



УДК 621.74

Поступила 02.10.2013

М. А. ФЕСЕНКО, Национальный технический университет Украины «КПИ»,
А. Н. ФЕСЕНКО, Донбасская государственная машиностроительная академия

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК С ЗАДАНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

На основании многочисленных исследований с использованием методов физического и имитационного (компьютерного) моделирования, а также натурных экспериментов при изготовлении опытных и производственных отливок исследованы перспективные ресурсосберегающие технологические направления использования метода внутриформенного модифицирования расплава чугуна для получения отливок с заданной структурой и свойствами. Предложенные направления могут быть рекомендованы для внедрения на предприятиях литейной отрасли для изготовления высококачественных изделий широкой номенклатуры.

On the basis of numerous studies using the methods of physical and simulation (computer) modeling, and also on the basis of the field experiments in the production of advanced and industrial castings prospective resource-saving technological areas of the method of in-mold inoculation of molten iron for castings with a given structure and properties is investigated in the work. The proposed areas can be recommended for implementation at enterprises of foundry industry for the manufacture of a wide range of high quality products.

Литейное производство и сегодня остается основной заготовительной базой машиностроения. Литые детали составляют более 60% массы машиностроительной продукции, следовательно, именно они во многом определяют, с одной стороны, работоспособность и долговечность механизмов, машин и оборудования, а с другой – экономичность их изготовления и эксплуатации. Согласно переписи, проведенной журналом «Modern Casting», мировое производство отливок продолжает расти, и в 2011 г. достигло 98,5 млн. т [1]. Несмотря на сохраняющуюся устойчивую тенденцию увеличения выпуска литья из цветных сплавов, более 70% отливок по массе в настоящее время производится из чугуна, т. е., обладая комплексом ценных технологических, литейных, физико-механических и служебных свойств при высоких экономических показателях, чугун и сегодня остается основным конструкционным материалом для широкой номенклатуры литых изделий различного назначения, применяемых в металлургии, машиностроении и других отраслях. В то же время современное промышленное производство постоянно предъявляет к качеству и свойствам заготовок и деталей все возрастающие требования, что вызывает необходимость изготовления чугунных отливок с улуч-

шенной структурой и повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками.

Одними из наиболее перспективных литых конструкционных материалов для широкого круга изделий машиностроения является высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), обладающий целым комплексом положительных, а в некоторых случаях и уникальных свойств [2]. Учитывая перспективность этого конструкционного материала, доля ВЧШГ в мировом производстве отливок доходит до 25%, а в производстве чугунного литья составляет около 32%. В отдельных странах, например, в Австрии, Норвегии, Португалии, Швейцарии, Финляндии, Нидерландах, Испании и ряде других выпуск отливок из ВЧШГ значительно превышает производство отливок из серого чугуна (СЧ). В Украине производство отливок из ВЧШГ до кризиса находилось на уровне 6,4% от производства отливок из серого чугуна и не превышает 4,1% от общего годового выпуска литья [1].

Основными причинами столь низкого выпуска литья из ВЧШГ в Украине является нежелание или осторожность конструкторов, в том числе из-за устаревших представлений и слабой осведомленности о возможностях и преимуществах ВЧШГ,

применять в конструкциях современных механизмов и машин этот конструкционный материал взамен низкокачественных серых чугунов, сталей и ковкого чугуна, а также отсутствие современных эффективных и, что немаловажно, гарантирующих (обеспечивающих) стабильность структуры и свойств чугуна в отливках, технологических процессов получения ВЧШГ. Низким темпам внедрения высокопрочного чугуна в практику литья способствует и ограниченный круг надежных отечественных производителей и поставщиков высококачественных, со стабильными свойствами и по приемлемым ценам материалов и, в первую очередь, модифицирующих и легирующих добавок. Поэтому одним из направлений технического прогресса при высоких технико-экономических показателях в машиностроительном комплексе и других отраслях страны является резкое увеличение выпуска отливок из ВЧШГ на действующих предприятиях и на незадействованных мощностях литейных заводов, цехов и участков, что, в свою очередь, требует разработки и внедрения современных высокоэффективных технологических процессов для выпуска отливок из ВЧШГ.

Физико-механические и эксплуатационные свойства отливок наряду с химическим составом сплава во многом определяются характером сформировавшейся литой кристаллической структуры. Для отливок из чугуна определяющее влияние на свойства оказывают наряду с характером металлической матрицы количество, размеры, форма и распределение включений графита.

Существенным резервом воздействия на процессы структурообразования в чугуне и, в конечном итоге управления структурой и свойствами отливок, является модифицирующая обработка расплава. По характеру воздействия на структуру чугуна различают графитизирующее, карбидостабилизирующее и сфероидизирующее модифицирование.

Графитизирующее модифицирование используется, как правило, для обработки чугуна с низким углеродным эквивалентом с целью уменьшения вероятности выделения структурно свободного цементита и устранения отбела (особенно в тонкостенных отливках), для формирования благоприятной структуры серого чугуна с включениями графита необходимых размеров, формы и распределения, повышения изотропности структуры и механических свойств чугуна в разностенных (разнотолщинных) фасонных отливках сложной конфигурации, увеличения длительности сохранения модифицирующего эффекта, что особенно (очень) важно при изготовлении крупных толсто-

стенных отливок. Из множества модифицирующих добавок, применяемых на практике для графитизирующей обработки расплавов чугунов, самым распространенным и дешевым графитизирующим модификатором является 75%-ный ферросилиций (ФС75) [3]. Наряду с ферросилицием эффективными графитизаторами чугунов являются также силикобарий (SiBa), ферросиликобарий (FeSiBa), силикокальций (SiCa), силикостронций (SiSr) и некоторые другие [4]. В последнее время разработано и поставляется ряд сравнительно новых графитизирующих добавок, например, SIBAR[®] 4M, FeSi40R10, Z-GRAPH[®], Zircalloy[®], CARBAM-AX[®] и др. [5].

Для повышения прочности, износостойкости и других эксплуатационных характеристик чугуна в отливках и, чаще всего, для получения структуры белого чугуна с твердыми карбидами железа и других химических элементов, а также с целью перлитизации структуры матрицы чугуна его обрабатывают различными карбидообразующими элементами, такими, как Mn, Cr, Mo, V, W и др., или добавками, содержащими эти элементы [6]. Известны попытки в качестве карбидостабилизирующего модификатора использовать теллур, в частности при производстве отливок с отбеленной поверхностью (например, прокатных валков) [6].

Наибольший интерес вызывает сфероидизирующая модифицирующая обработка чугуна, которая проводится с целью получения в структуре отливок включений графита шаровидной или вермикулярной формы и, как следствие, повышения прочности и, что особенно важно, пластических свойств чугуна.

В настоящее время разработано и используется в практике литья большое количество способов сфероидизирующей обработки чугуна чистым магнием или его сплавами [7]. В последнее время все более широкое распространение получают так называемые способы позднего сфероидизирующего модифицирования чугуна.

Анализ тенденций развития способов сфероидизирующего модифицирования чугуна свидетельствует о том, что одним из самых эффективных и перспективных является процесс обработки расплава непосредственно в литейной форме или так называемый ИНМОЛД-процесс [8,9].

Суть ИНМОЛД-процесса заключается в том, что в составе элементов литниковой системы перед шлакоуловителем или вместо него предусматривается специальная проточная реакционная камера, в полость которой помещается определенное количество измельченного или гранулированного модификатора. В процессе заливки формы чугуна,

проходя через реакционную камеру, растворяет модификатор и подвергается модифицирующей обработке, т. е. модифицируется. В таких условиях, с одной стороны, исключается или существенно уменьшается окисление модифицирующих элементов, а с другой – максимально сокращается время между модифицированием и кристаллизацией расплава.

Альтернативные процессы модифицирования в открытых и закрытых ковшах, автоклавах и специальных проточных реакторах значительно уступают модифицированию в литейной форме по технологическим, экологическим и экономическим показателям.

При модифицировании в литейной форме важной задачей является обеспечение равномерного растворения и, по возможности, полного или максимального усвоения модифицирующих элементов исходным чугуном.

При оптимальном сочетании температуры и скорости заливки формы металлом заряд реакционной камеры равномерно и полностью растворяется в струе чугуна, что приводит к кардинальному изменению микроструктуры, механических и специальных свойств базового сплава.

На процессы структурообразования в модифицированном чугуне, а, следовательно, на форму, количество и характер распределения включений графита, а также на структуру металлической основы, которые в основном и определяют уровень механических и других эксплуатационных свойств чугуна в литых деталях, наряду с химическим составом базового чугуна решающее значение оказывают тип и химический состав используемого модификатора или лигатуры [9,10].

Для модифицирования чугуна в литейной форме наиболее широкое распространение получили комплексные модификаторы типа ФСМг, ЖКМК, НМг и др. [11–13]. Однако в последние годы для внутриформенного модифицирования в качестве сфероидизирующих присадок или добавок чаще всего применяются комплексные модификаторы типа ФСМг (ТУ 5 – 134 – 86) [12,13].

Для модификатора любого типа важным параметром, определяющим эффективность его воздействия на структуру и свойства чугуна при внутриформенном модифицировании, является гранулометрический состав добавок [12–14]. Для повышения эффективности процесса модифицирования, обеспечения максимального усвоения основных модифицирующих и сопутствующих элементов из лигатуры, сокращения расхода модификатора заряд реакционной камеры должен состоять из частиц лигатуры определенного размера.

Проведенные нами модельные исследования на прозрачной физической модели [15], позволившие вести прямые визуальные наблюдения за процессами, протекающими при взаимодействии зернистых добавок с жидкой фазой в реакционной камере литниковой системы и полости литейной формы, дали возможность установить механизмы такого взаимодействия и подтвердили известное положение о преимуществе процесса послойного механизма взаимодействия твердой и жидкой фаз в реакционной камере при использовании среднезернистого модификатора в сравнении с объемным механизмом при использовании крупнокускового и, тем более, поверхностного механизма при использовании мелкодисперсного модификатора [16, 17].

Результаты проведенных нами экспериментальных исследований с использованием в качестве опытной отливки десятикиллограммовой двоянной трехступенчатой чугунолитейной технологической пробы с толщиной стенок 8, 32 и 64 мм [14] подтвердили адекватность результатов моделирования на физической модели и позволили установить, что при производстве мелких и средних отливок оптимальный размер зерен комплексного сфероидизирующего и графитизирующего сплава ферросилиция с 7% магния марки ФСМг7 составляет $5,0 \pm 2,5$ мм, а графитизирующего ферросилиция марки ФС75 – $7,5 \pm 2,5$ мм. Более крупные зерна модификатора не успевают растворяться в потоке жидкого металла за время заливки форм, а мелкодисперсная фракция с ним практически вообще не реагирует.

Существенно интенсифицировать процессы взаимодействия добавок, в том числе мелкодисперсных, включая пылевидную фракцию, которые при традиционных способах внутриформенного модифицирования практически не усваиваются жидким чугуном, позволяет применение проточных реакционных камер в виде вставок из пенополистирола с замешанным порошкообразным модификатором [18, 19], а также пенополистироловых вставок-оболочек, внутри которых помещается необходимое количество дробленого модификатора заданной зернистости [20].

Определенные проблемы возникли при оптимизации состава карбидостабилизирующего модификатора для модифицирования серого чугуна. Тугоплавкий окислостойкий феррохром ФХ200 при исследованных условиях не реагировал с потоком жидкого металла и после заливки форм оставался в реакционных камерах литниковых систем в исходном состоянии. Низкопроцентная механическая смесь порошкового магния с нейтральным к гра-

фитизации наполнителем, например с ферромарганцем, не обеспечивала сквозной отбел чугуна в массивных сечениях пробы. Заливка форм с высокопроцентной механической смесью сопровождалась пироэффектом, выхлопами паров магния и небезопасными выплесками жидкого металла из литниковой воронки.

Сравнительно стабильные результаты были достигнуты при использовании никель-магниевого карбидостабилизирующего и одновременно сфероидизирующего модификатора марки НМг15 с размерами частиц менее 5 мм [14]. Но и в этом случае в чугуне массивных сечений пробы (64 мм) наряду с ледебуритной эвтектикой наблюдали нежелательные включения шаровидного графита.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможности получения из чугуна определенного химического состава путем внутриформенной обработки расплава в реакционной камере литниковой системы отливок со структурой и свойствами серого, белого или высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Поэтому с учетом результатов экспериментальных исследований можно выделить несколько перспективных направлений внутриформенной обработки расплава жидкого чугуна.

Первое направление – получение отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом взамен отливок из низкосортных серых чугунов, что позволит повысить прочностные, пластические и другие эксплуатационные свойства изделий, межремонтные ресурсы эксплуатации оборудования, снизить металлоемкость изделий и расход материальных и энергетических ресурсов.

Разработанная нами технология изготовления отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом позволяет гарантированно получать заданную структуру чугуна с шаровидным графитом с перлитно-ферритной металлической матрицей как при литье в обычные формы, так и при литье по газифицируемым моделям. Иллюстрацией может служить отливка брус («Силовая тяга») (рис. 1, а), полученная в обычной песчано-глинистой форме

и отливка «Подушка» опорного вала прокатного стана (рис.1, б), изготовленная по газифицируемым пенополистироловым моделям.

Не используемым резервом повышения механических и других служебных характеристик чугунных отливок, требующим проведения всесторонних исследований и изучения, является встречное или двойное модифицирование чугуна в литейной форме [21].

Вторым, на наш взгляд, перспективным направлением использования технологии внутриформенного модифицирования может быть получение из одного базового исходного чугуна, в том числе и в одной общей литейной форме, отливок с различной структурой и свойствами. При этом в качестве исходного может быть использован доэвтектический, склонный к кристаллизации с отбелом, чугун, или чугун эвтектического или близкого к эвтектическому составу, склонный к графитизации с образованием включений графита пластинчатой формы.

При использовании исходного доэвтектического, склонного к кристаллизации по метастабильной системе с отбелом чугуна (БЧ), возможны следующие схемы получения отливок с различной структурой и свойствами:

- при заливке без обработки или с дополнительной карбидостабилизирующей обработкой – получение отливок со структурой белого или отбеленного чугуна с твердыми карбидами железа и других элементов в составе ледебуритной эвтектики;
- при заливке с графитизирующей внутриформенной обработкой – получение отливок со структурой серого чугуна с пластинчатым графитом требуемых формы, размеров и распределения;
- при заливке со сфероидизирующей или совместной графитизирующей и сфероидизирующей внутриформенной обработкой – получение отливок со структурой высокопрочного чугуна с включениями графита шаровидной формы или с вермикулярным графитом.

При использовании в качестве исходного чугуна эвтектического состава, склонного к кристаллизации по стабильной системе с графитизацией



Рис. 1. Внешний вид и микроструктура отливки «Силовая тяга» (а) и отливки «Подушка» (б) из ВЧШГ

с образованием включений пластинчатого графита (СЧ), возможны следующие схемы получения отливок с различной структурой и свойствами:

- при заливке формы без обработки или с дополнительной обработкой графитизирующими модификаторами чугуна – получение отливок со структурой и свойствами серого чугуна с пластинчатым графитом требуемых формы, размеров и распределения;

- при заливке формы с обработкой в реакционной камере литниковой системы карбидостабилизирующей добавкой – получение отливок со структурой белого или половинчатого чугуна с твердыми карбидами железа и других легирующих элементов;

- при заливке с обработкой в литейной форме сфероидизирующим модификатором – получение отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом с повышенными механическими свойствами и особенно с повышенной пластичностью.

Реализация предложенной технологии производства отливок с разной структурой и свойствами в общей литейной форме из одного исходного белого или серого чугуна с применением технологии внутриформенного модифицирования подтвердила ее технические возможности и эффективность.

Используя, например, в качестве базового расплава доэвтектический чугун, склонный к кристаллизации с отбелом (БЧ) в соответствии с метастабильной диаграммой состояния «железо-углерод», и помещая в одну из реакционных камер литниковой системы графитизирующий модификатор в виде ферросилиция ФС75, в другую реакционную камеру – сфероидизирующий модификатор в виде ферросилиций-магниевого сплава ФСМг7, в третью – карбидостабилизирующий сплав в виде феррохрома ФХ200 и используя четвертую ветвь литниковой системы без реакционной камеры, через которую к одной из отливок металл будет по-

ступать без всякой дополнительной обработки, получили четыре отливки соответственно со структурой белого, серого с включениями пластинчатого графита и высокопрочного с шаровидным графитом чугуна (рис. 2).

На приведенную технологию получения отливок из одного чугуна с различной структурой и свойствами в общей литейной форме с использованием технологии внутриформенного модифицирования получены патенты [22, 23].

Третье перспективное направление применения технологии внутриформенного модифицирования базового исходного чугуна разнородными по функциональному назначению модификаторами или добавками – это получение отливок с дифференцированными свойствами в отдельных частях, разных сечениях или на отдельных поверхностях.

Идея предложенного процесса заключается в том, что отливка (изделие) получается путем заполнения полости литейной формы исходным базовым расплавом чугуна эвтектического или близкого к эвтектическому составу, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита (СЧ) (рис. 3, I) или чугуна доэвтектического состава, склонного к кристаллизации с выделением цементита (БЧ) (рис. 3, II), разделенным на два потока, один из которых направляется непосредственно в одну часть полости литейной формы без какой-либо обработки, а второй – сначала подвергается модифицирующей обработке в проточной реакционной камере литниковой системы модификатором, лигатурой или другой добавкой, после чего направляется в другую часть полости формы (рис. 3, а, в). Возможен также вариант внутриформенной обработки (модифицирования) обоих потоков расплава исходного чугуна в проточных реакционных камерах литниковой системы различными по функциональному назначению и действию на расплав модификаторами, лигатурами или другими добавками (рис. 3, б, г).

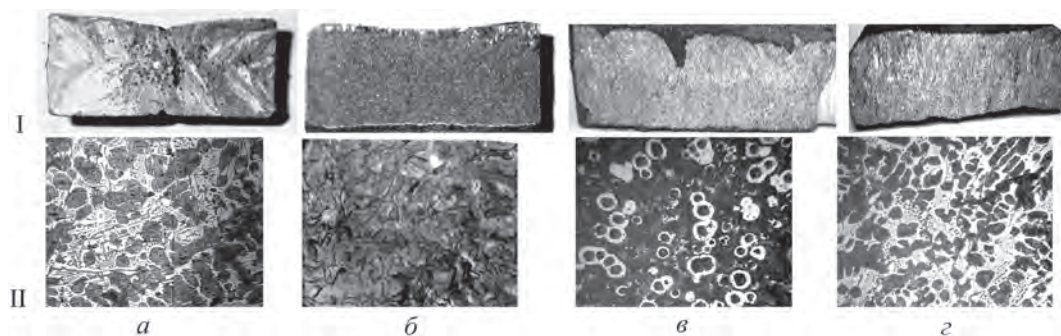


Рис. 2. Изломы (I) и микроструктура отливок в сечении 32 мм (II): а – исходный белый чугун; б – серый чугун с пластинчатым графитом, полученный после модифицирования ФС75; в – высокопрочный чугун с шаровидным графитом после обработки ФСМг7; г – белый чугун, дополнительно обработанный ФХ200

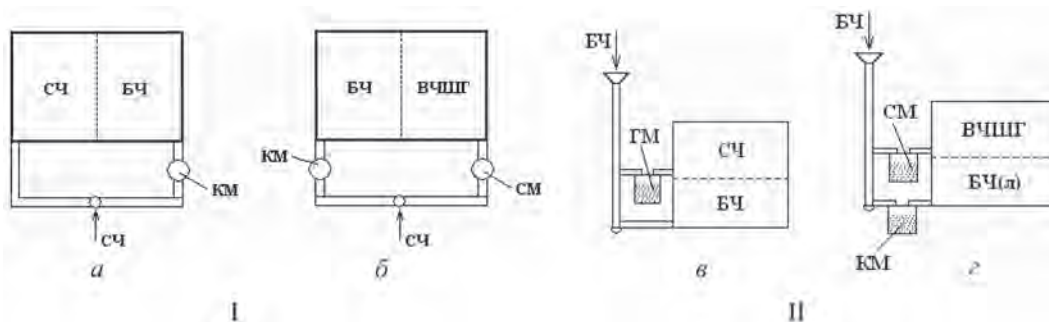


Рис. 3. Схемы технологических вариантов получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами в разных частях из базового серого (I) и белого (II) чугунов: СЧ – серый чугун; БЧ – белый чугун; БЧ(л) – белый чугун, дополнительно легированный; ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом; КМ – карбидостабилизирующий модификатор; СМ – сфероидизирующий модификатор; ГМ – графитизирующий модификатор

Модифицирующая обработка расплава исходного (базового) чугуна внутри литейной формы при заливке в последующем оказывает влияние на процессы кристаллизации и приводит к изменению структуры и свойств металла в отливках по сравнению с заливаемым исходным базовым расплавом.

Априорным моделированием разнообразных конструктивно-технологических вариантов дифференцированного модифицирования чугуна в литейной форме определены четыре основных морфологических признака предложенного нового процесса: химический состав базового чугуна, состав заряда реакционной камеры, тип отливки, конструктивная схема литниковой системы с реакционными камерами. Логическим анализом теоретически возможных вариантов дифференциации структуры и свойств чугуна в отдельных частях отливки с учетом технической и экономической целесообразности определены наиболее перспективные конструктивно-технологические варианты, которые были подвергнуты всесторонним исследованиям и лабораторно-промышленной проверке [23–26].

В результате исследований были получены двухсторонние и двухслойные горизонтальные и вертикальные плиты с сочетанием структуры и свойств твердого с карбидами железа белого чугуна в одной части и серого с пластинчатым графитом или высокопрочного с шаровидным графитом чугуна в другой части отливки. При этом твердость чугуна в литом состоянии в зоне отливок, имеющих структуру белого чугуна, достигала 380–440 НВ, в зонах высокопрочного чугуна с шаровидным графитом – 220–240 НВ, в зонах со

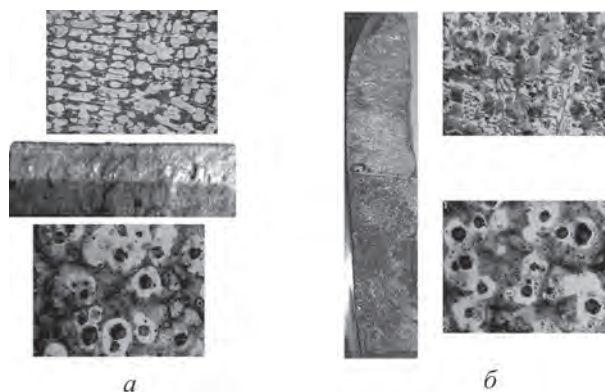


Рис. 4. Изломы и микроструктура двухслойной горизонтальной (а) и вертикальной плиты (б) с дифференцированной структурой и свойствами

структурой серого чугуна с пластинчатым графитом – 180–210 НВ (рис. 4).

Выводы

На основании проведенных многочисленных исследований с использованием методов физического и имитационного (компьютерного) моделирования, а также натуральных экспериментов при изготовлении опытных и производственных отливок предложены перспективные ресурсосберегающие технологические направления использования метода внутриформенного модифицирования расплава чугуна для получения отливок с заданной структурой и свойствами. Предложенные направления могут быть рекомендованы для внедрения на многочисленных предприятиях литейной отрасли с целью изготовления высококачественных изделий широкой номенклатуры, а их использование позволит увеличить технико-экономические показатели получения литых изделий и улучшить условия труда в цехах.

Литература

1. 46th Census of World Casting Production // Modern Casting. December. 2012. P. 25–29.
2. Б у б л и к о в В. Б. Высокопрочные чугуны в машиностроении / В. Б. Бубликов // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., 7–11 сентября 2009; Под общ. ред. А. Н. Фесенко. Краматорск: ДГМА, 2009. С. 40–41.

3. Семенов В. И., Чайкин А. В., Малихин В. М. и др. Фазовые и структурные изменения в чугунах после модифицирования // Литейное производство. 2006. № 10. С. 7–8.
4. Пирс Дж. Практика и исследование // Metallurgia. Mashinostroyeniye. 2009. № 3. С. 20–25.
5. Применение модификаторов в вопросах и ответах // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2011. № 5/1 (53) С. 21–22.
6. Гришнович Н. Г. Справочник по чугунному литью Л.: Машиностроение, 1978.
7. Ковалевич Е. В. Способы модифицирования чугуна для получения шаровидной формы графита // Литейное производство. 2006. № 4. С. 9–14.
8. Косячков В. А., Ващенко К. И. Особенности технологии получения высокопрочного чугуна модифицированием в форме // Литейное производство. 1975. № 12. С. 11–12.
9. Бубликов В. Б. Об особенностях модифицирования чугуна в вертикально-проточной реакционной камере // Процессы литья. 2003. № 3. С. 29–35.
10. Макаревич А. П., Фесенко М. А., Косячков В. А., Фесенко А. Н. Влияние типа модификатора на структуру высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при литье по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. 2005. № 1–2. С. 20–22.
11. Knustad O. Проблемы, возникающие при производстве высокопрочных чугунов. Обзор существующих способов получения ВЧ и используемых модификаторов // Литейщик России. 2011. № 4. С. 15–17.
12. Бубликов В. Б. Высокопрочному чугуна – 60 // Литейное производство. 2008. № 11. С. 2–8.
13. Корниенко Э. Н., Венгер В. В., Панов А. Г. Мелкодисперсные модификаторы для производства высокопрочных чугунов // Литейное производство. 1996. № 10. С. 18–19.
14. Косячков В. А., Фесенко М. А., Денисенко Д. В. Оптимизация присадок для дифференцированного графитизирующего, карбидостабилизирующего и сфероидизирующего модифицирования чугуна в литейной форме // Процессы литья. 2005. № 4. С. 34–40.
15. Пат. № 20297 U 2006 08282: B22D27/00. Установка для моделирования процесів внутрішньоформної обробки рідкого металу // А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. А. Косячков. Заявл. 24.07.2006, опубл. 15.01.2007. Бюл. № 1, 2007 р.
16. Бубликов В. Б. Межфазовое взаимодействие при внутриформенном модифицировании чугуна // Процессы литья. 1997. № 3. С. 39–48.
17. Фесенко М. А., Косячков В. А., Фесенко А. Н. Исследование процессов внутриформенной обработки чугуна методами физического моделирования // Вест. ДГМА. 2006. № 3(5). С. 7–14.
18. Пат. України № 13632 U: 7B22D27/00. Спосіб обробки чавуну в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. Заявл. 26.09.2005, опубл. 17.04.2006. Бюл. № 5. 2006 р.
19. Пат. № 46486 U 2009 06686: B22D 27/00. Спосіб обробки рідкого металу / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. Заявл. 25.06.2009, опубл. 25.12.2009. Бюл. № 24, 2009 р.
20. Патент України № 13646 U, 7B22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. Заявл. 03.10.2005, опубл. 17.04.2006. Бюл. № 5, 2006 р.
21. Пат. № 59207 U 2010 11799. B22D 27/00. Спосіб подвійної обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. Заявл. 05.10.2010, опубл. 10.05.2011. Бюл. № 9. 2011 р.
22. Пат. № 27682 U 2007 07330, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з різними структурою і властивостями в загальній ливарній формі з одного базового розплаву / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков. Заявл. 02.07.2007, опубл. 12.07.2007. Бюл. № 1. 2007 р.
23. Пат. № 37319 U 2008 07447, B22 D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Смеляненко. Заявл. 30.05.2008, опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22. 2008 р.
24. Пат. № 41383 U 2008 11908, B22 D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями // А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Смеляненко. Заявл. 07.10.2008, опубл. 25.05.2009. Бюл. № 10. 2009 р.
25. Пат. № 42477 U 2009 00188, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями // А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Смеляненко. Заявл. 12.01.2009, опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13. 2009 р.
26. Фесенко М. А., Фесенко А. Н., Косячков В. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугунных отливок с дифференцированными структурой и свойствами // Литейное производство. 2010. № 1. С. 7–13.