture of gears*]. Lite i metallurgiya, no. 2, pp. 126-134. [in Russian].
10. *Makarenko K. V.* et al. (2016) Izotermicheskaya zakalka – effektivnyy sposob upravleniya strukturoy i svoystvami vysokoprochnogo chuguna [*Isothermal hardening - an effective way to control the structure and properties of ductile cast iron*]. Liteyshchik Rossii, no. 4, pp. 10-14. [in Russian].

Поступила 11.01.2017