

М.А. Фесенко¹, канд. техн. наук, доц., доц. каф., e-mail: fesmak@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8218-4154>

А.Н. Фесенко², канд. техн. наук, проф., первый проректор, e-mail: prorektor@dgma.donetsk.ua

В.Г. Могилатенко¹, д-р техн. наук, проф., e-mail: mvq@iff.kpi.ua

¹Национальный технический университет Украины «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев, Украина

²Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина

Литниковые системы для получения чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами модифицированием исходного расплава в литейной форме

В работе предлагаются и исследуются новые технологические варианты производства чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами из одного расплава, которые базируются на способе модифицирования базового жидкого чугуна непосредственно в литейной форме.

В качестве объектов исследования выбраны отливки типа горизонтальная и вертикальная плиты, а также брусок, которые моделируют типовые промышленные литые детали, например, зуб ковша экскаватора, лемеха плугов, ножи для резания бумаги, резины и других материалов, насадки молотковых дробилок, бронепутеровочные плиты, щеки дробилок и т. п.

Для получения разной структуры и свойств в отдельных частях (слоях, зонах) в экспериментальных отливках по предложенным вариантам спроектированы специальные общие и независимые (автономные) конструкции литниково-модифицирующих систем.

Многочисленными исследованиями с использованием метода компьютерного моделирования и натурными экспериментами на чугунных отливках подтверждена возможность реализации предложенных технологических вариантов, а также изучены основные закономерности процессов дифференциации структуры и свойств в отливках с использованием спроектированных конструкций литниково-модифицирующих систем.

Полученные результаты исследований могут быть рекомендованы для использования на промышленных предприятиях при изготовлении чугунных отливок различного назначения, получаемых литьем в песчаные формы.

Ключевые слова: моделирование, литниково-модифицирующая система, внутриформенное модифицирование, отливка, плита, брусок, чугун, структура, свойства.

Экономия дефицитных и дорогостоящих материалов при одновременном улучшении качества и повышении эксплуатационных характеристик литых деталей (отливок) является актуальной задачей для промышленности Украины и других стран.

Одним из путей решения данной задачи может быть использование на промышленных предприятиях технологий изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами в отдельных их частях или зонах взамен монометаллических отливок.

Среди множества конструкционных материалов, применяемых для изготовления отливок, широкое распространение находит чугун, как наиболее дешевый, доступный и достаточно просто получаемый материал [1]. Отливки из чугуна в зависимости от химического состава и условий затвердевания могут иметь различную структуру и достаточно широкий диапазон свойств. Поэтому особый интерес могут представлять отливки с дифференцированными свойствами именно из чугунов различных классов (типов).

На сегодняшний день на отечественных и зарубежных предприятиях предложены и используются различные технологии (способы) получения чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами, которые чаще всего основываются на последовательной заливке в литейную форму расплавов

чугунов разного химического состава [2–4]. Необходимость синхронизированной подготовки двух различных расплавов с последующей заливкой их в общую литейную форму является наиболее существенным недостатком для реализации подобных технологий, так как в данном случае для получения разных по химическому составу и свойствам расплавов используются одновременно несколько плавильных агрегатов или плавильная печь и дополнительное оборудование для проведения внепечных процессов обработки исходного жидкого металла, что усложняет и удорожает процесс изготовления отливок.

Авторами предложены и разрабатываются новые технологии получения чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами, которые устраняют перечисленные недостатки [5–15]. Предложенные технологии предусматривают получение чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами в разных частях или зонах из одного расплава, которые базируются на способе модифицирования базового жидкого чугуна непосредственно в литейной форме в процессе заливки – на Инмолд-процессе [16–22] и предполагают в зависимости от требуемых условий эксплуатации изделий возможность получения отливок с сочетанием структуры и свойств: белый чугун – высокопрочный чугун

с шаровидным или вермикулярным графитом, серый чугун – высокопрочный чугун с шаровидным или вермикулярным графитом, белый чугун – серый чугун.

Учитывая высокую чувствительность метода внутриформенного модифицирования к химическому составу базового расплава чугуна, а также к условиям литья и модифицирования [16–22] при отработке предложенных новых технологий получения отливок с разной структурой и свойствами в отдельных их частях (зонах) методом внутриформенного модифицирования, необходимо было решать проблему поиска оптимальных технологических режимов литья и модифицирования практически для каждого типоразмера (типа) отливок.

Целью данной работы являлась разработка конструкций литниково-модифицирующих систем и изучение закономерностей формирования дифференцированных структуры и свойств в отливках, получаемых с применением метода внутриформенного модифицирования исходного расплава чугуна, а также разработка на этой основе оптимальной технологии для конкретных отливок.

В качестве объектов исследования выбраны отливки типа горизонтальная (рис. 1, а) и вертикальная (рис. 1, б) плиты размером 240×240 мм и толщиной 30 мм, а также брусок размером 240×120 мм толщиной 50 мм (рис. 1, в), которые моделируют типовые промышленные литые детали, например, зуб ковша экскаватора, лемеха плугов, ножи для резания бумаги, резины и других материалов, насадки молотковых дробилок, бронефутеровочные плиты, щеки дробилок и т. п.

С целью реализации предложенных технологий получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами предложены и исследованы следующие типы (конструкции) литниково-модифицирующих систем (рис. 2):

1 тип – литниковые системы с подачей расплава в полость литейной формы через общий стояк с двумя симметрично относительно него расположенными ветвями. В состав одной (рис. 2, а, б, в, д, е, ж) или каждой из ветвей (рис. 2, з, з) входит проточная реакционная камера, в которой размещается соответствующая модифицирующая добавка [23–25];

2 тип – ярусные вертикальные литниковые системы с подачей исходного расплава чугуна через общий стояк и расположенные на разных уровнях по высоте отливки каналы, в состав одного (рис. 2, и, к,

л) или каждого (рис. 2, м) из которых входит реакционная камера с модификатором [26–28];

3 тип – независимые (автономные) друг от друга литниковые системы с подводом каналов на разном (рис. 2, н, о, п, р) уровне по высоте отливок с противоположных их сторон, один (рис. 2, н, о, л) или каждый (рис. 2, р) из которых имеет в своем составе реакционную камеру для размещения модифицирующей добавки с целью внутриформенной обработки базового расплава [29–30].

Для изучения процессов, происходящих при заполнении расплавами литейных форм, а также установления закономерностей формирования дифференцированных структуры и свойств в экспериментальных отливках с использованием предложенных вариантов литниково-модифицирующих систем в работе были использованы методы имитационного компьютерного моделирования, а также натурные экспериментальные исследования.

Компьютерное моделирование проводили с применением пакета прикладных программ Nova-Flow Solid CV. В модельных исследованиях основными переменными параметрами были выбраны различные варианты литниково-модифицирующих систем, типы (геометрические формы) реакционных камер (кубическая, цилиндрическая, шарообразная), температура заливаемого жидкого чугуна, а также скорость заливки.

Как свидетельствует обработка результатов компьютерного моделирования, в случае изготовления отливок горизонтальная плита и брусок при заливке формы исходным расплавом через общий стояк с симметрично расположенными относительно него ветвями (рис. 2, а–з) в полости формы уже в начальный момент ее заполнения происходит перемешивание потоков. До полного окончания заливки полости формы происходит выравнивание температур расплавов, их гомогенизация, что впоследствии приводит к получению отливок с однотипной, относительно однородной структурой и свойствами (рис. 3, а, б).

Регулирование скорости поступления расплава в полость литейной формы путем изменения сечения питателей, а также изменение температуры заливаемого расплава оказывает влияние лишь на интенсивность гидродинамических потоков и скорость перемешивания расплавов. А наличие реакционных камер независимо от их геометрической формы в одной или в обеих ветвях литниковой системы приво-

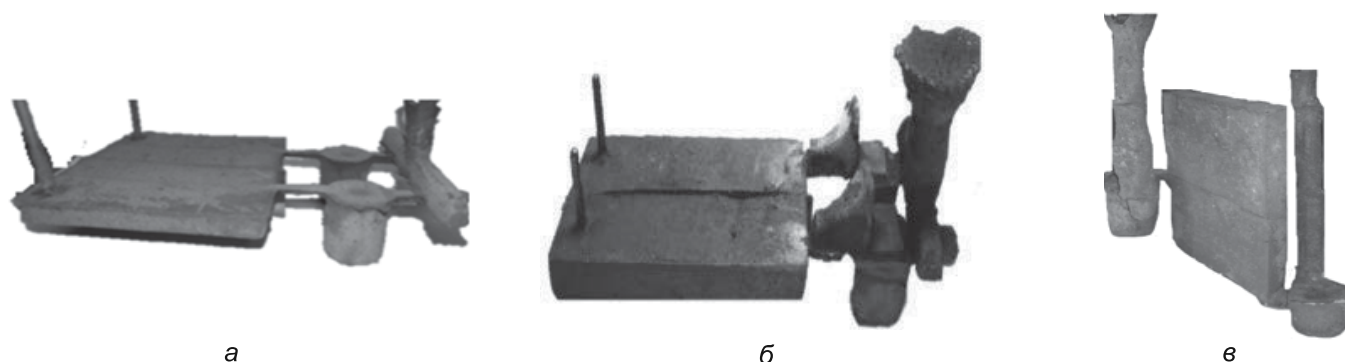


Рис. 1. Общий вид экспериментальных отливок

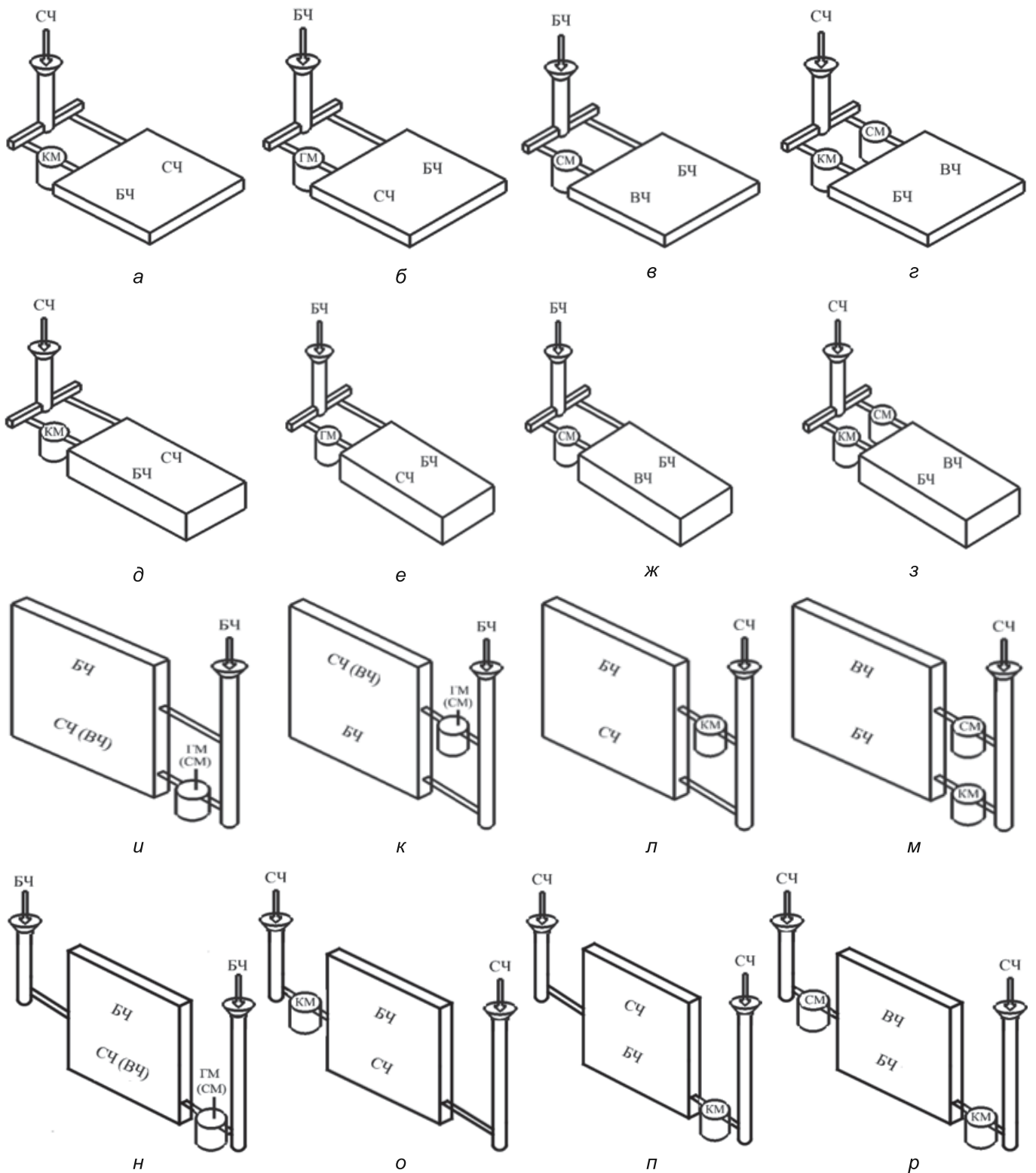


Рис. 2. Схемы литниково-модифицирующих систем для получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами методом внутриформенного модифицирования расплава

дит лишь к задержке во времени начала поступления расплава в полость формы через питатель соответствующей системы.

Дополнительными модельными исследованиями установлено, что дифференциация структуры и свойств в отливках типа горизонтальная плита и брусок, получаемых путем заливки расплава чугуна через общий стояк с симметричным распределением потоков относительно него, может быть обеспечена путем установки, например, по центру полости

(вдоль продольной оси) формы, механического стационарного барьера (рис. 4, а, б).

В качестве барьера, возможно использовать металлическую перегородку заданной толщины, например, из чугуна или стали. В свою очередь, при выборе толщины перегородки δ необходимо учитывать температуру заливаемого в полость формы расплава, с увеличением которой остаточная ее толщина в результате подплавления уменьшается (рис. 5, а, б), что впоследствии может приводить к затруднению

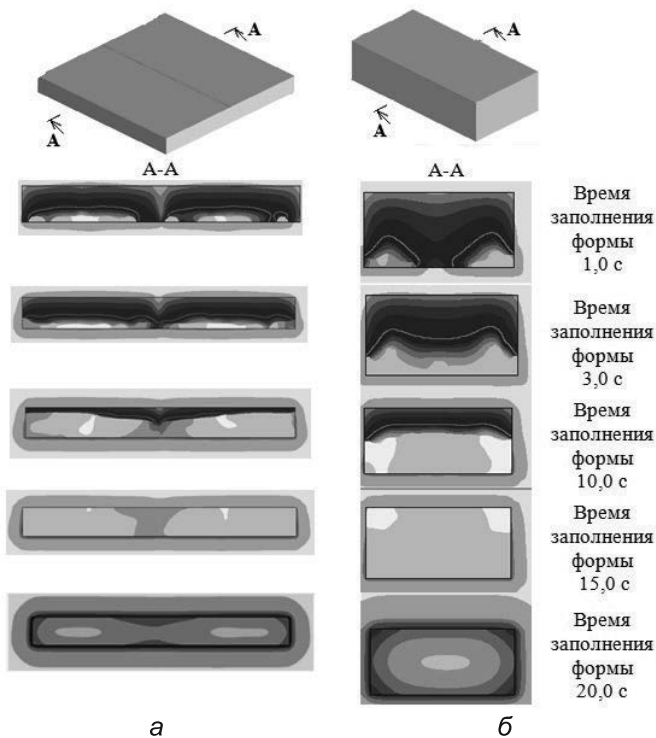


Рис. 3. Распределение температуры в объеме отливок горизонтальная плита (а) и брусок (б)

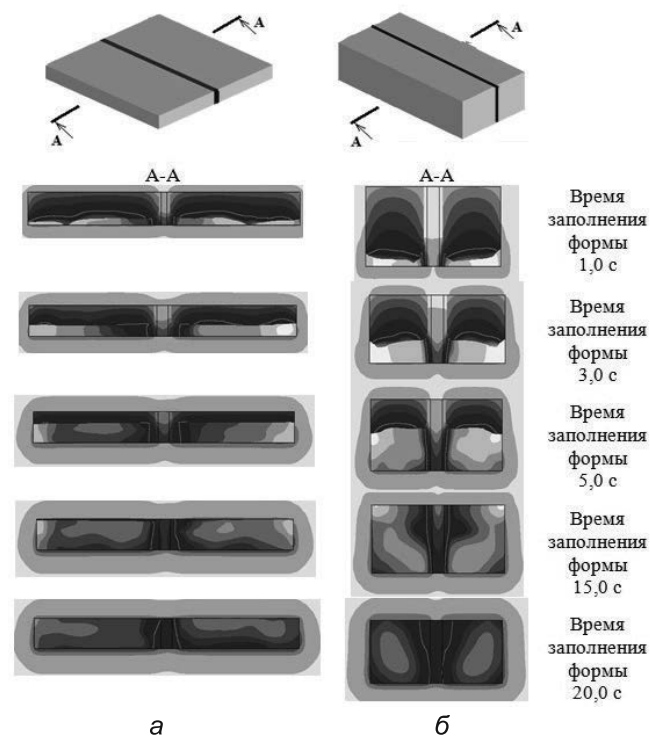


Рис. 4. Распределение температуры в объеме отливок горизонтальной плиты (а) и бруска (б) с установленной по центру (вдоль продольной оси) полости формы перегородкой

получения отливок с разной структурой и свойствами в локальных их частях (зонах).

Исследования процесса изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами типа вертикальная плита, которые изготавливаются путем заполнения полости исходным расплавом чугуна через общий стояк и расположенные на разных уровнях по высоте отливки каналы ярусной

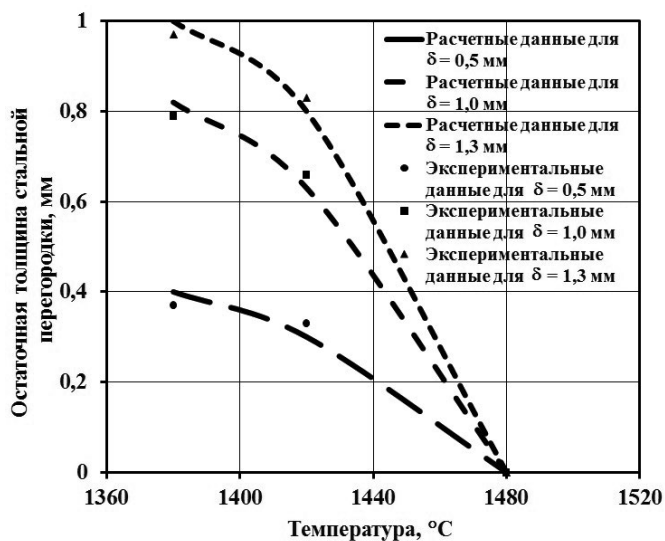
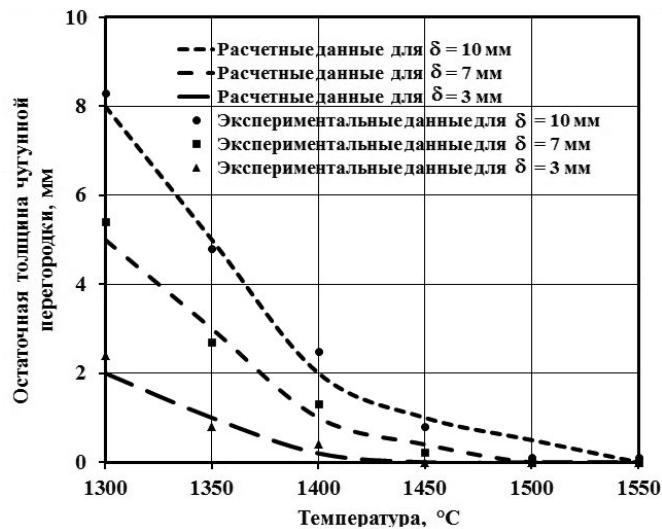


Рис. 5. Зависимость остаточной толщины перегородки из чугуна (а) и стали (б) от температуры заливаемого расплава при различной исходной толщине δ

литниковой системы (см. рис. 2, *и–м*), показали следующие результаты. В случае использования сужающей литниковой системы с отношением $F_n < F_{шл} < F_{ст}$ (F_n , $F_{шл}$, $F_{ст}$ – соответственно площади сечения питателя, шлакоуловителя и стояка), или даже при равных сечениях элементов ($F_n = F_{шл} = F_{ст}$) на протяжении первых секунд заливки расплав поступает в нижний питатель и через него – в полость формы (рис. 6, а).

Ввиду того, что лимитирующим звеном, определяющим массовый расход расплава и скорость поступления его в литейную форму, является сечение питателей, уровень расплава в стояке быстро поднимается, значительно опережая подъем его уровня в полости формы. Спустя 3–5 секунд уровень расплава в стояке доходит до уровня расположения питателя второго верхнего яруса, после чего происходит подача расплава в полость формы сразу через питатели обоих уровней (ярусов). Расплав поступает в форму хаотично, перемешивается, после чего кристаллизуется отливка с относительно однородной структурой и свойствами (см. рис. 6, а).

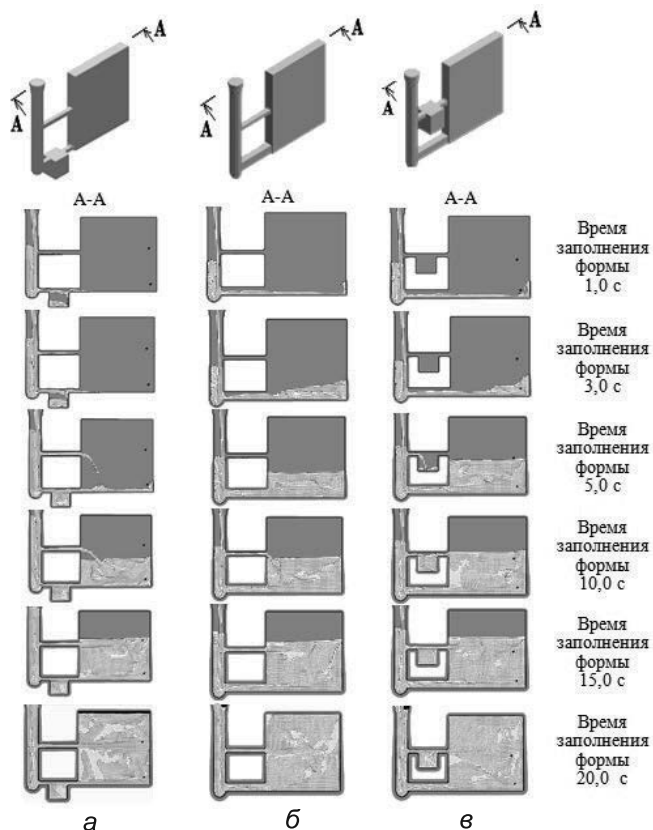


Рис. 6. Распределение температуры в объеме отливки вертикальная плита

В случае использования расширяющейся литниковой системы с соотношением $F_n > F_{шп} > F_{ст}$ (см. рис. 6, б, в) опасность преждевременного поступления расплава в каналы верхнего яруса литниковой системы существенно уменьшается. Заполнение формы на протяжении определенного периода времени происходит через нижний питатель. При этом уровень металла в полости формы и в стояке поднимается практически одновременно (рис. 6, б, в). Однако, когда уровень металла в стояке доходит до уровня расположения каналов верхнего яруса литниковой системы, поступление металла в форму начинается сразу через питатели обоих ярусов и в результате происходит смешивание расплавов в полости формы, что также делает невозможным формирование отливки с разной структурой и свойствами в нижней и верхней ее частях. При этом, несмотря на то, что заполнение формы расплавом происходит через питатели обеих уровней, основная масса его поступает через нижний питатель, что снижает эффективность модифицирующей обработки расплава в реакционной камере верхнего уровня литниковой системы.

Положительных результатов дифференциации структуры и свойств в отливке вертикальная плита, получаемой путем заливки формы через общий стояк и ярусную литниковую систему, возможно достичь путем установки твердой металлической перегородки в горизонтальном положении между расплавами, заполняемыми верхнюю и нижнюю части полости формы. Однако, данный вариант существенно усложняет технологию изготовления отливок за счет необходимости точной установки перегородки, на-

дежной ее фиксации в горизонтальном положении и точного дозирования заливаемого расплава первой порции, поступающей через нижний питатель. Кроме того при этом получить качественное сплавление нижней и верхней порций расплава, а также обеспечить плотное строение переходной зоны весьма затруднительно из-за сложности обеспечить питание затвердевающих частей отливки.

Учитывая это, более реальной технологией получения качественных отливок типа вертикальная плита является процесс, при котором заливка исходного расплава чугуна осуществляется последовательно через две независимые литниковые системы с подводом каналов на разном уровне с противоположных сторон отливки с необходимой временной выдержкой между заливкой первой и второй порций расплава (см. рис. 2 н, о, п, р).

В ходе проведения модельных исследований данной технологии установлено, что после заливки определенного количества расплава первой порции в полость литейной формы через первую ветвь литниковой системы, он начинает затвердевать и фронт его кристаллизации с течением времени продвигается от охлаждаемых стенок формы и донной ее части вглубь расплава. На зеркале расплава первой порции, на протяжении определенного промежутка времени с начала заливки, образования твердой корочки не наблюдается, что связано с менее интенсивным теплоотводом излучением с поверхности расплава по сравнению с теплоотводом от боковых и донной поверхностей формы.

При увеличении промежутка времени между заливкой первой и второй порций расплава наряду с утолщением твердой корочки расплава на боковых поверхностях отливки и в донной ее части, твердая корочка начинает формироваться и на зеркале металла первой порции. Толщина этой корочки увеличивается с повышением времени выдержки до начала заливки второй порции расплава. Именно эта твердая корочка и может служить барьером, который будет препятствовать перемешиванию расплава первой порции с заливаемым через вторую независимую литниковую систему расплавом второй порции. При этом длительность выдержки должна обеспечить получение отливки с заданной структурой и свойствами нижней и верхней ее частей, а также высокое качество их соединения (сплавления).

При недостаточной длительности выдержки до заливки второй порции на зеркале расплава первой порции формируется слой твердой фазы небольшой толщины, который быстро проплавляется заливаемым расплавом второй порции, в результате чего расплавы интенсивно перемешиваются, и впоследствии формируется практически одинаковая структура металла отливки в верхней и нижней ее частях за исключением закристаллизовавшегося до момента заливки второй порции слоя металла в донной (нижней) части.

В случае заливки формы с достаточно большой временной выдержкой между первым и вторым этапами заливки порций расплава ввиду образования на зеркале залитой первой порции достаточно толстой твердой корочки тепла второй порции

может оказаться не достаточно для ее расплавления, и оставшаяся жидкая фаза в центральных частях первой и второй порции затвердевает независимо друг от друга. В результате недостатка питающего расплава для компенсации усадки затвердевающей первой порции на определенном этапе ее затвердевания происходит разрыв сплошности и образование усадочных раковин и пор между верхней и нижней частями отливки.

Также при заливке расплава второй порции с низкой температурой может не происходить сплавление (сваривание) первой и второй порций и их качественное соединение. Более того, появившиеся на поверхности первого слоя окисные пленки не растворяются после заливки второй порции, что приведет к попаданию их в переходной слой, что может послужить причиной последующего разрушения отливок.

Таким образом, по результатам исследований компьютерного моделирования определено, что для обеспечения дифференциации структуры отливок типа вертикальная плита, получаемых путем заливки первой и второй порций исходного расплава чугуна последовательно через две независимые литниковые системы, необходима оптимальная продолжительность выдержки между заполняемыми порциями и определенная их температура.

Серией дополнительных модельных экспериментов установлено, что при оптимальной для данной технологии температуре заливки расплава, которая находится в пределах 1420–1450 °С, дифференциация структуры и свойств верхней и нижней части отливок вертикальная плита достигается при выдержке между заливаемыми порциями расплавов от 30 до 90 с.

При этом верхняя и нижняя часть отливок надежно соединяются между собой без образования дефектов на границе их раздела. Формирование нижнего слоя зависит от временной выдержки, с увеличением которой высота его увеличивается (рис. 7).

Положительные результаты компьютерного моделирования подтверждены натурными экспериментами на чугунных отливках.

При этом, по предложенным на основании результатов компьютерного моделирования технологическим режимам (параметрам) литья и конструкциям литниково-модифицирующих систем, изготовлены

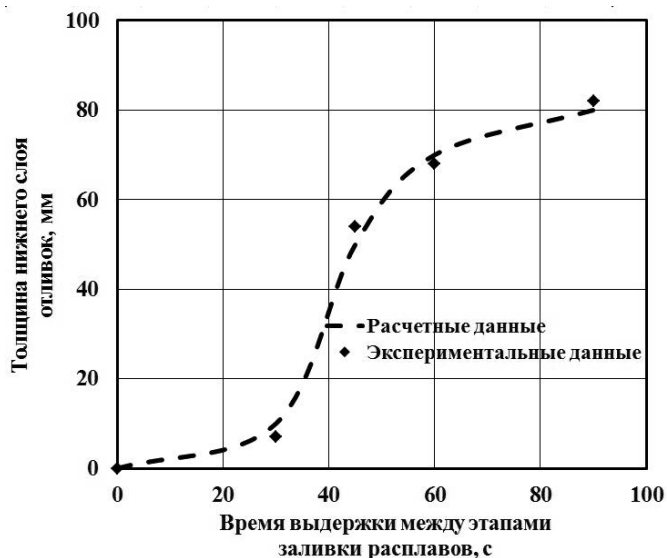


Рис. 7. Зависимость изменения толщины нижнего слоя отливок вертикальная плита с учетом подплавления от времени выдержки между этапами заливки

экспериментальные отливки – горизонтальная и вертикальная плита, брусок с сочетанием структуры и свойств твердого износостойкого белого чугуна в одной части отливки и вязкого серого или высокопрочного чугунов в другой части той же отливки. Типовые примеры полученных отливок, с изображением их макро- и микроструктуры приведены на рис. 8.

Выводы

Таким образом, в работе предложены и исследованы конструкции литниково-модифицирующих систем и подтверждена возможность реализации предложенных технологий дифференциации структуры и свойств чугуна в локальных частях или зонах отливок, получаемых с применением технологии внутриформенного модифицирования заливаемого расплава, выплавленного в одном плавильном агрегате.

Полученные результаты исследований могут быть рекомендованы для использования на промышленных предприятиях при изготовлении чугунных деталей разного назначения при литье в песчаные формы.

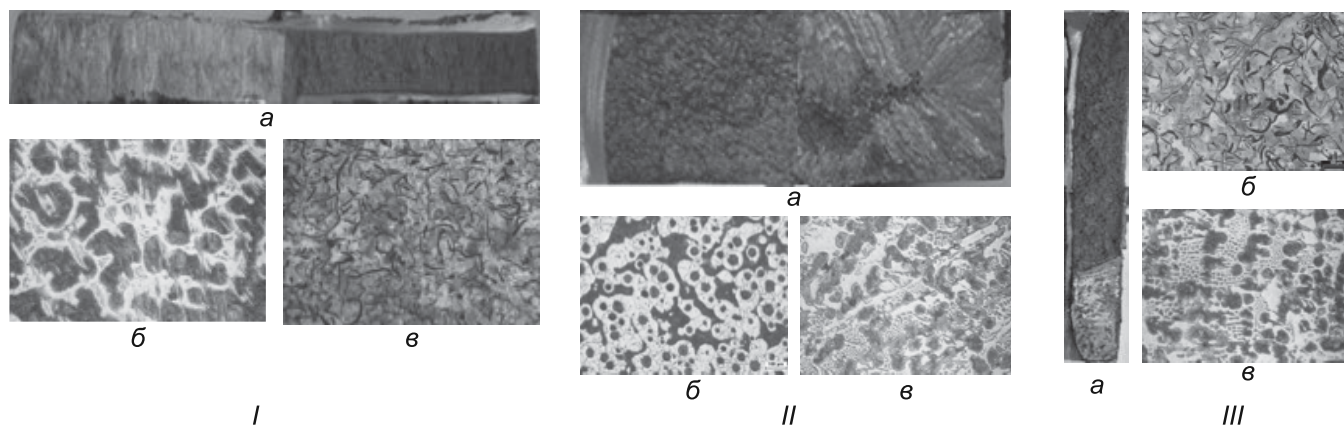
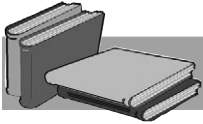


Рис. 8. Макроструктура изломов (а) и микроструктура (б, в) отливок горизонтальная (I), вертикальная (III) плита, брусок (II) с дифференцированной структурой и свойствами

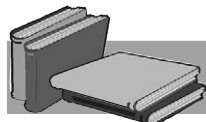


ЛИТЕРАТУРА

1. Худокормов Д.Н. Производство отливок из чугуна. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 197 с.
2. Костенко Г.Д., Пеликан О.А., Романенко Ю.Н., Костенко Д.Г. Гидродинамические особенности процессов получения биметаллических отливок // *Процессы литья*. – 2006. – № 1. – С. 69–73.
3. Ширяев, В.В., Пеликан О.А., Шинский И.О., Глушков Д.В., Романенко Ю.Н. Технологические особенности производства биметаллических (многослойных) отливок повышенной износостойкости // *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 7–8. – С. 52–56.
4. Фесенко М.А., Фесенко А.Н., Косячков В.А. Внутриформенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированными структурой и свойствами // *Литейное производство*. – 2010. – № 1. – С. 7–12.
5. Патент України № 27681 Спосіб виготовлення виливків з диференційованими властивостями / Фесенко М.А., Косячков В.О., Фесенко А.М. Заявл. 24.07.2006, опубл. 15.01.2007. Бюл. № 18, 2007 р.
6. Патент України № 30511 Спосіб модифікування чавуну для виробництва двошарових виливків / Косячков В.О., Фесенко М.А., Могилатенко В.Г., Чайуовський О.А., Хасан О.С. Заявл. 23.11.2007, опубл. 25.02.2008. Бюл. № 4, 2008 р.
7. Патент України № 32713 U 2008 00725, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного базового розплаву / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О. Заявл. 21.01.2008, опубл. 26.05.2008. Бюл. № 10, 2008 р.
8. Патент України № 42795 U 2009 00009, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко М.А., Фесенко А.М., Косячков В.О., Ємельяненко К.В. Заявл. 05.01.2009, опубл. 27.07.2009. Бюл. № 14, 2009 р.
9. Патент України № 54267 U 2009 13101, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко М.А., Фесенко А.М., Косячков В.О. Заявл. 16.12.2009, опубл. 11.11.2010. Бюл. № 21, 2010 р.
10. Патент України № 32662 U 2008 00343, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О. Заявл. 10.01.2008, опубл. 26.05.2008. Бюл. № 10, 2008 р.
11. Патент України № 33518 U 2008 02428, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного базового розплаву / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О., Ємельяненко К.В. Заявл. 25.02.2008, опубл. 25.06.2008. Бюл. № 12, 2008 р.
12. Патент України № 37319 U 2008 07447, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О., Ємельяненко К.В. Заявл. 30.05.2008, опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22, 2008 р.
13. Патент України № 41383 U 2008 11908, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О., Ємельяненко К.В. Заявл. 07.10.2008, опубл. 25.05.2009. Бюл. № 10, 2009 р.
14. Патент України № 42477 U 2009 00188, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Косячков В.О., Ємельяненко К.В. Заявл. 12.01.2009, опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13, 2009 р.
15. Патент України № 54266 U 2009 13097, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко М.А., Фесенко А.М., Косячков В.О., Заявл. 16.12.2009, опубл. 11.11.2010. Бюл. № 21, 2010 р.
16. Ковалевич Е.В., Петров Л.А., Андреев В.В. Современные способы модифицирования для получения в чугуне шаровидного графита // *Литейное производство*. – 2014. – № 2. – С. 2–5.
17. Фесенко М.А. Новые технологии изготовления отливок модифицированием чугуна в литейной форме // *Металл и литье Украины*. – 2014. – № 11 (258). – С.10–16.
18. McCaulay J.L. Production of nodulagraphite iron casting by the in mold-process // *Foundry trade journal*. – 1971. – № 4. – P. 327–332, 335.
19. Косячков В.А., Ващенко К.И. Особенности технологии получения высокопрочного чугуна модифицированием в форме // *Литейное производство*. – 1975. – № 12. – С. 11–12.
20. Lerner Y.S. Overview of ductile iron methods // *Foundry Trade Journal*. – 2003. – Vol. 177. – P. 25–27.
21. Бубликов В.Б. Высокопрочному чугуна – 60 // *Литейное производство*. – 2008. – № 11. – С. 2–8.
22. Knustad O. Проблемы, возникающие при производстве высокопрочных чугунов. Обзор существующих способов получения ВЧ и используемых модификаторов // *Литейщик России*. – 2011. – № 4. – С.15–17.
23. Патент України № 42772 U 2008 14693, B22C9/00. Ступінчаста ливниково-модифікуюча система / Фесенко М.А., Ємельяненко К.В. Заявл. 22.12.2008, опубл. 27.07.2009. Бюл. № 14, 2009 р.
24. Патент України № 51879 U 2009 13661, B22D 27/00. Ливникова система для виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного вихідного (базового) розплаву / Фесенко М.А., Фесенко А.М., Косячков В.О. Заявл. 28.12.2009, опубл. 10.08.2010. Бюл. № 15, 2010 р.
25. Патент України № 52256 U 2009 13741, B22D 27/00. Ливникова система для виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного вихідного (базового) розплаву // Фесенко М.А., Фесенко А.М., Косячков В.О. Заявл. 28.12.2009, опубл. 25.08.2010.
26. Патент України № 41783 U 2008 14684, B22C 9/00. Ступінчаста ливникова система для модифікування чавуну в ливарній формі / Фесенко М.А. Заявл. 22.12.2008, опубл. 10.06.2009. Бюл. № 11, 2009 р.
27. Патент України № 51909 U 2010 00181, B22D 27/00. Ступінчаста (ярусна) ливникова система для виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного вихідного (базового) розплаву / Фесенко М.А., Фесенко А.М. Заявл. 11.01.2010, опубл. 10.08.2010. Бюл. № 15, 2010 р.

28. Патент України № 52274 U 2010 00245, B22D 27/00. Ступінчата (ярусна) ливникова система для виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями з одного вихідного (базового) розплаву / Фесенко М.А., Фесенко А.М. Заявл. 13.01.2010, опубл. 25.08.2010. Бюл. № 16, 2010 р.
29. Патент України №93903 U 2014 03245, B22D 27/00. Ливарна форма для виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Скок Р.І. Заявл. 31.03.2014, опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20/2014.
30. Патент України № 93898 U 2014 03240, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / Фесенко А.М., Фесенко М.А., Скок Р.І. Заявл. 31.03.2014, опубл. 27.10.2014. Бюл. № 20/2014.

Поступила 08.10.2018



REFERENCES

1. *Khudokormov, D.N.* (1987). Production of castings from cast iron. Minsk: Vyisheishaia shkola, 197 p. [in Russian].
2. *Kostenko, G.D., Pelikan, O.A., Romanenko, Yu.N., Kostenko, D.G.* (2006). Hydrodynamic peculiarities of the processes of bimetallic castings production. *Protsessy lit'ia*, no. 4, pp. 69–73 [in Russian].
3. *Shiryayev, V.V., Pelikan, O.A., Shinskiy, I.O., Glushkov, D.V., Romanenko, Yu. N.* (2009). Technological peculiarities of the bimetallic (multi-layer) castings production of high wear resistance. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 7–8, pp. 52–56 [in Russian].
4. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.N., Kosyachkov, V.A.* (2010). Obtaining of iron castings with differentiable structure and properties with the use of the technology of intrastratified melt modification. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 1, pp. 7–12 [in Russian].
5. *Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O., Fesenko, A.M.* (2007). Method of manufacturing castings with varied properties. Patent UA no. 27681. Opubl. 15.01.2007. Biul. no. 18 [in Ukrainian].
6. *Kosyachkov, V.O., Fesenko, M.A., Mogilatenko, V.G., Chayuvovskiy, O.A., Hasan, O.S.* (2008). Method for modification of cast iron for the production of double-layer castings. Patent UA no. 30511. Opubl. 25.02.2008. Biul. no. 4 [in Ukrainian].
7. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2008). Method of manufacture of castings with differentiated structure and properties from one source fusion. Patent UA no. 32713. Opubl. 26.05.2008. Biul. no. 10 [in Ukrainian].
8. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.M., Kosyachkov, V.O., Emelyanenko, K.V.* (2009). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 42795. Opubl. 27.07.2009. Biul. no. 14 [in Ukrainian].
9. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2010). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 54267. Opubl. 11.11.2010. Biul. no. 21 [in Ukrainian].
10. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2008). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 32662. Opubl. 26.05.2008. Biul. no. 10 [in Ukrainian].
11. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O., Emelyanenko, K.V.* (2008). Method of manufacturing castings with differentiated structures and properties from one basic fusion. Patent UA no. 33518. Opubl. 25.06.2008. Biul. no. 12 [in Ukrainian].
12. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O., Emelyanenko, K.V.* (2008). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 37319. Opubl. 25.11.2008. Biul. no. 22 [in Ukrainian].
13. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O., Emelyanenko, K.V.* (2009). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 41383. Opubl. 25.05.2009. Biul. no. 10 [in Ukrainian].
14. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O., Emelyanenko, K.V.* (2009). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 42477. Opubl. 10.07.2009. Biul. no. 13 [in Ukrainian].
15. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2010). Method of manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 54266. Opubl. 11.11.2010. Biul. no. 21 [in Ukrainian].
16. *Kovalevich, E.V., Petrov, L.A., Andreev, V.V.* (2014). Improvement of iron inoculation methods to obtain spheroidal shape of graphite. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 2, pp. 2–5 [in Russian].
17. *Fesenko, M.A.* (2014). New technologies for production of castings by in-mold inoculation. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 11 (258), pp. 10–16 [in Russian].
18. *McCaulay, J.L.* (1971). Production of nodular graphite iron casting by the in-mold-process. *Foundry Trade Journal*, no. 4, pp. 327–332, 335 [in English].
19. *Kosyachkov, V.A., Vashchenko, K.I.* (1975). Peculiarities of the technology of obtaining high-strength cast iron by modification in the form. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 12, pp. 11–12 [in Russian].
20. *Lerner, Y.S.* (2003). Overview of ductile iron methods. *Foundry Trade Journal*, Vol. 177, pp. 25–27 [in English].
21. *Bublikov, V.B.* (2008). High-strength cast iron – 60. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 11, pp. 2–8 [in Russian].
22. *Knustad, O.* (2011). The problems connected with high duty cast iron production. The existing methods of high duty cast iron production and inoculants review. *Liteishchik Rossii*, no. 4, pp. 15–17 [in Russian].
23. *Fesenko, M.A., Emelyanenko, K.V.* (2009). Stepped pouring-modifying system. Patent UA no. 42772. Opubl. 27.07.2009. Biul. no. 14 [in Ukrainian].
24. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2010). Gating system for production of castings with differentiated structure and properties from single (basic) initial melt. Patent UA no. 51879. Opubl. 10.08.2010. Biul. no. 15 [in Ukrainian].
25. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosyachkov, V.O.* (2010). Gating system for fabrication of castings with differentiated structure and properties from one initial (base) melt. Patent UA no. 52256. Opubl. 25.08.2010. Biul. no. 16 [in Ukrainian].
26. *Fesenko, M.A.* (2009). Stepped gate system for modification of cast iron in foundry mold. Patent UA no. 41783. Opubl. 10.06.2009. Biul. no. 11 [in Ukrainian].
27. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.M.* (2010). StepPeD (tiered) gating system to produce castings with differentiated structure and properties of initial (basic) melt. Patent UA no. 51909. Opubl. 10.08.2010. Biul. no. 15 [in Ukrainian].
28. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.M.* (2010). Step gating system for production of castings with differentiated structure and properties from initial (base) melt. Patent UA no. 52274. Opubl. 25.08.2010. Biul. no. 16 [in Ukrainian].

29. Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Skok, R.I. (2014). Mold for manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 93903. Publ. 27.10.2014. Biul. no. 20 [in Ukrainian].
30. Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Skok, R.I. (2014). Method for manufacturing castings with differentiated structure and properties. Patent UA no. 93898. Publ. 27.10.2014. Biul. no. 20 [in Ukrainian].

Received 08.10.2018

Анотація

М.А. Фесенко¹, канд. техн. наук, доц., доц. каф., e-mail: fesmak@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8218-4154>; **А.М. Фесенко**², канд. техн. наук, проф., перший проректор, e-mail: prorector@dgma.donetsk.ua; **В.Г. Могилатенко**¹, д-р техн. наук, проф., e-mail: mvg@iff.kpi.ua

¹Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

Ливникові системи для виготовлення чавунних виливків з диференційованою структурою та властивостями модифікуванням вихідного розплаву в ливарній формі

В роботі запропоновано та досліджено нові технологічні варіанти виробництва чавунних виливків з диференційованою структурою та властивостями з одного розплаву, які базуються на способі модифікування базового рідкого чавуну безпосередньо в ливарній формі.

Як об'єкти дослідження обрано виливки типу горизонтальна та вертикальна плити, а також брусок, які моделюють типові промислові литі деталі, наприклад, зуб ковша екскаватора, лемехи плугів, ножі для різання паперу, гуми та інших матеріалів, насадки молоткових дробарок, бронефутерувальні плити, щоки дробарок і т. п.

Для отримання різної структури та властивостей в окремих частинах (шарах, зонах) в експериментальних виливках за запропонованими варіантами спроектовано спеціальні загальні та незалежні (автономні) конструкції ливниково-модифікувальних систем.

Багаточисельними дослідженнями з використанням методу комп'ютерного моделювання та натурними експериментами на чавунних виливках підтверджено можливість реалізації запропонованих технологічних варіантів, а також вивчено основні закономірності процесів диференціації структури та властивостей у виливках з використанням спроектованих конструкцій ливниково-модифікувальних систем.

Отримані результати досліджень можуть бути рекомендовані для використання на промислових підприємствах при виготовленні чавунних виливків різного призначення, що виготовляються литтям в піщані форми.

Ключові слова

Моделювання, ливниково-модифікувальна система, внутрішньоформове модифікування, виливок, плита, брусок, чавун, структура, властивості.

Summary

M.A. Fesenko¹, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor, e-mail: fesmak@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8218-4154>; **A.N. Fesenko**², Candidate of Engineering Sciences, Professor, the First Vice Rector, e-mail: prorector@dgma.donetsk.ua; **V.G. Mogilatenko**¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: mvg@iff.kpi.u

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

²Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Gating system for the production of iron castings with a differentiated structure and properties on the modification of the base liquid iron directly in the mold

The paper proposes and investigates new technological options for the production of iron castings with a differentiated structure and properties from one single melt, which are based on the modification of the base liquid iron directly in the mold. Castings are selected as research objects – horizontal and vertical slabs, as well as bars, which simulate typical industrial

castings, such as an excavator bucket tooth, plowshare plow blades, knives for cutting paper, rubber and other materials, hammer crushers, armor plates, and cheeks etc.

To obtain different structures and properties in individual parts (layers, zones) in the experimental castings according to the proposed options, special general and independent (autonomous) designs of gating-modifying systems were designed.

Numerous studies using the computer simulation method and full-scale experiments on iron castings confirmed the possibility of implementing the proposed technological options, and also the basic patterns of differentiation of the structure and properties in castings using the designed designs of gating-modifying systems were studied.

The results of research can be recommended for the using in industrial plants in the manufacture of cast iron castings for various purposes obtained by sand casting.

Keywords

Simulation, gating-modifying system, in mold process, casting, plate, bar, cast iron, structure, properties.