УДК 621.74

И.В. Лукьяненко, ассистент, e-mail: lukianenkoiv@gmail.com, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1043-9688, ResearcherID: J-7294-2017

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

Исследование технологических параметров процесса получения чугунных отливок для работы в условиях износа

В работе дано подробное описание состояния вопроса, который касается актуальности повышения износостойкости деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного износа. Изложены основные актуальные направления решения этой проблемы. Высветлены преимущества использования биметаллов в мировой и отечественной практике, а также приведены основные группы методов, которые характеризуются общностью технологических приемов, производства биметаллов и многослойных материалов с использованием технологий литья. Подробно рассмотрен способ получения отливки с разными структурой и свойствами в разных ее частях из расплава чугуна одного химического состава для работы в условиях абразивного и ударно-абразивного износа. Основываясь на данном способе, проведены исследования технологических факторов, которые влияют на получения чугунных отливок с дифференцированными свойствами, а именно временного интервала между этапами заливки литейной формы. Исходя из результатов первичного эксперимента, был применен метод компьютерного моделирования процессов заливки и кристаллизации расплава, который, после дополнительной математической обработки, позволил определить вероятные границы временного интервала выдержки между заливками. В результате проведения дальнейших экспериментов подтверждены результаты компьютерного моделирования и определены оптимальные временные рамки исследуемого интервала выдержки. Также в работе приведены данные по структурным составляющим, которые образовались в разных частях отливки, в том числе и переходной зоне между слоем высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и белого чугуна. Получены данные касаемо твердости рабочего слоя отливки и слоя основы, а также установлены размеры переходного слоя, который образовывается при использовании исследуемой технологии производства.

Ключевые слова: *абразивный износ, белый чугун, высокопрочный чугун с шаровидным графитом, внутриформенное модифицирование, двухслойная чугунная отливка, дифференцированные свойства, литье в песчано-глинистые формы, переходная зона, реакционная камера, ударно-абразивный износ.*

В мировой и отечественной промышленности остро стоит вопрос повышения износостойкости деталей машин и механизмов. По данным источника [1], при добыче и обогащении руды, угля, цементного сырья, камня и т. п. из-за абразивного износа расходуются сотни тысяч тонн металла. На примере США ориентировочные годовые затраты на производство износостойких отливок составляют 2,8 млрд долл. при их производстве свыше 280 тыс. т в год [1].

Неотъемлемой частью процесса эксплуатации многих деталей машин и механизмов является износ. В определенных случаях, связанных с конкретными условиями эксплуатации таких деталей, интенсивность износа чрезвычайно высока [2]. Абразивному и ударно-абразивному износу подвергается большая группа машин и оборудования, задействованных в добыче, перемещении и переработке минерального сырья, например, дробление гранита, базальта и т. д. К такому оборудованию относят: бульдозеры, драглайны, дробилки, мельницы, отбойные плиты, бункера и др. [1, 2].

Снижение долговечности, надежности, а также ухудшение экономической эффективности от эксплуатации машин и механизмов вместе с наличием безвозвратных потерь металла обусловлено использованием деталей с недостаточной износостойкостью для работы в тех или иных условиях эксплуатации. Однако, одновременно с этим, в различных отраслях промышленности постоянно возрастает спрос на продукты переработки минерального сырья. Так, по данным авторов [2], для строительства современных автомобильных дорог и скоростных железнодорожных линий по новым технологиям ежегодно требуется более 6 млн т кубовидного щебня.

Таким образом, по мнению авторов [2], проблема повышения износостойкости материалов, увеличения технического ресурса деталей машин и оборудо-

вания, работающих в условиях активного износа при значительных нагрузках, сокращения безвозвратных потерь металла, снижения расхода высоколегированных дорогостоящих сплавов является одной из наиболее актуальных в Украине и мире на сегодняшний день. Перспективным вариантом решения обозначенной проблемы, по мнению авторов [3, 4], является использование такого класса материалов как биметаллы, важнейшей особенностью изделий из которых является сочетание в себе уникального комплекса свойств. Обеспечение оптимального сочетания свойств и их дифференциации по сечению отливок позволяют использовать их в тех отраслях промышленности, в которых условия работы связаны, в том числе, с интенсивным износом, таких как горнорудное производство, металлургия, цементная и нефтехимическая промышленность, машиностроение, строительство, сельское хозяйство, энергетика и др. [2].

По данным авторов [5], использование биметаллических отливок в качестве деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного абразивного, ударно-абразивного и гидроабразивного износа, позволяет повысить в 2,5–6,0 раз эксплуатационный ресурс работы этих деталей, а также снизить применение высоколегированных дорогостоящих сплавов и остродефицитных компонентов до 70 %.

Среди существующих методов получения износостойких биметаллических и многослойных отливок, которые характеризуются общностью технологических приемов, авторы работы [5] выделяют основные четыре группы:

– заливка жидкого металла на твердую заготовку, расположенную в литейной форме;

– последовательная заливка расплавов в форму через автономные литниковые системы;

– последовательная заливка расплавов в изложницу центробежной машины;

– одновременная заливка расплавов в форму с разделительными перегородками.

Однако вышеуказанные методы получения биметаллических и многослойных отливок предполагают использование двух различных расплавов, что приводит к усложнению технологического процесса их производства и, как следствие, к удорожанию готовой продукции. В тоже время, условия работы таких отливок позволяют применять в их рабочем слое белые чугуны различных типов, в структуре которых присутствуют карбиды, благодаря которым износостойкость чугунов, по данным работы [1], в 5–10 раз выше, чем у конструкционных сталей. Остальную часть отливки нецелесообразно выполнять из такого материала, поскольку высокая его твердость, из-за наличия карбидов в структуре, приводит к ухудшению его обрабатываемости или вовсе к невозможности механической обработки в текущих условиях производства. Поскольку кристаллизационные процессы в чугуне довольно разнообразны, в зависимости от определенных условий, то возможно обеспечить кристаллизацию чугуна по стабильной системе с образованием в структуре включений графита той или иной формы и отсутствии твердых карбидных включений.

На основе метода получения многослойных отливок последовательной заливкой расплавов в форму через автономные литниковые системы исследователями [6, 7, 8] был разработан и предложен метод получения чугунных отливок из расплава чугуна одного химического состава модифицированием его в литейной форме. Данный метод позволяет получать чугунные отливки для работы в условиях абразивного или ударно-абразивного износа с рабочим слоем из белого чугуна с твердыми карбидными включениями. Сущность процесса заключается в поэтапной заливке литейной формы чугуном одного химического состава через независимые литниковые системы, в состав одной из которых входит реакционная камера с измельченным модификатором для проведения внутриформенного модифицирования чугуна, что в свою очередь позволяет обеспечить дифференциацию свойств в отливке [9].

Целью данной работы была разработка технологических параметров процесса получения двухслойных чугунных отливок с дифференцированными свойствами для работы в условиях абразивного и ударно-абразивного износа. Кристаллизацию первой порции расплава необходимо провести по метастабильной системе, что позволит сформировать рабочий износостойкий слой отливки. Во втором слое отливки необходимо обеспечить кристаллизацию чугуна с графитом шаровидной формы, что обеспечивает возможность работы отливки в условиях абразивного и ударно-абразивного износа, для этого необходимо произвести внутриформенную обработку расплава сфероидизирующим модификатором с образованием графита шаровидной формы. Основными условиями получения таких отливок является обеспечение невозможности перемешивания чугунов после второго этапа заливки и обеспечения бездефектности переходного слоя.

Для проведения исследований объектом выбрано отливку размерами 240×120×50 мм. Подведение расплава в полость формы осуществляли через две независимые литниковые системы. Первый этап заливки проводили через первую литниковую систему, проходя по которой порция расплава непосредственно попадала в полость формы. На втором этапе по второй литниковой системе расплав попадал в реакционную камеру со сфероидизирующим модификатором, в качестве которого был выбран ферросиликомагниевый модификатор ФСМг7, и после модифицирования дозаполнял оставшуюся часть полости литейной формы (рис. 1). В качестве исходного материала для проведения исследований был выбран чугун с углеродным эквивалентом на уровне от 3,1 до 3,2 %, кристаллизация которого в условиях заливки в сухую песчано-глинистую форму проходит по метастабильной системе [10].

Экспресс-оценку результатов эксперимента проводили визуальным методом по виду макроструктуры излома в верхней и нижней части чугунной отливки в ее центральном сечении. Дополнительную информа-

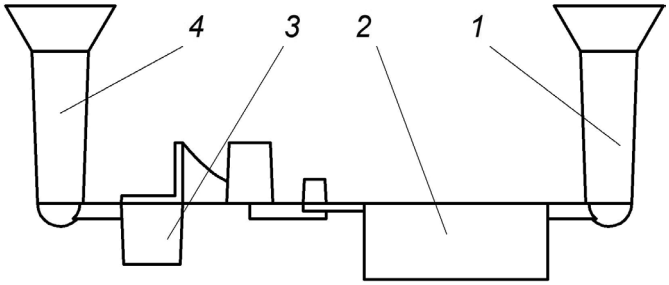

Рис. 1. Схема отливки з литниковыми системами: *1* – первая литниковая система; *2* – отливка; *3* – реакционная камера во второй литниковой системе; *4* – вторая литниковая система

цию получали, используя металлографический анализ и определяя твердость разных слоев образцов.

Авторами [11] отмечается, что при получении биметаллической отливки по схожей технологии доливка второго слоя происходит в то время, когда поверхность первого слой находится в жидком или жидко-твердом состоянии, то есть интервал между последовательными заливками сводится к минимуму.

По результатам исследований установлено, что при минимальном интервале выдержки в несколько секунд между этапами заливки расплава дифференциация структуры в отливке не наблюдается, а отливка кристаллизуется с однородной структурой серого чугуна с пластинчатым графитом.

Для ориентировочного определения временного интервала выдержки между последовательными заливками расплава использовали метод компьютерного моделирования (рис. 2). В качестве объектов исследования построены модели длиной и шириной 100×100 мм. Высоту моделей варьировали в диапазоне от 5 до 50 мм с шагом в 5 мм, что моделирует толщины стенок мелких чугунных отливок, используемых промышленностью. В центре масс каждой модели было установлено датчик, который в режиме реального времени фиксировал значение температуры моделируемого расплава. Для набора дополнительных данных по времени кристаллизации температуры заливки расплава для проведения компьютерного моделирования изменяли от 1300 до 1500 °С с шагом 50 °С.

По результатам проведенного моделирования были записаны кривые охлаждения расплава в центре масс каждой из модели. После математической обработки полученных данных были построены зависимости времени кристаллизации расплава от толщины стенки моделей при различных температурах заливки (рис. 3). По полученным результатам установлено, что при температуре заливки 1300 °С первого слоя отливки толщиной 25 мм, время его кристаллизации составляет около 100 с. Из этого следует, что при такой выдержке между заливками гарантированно не произойдет гидродинамическое перемешивание чугунов внутри литейной формы, отсутствие которого является важным условием получения отливки с дифференцированными свойствами. Таким же образом время кристаллизации можно определить и для случаев с более высокими температурами заливки в исследуемом диапазоне толщин стенок. Для проверки полученных результатов и проведения дальнейших экспериментов установлены временные интервалы между этапами заливки на уровне 30, 60, 90 и 120 с.

В результате проведенных экспериментов установлено, что дифференциация структуры и свойств в отливке обеспечивается при интервале между последовательными заливками на уровне 60 с и выше. При выдержке между этапами заливки 120 с на поверхности залитой первой порции расплава образуется оксидная пленка, которая приводит к частичному расслоению отливки в месте соединения слоев после выбивки формы. Также излучение тепла открытой поверхностью расплава способствует потере прочности формовочной смеси, расположенной над расплавом, ее отслоению и осыпанию на зеркало, что приводит к образованию дефектов в виде песчаных раковин между слоями чугунов при различном интервале выдержки. Однако предотвратить осы-

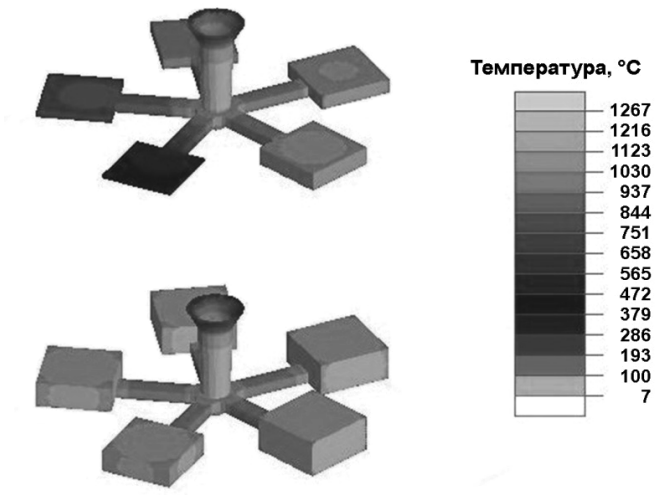

Рис. 2. Схема моделирования процесса заливки и кристаллизации чугуна

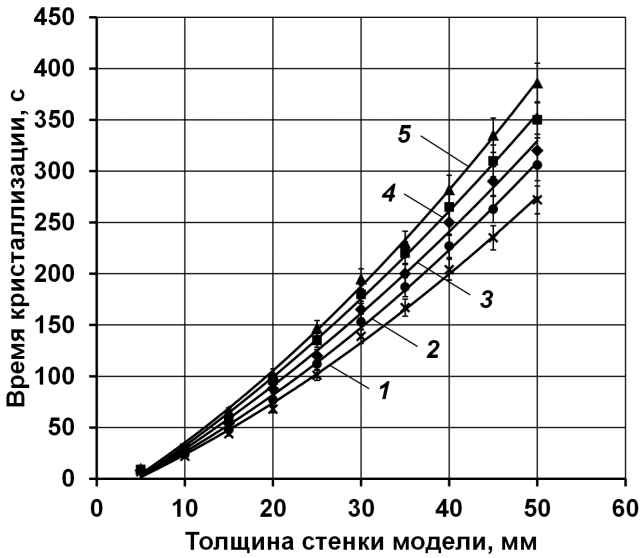

Рис. 3. Влияние толщины стенки модели на время кристаллизации при различных температурах заливки: *1* – 1300 °С; *2* – 1350 °С; *3* – 1400 °С; *4* – 1450 °С; *5* – 1500 °С

пания формовочной смеси можно, используя такие технологические приемы, как окрашивание рабочей полости верхней полуформы, использование облицовочных смесей повышенной прочности, применение добавок, повышающих прочность формовочной смеси, и т. д., что положительно сказывается на получении качественного соединения слоев в отливках с интервалом выдержки между последовательными заливками до 120 с.

По виду макроструктуры излома в верхней и нижней части отливки установлено, что равномерные по толщине слои белого и высокопрочного чугуна с бездефектной переходной зоной обеспечивает выдержка между этапами последовательной заливки на уровне 60–90 с. В микроструктуре нижней части отливки, кристаллизация чугуна в которой происходила по метастабильной системе, наблюдаются включения твердых составляющих, таких как структурно свободный цементит и ледебуритная эвтектика, которые равномерно распределены в перлитной металлической матрице. Переходная зона между слоями объединяла дендриты цементита, включение ледебуритной эвтектики и включения графита шаровидной формы в перлитной металлической матрице. В микроструктуре верхнего слоя наблюдались включения графита шаровидной формы в ферритной оторочке в перлито-ферритной металлической матрице (рис. 4).

Дифференциация структуры по сечению отливки подтверждается изменением твердости. Установлено, что при получении отливок с сочетанием слоев белого и высокопрочного чугуна, разница твердости между верхней и нижней плоскостями отливки находиться на уровне 230–280 НВ. При этом твердость поверхности высокопрочного слоя отливки в литом состоянии составляет 210–218 НВ, а твердость поверхности слоя белого чугуна – 447-480 НВ. Следует отметить, что при времени выдержки между этапами заливки 30 с, разница в твердости различных слоев отливки практически отсутствует вследствие их перемешивания в литейной форме (рис. 5), а с учетом возможности образования дефектов в переходной зоне и, как следствие, расслоению отливки, выдержка 120 с и более нецелесообразна даже при положительных результатах дифференциации структуры в разных ее слоях.

Установлено, что в полученных по такой технологии двухслойных чугунных отливках из белого и высокопрочного чугуна, размер переходной зоны по плоскости контакта между слоями находится в диапазоне от 690 до 875 мкм (рис. 6). При этом сама переходная зона характеризуется отсутствием каких-либо дефектов, связанных с образованием пор и раковин, а также оксидных включений, которые возможны в отливках, полученных по схожим технологиям, что позволяет обеспечить качественное

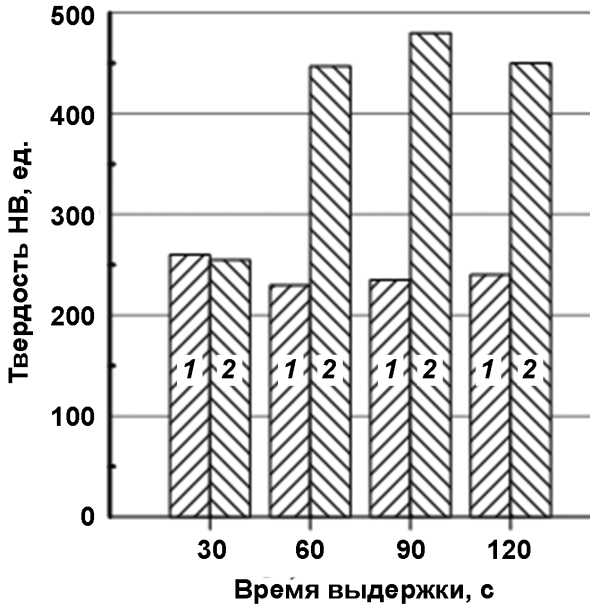

Рис. 5. Влияние времени выдержки между этапами последовательной заливки на твердость слоев отливки: *1* – слой высокопрочного чугуна; *2* – слой белого чугуна

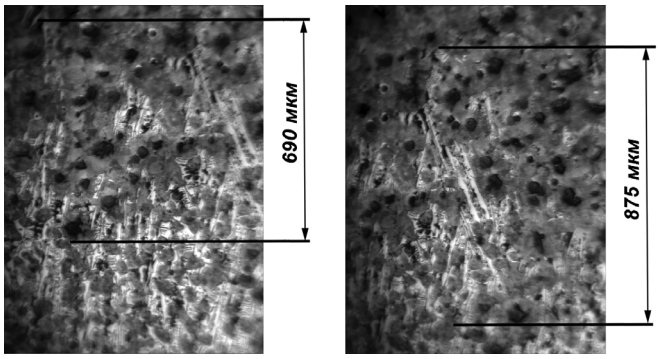

Рис. 6. Микроструктура переходной зоны двухслойной чугунной отливки

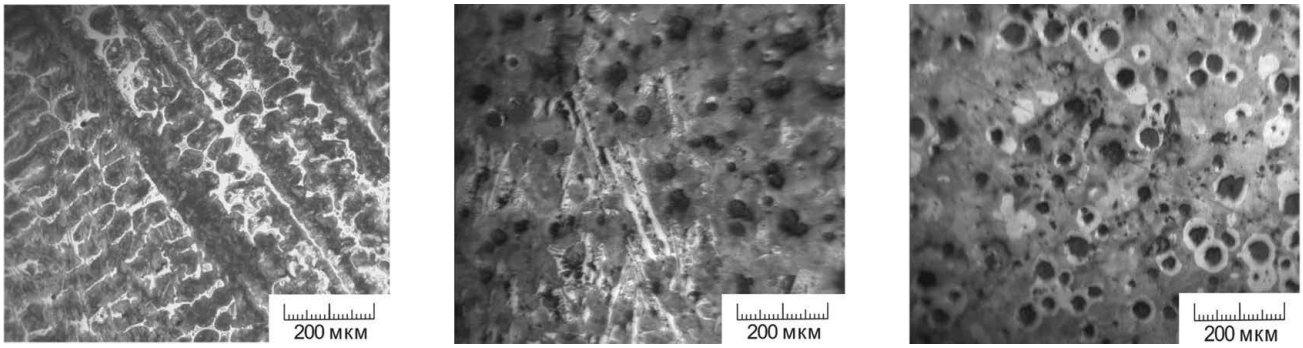

Рис. 4. Микроструктуры в различных частях отливки: *а* – нижний слой; *б* – переходная зона; *в* – верхний слой

соединение слоев и надежную работу отливки в условиях износа.

Выводы

Результаты компьютерного моделирования полностью подтверждаются результатами исследований и доказывают целесообразность разработанной технологии получения чугунных отливок с дифференцированными свойствами для работы в условиях абразивного и ударно-абразивного износа. Установлено, что возможность дифференциации в отливке обеспечивается условиями не смешивания чугунов, поочередно залитых в литейную форму, что обеспечивается кристаллизацией первого слоя отливки достаточной толщины за определенное время. С помощью моделирования определены временные рамки между этапами заливки и проведены эксперименты, в результате которых получены отливки с дифференцированными свойствами. Также, в результате проведенных экспериментов, даны рекомендации касательно технологии литейной формы, которые минимизируют возможный брак по ее вине. Установлено, что исследуемая технология позволяет получить переходную зону между слоем белого чугуна и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом размером до 1 мм, в состав которой входят включения цементита, ледебурита и шаровидного графита в перлитной металлической матрице.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гарбер М.Е.* Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.
2. *Каричковский П.Н., Шинский И.О., Клименко Л.М.* Способы повышения технического ресурса, эксплуатационной надежности рабочих органов дробильно-размольного оборудования. *Металл и литье Украины*. 2009. № 7–8. С. 56–60.
3. *Костенко Г.Д., Пеликан О.А., Болгар С.А., Костенко Д.Г.* Износостойкие биметаллические отливки на основе сплавов железа. *Металл и литье Украины.* 1998. № 9–10. С. 30–33.
4. *Костенко Г.Д., Диюк Л.М., Костенко Д.Г., Пеликан О.А., Болгар С.А., Клименко Л.М.* Исследование физико-химических процессов при формировании биметаллических отливок на основе железоуглеродистых сплавов. *Процессы литья.* 2006. № 3. С. 37–41.
5. *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.
6. *Фесенко М.А., Фесенко А.Н.* Перспективные направления использования метода внутриформенного модифицирования расплава для изготовления отливок с заданными эксплуатационными свойствами. *Литье и металлургия.* 2013. № 4(73). С. 35–41.
7. *Фесенко М.А.* Новые технологии изготовления отливок модифицированием чугуна в литейной форме. *Металл и литье Украины.* 2014. № 11. С. 10–16.
8. Пат. № 41383 U200811908, B22 D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурою і властивостями / А.М. Фесенко, М.А. Фесенко, В.О. Косячков, К.В. Ємельяненко; заявл. 07.10.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10, 2009.
9. *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. 7–12.
10. Пат. № 27681 U200707328, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з дифференційованами властивостями / Фесенко М.А., Косячков В.О. Фесенко А.М; заявл. 02.07.2007; опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18, 2007.
11. *Yong-chang Zhu, Zun-jie Wei, Shou-fan Rong, Hong-wei Wang, Chun-ming Zou.* Formation mechanism of bimetal composite layer between LCS and HCCI. *China foundry.* 2016. Vol. 13, № 6. P. 396–401.

Поступила 04.04.2019

REFERENCES

1. *Garber, M.E.* (2010). Wear-resistant white cast irons: properties, structure, technology, operation. Moscow: Mashinostroenie, 280 p. [in Russian].
2. *Karychkovsky, P.N., Shynsky, I.O., Klymenko, L.M.* (2009). Methods of increasing of the technical resource, operation reliability of the working parts of crushing-and-milling equipment. *Metall i lit'e Ukrainy,* no. 7–8, pp. 56–60 [in Russian].
3. *Kostenko, G.D., Pelikan, O.A., Kostenko, D.G.* (1998). Wear-resistant bimetallic castings based on iron alloys. *Metall i lit'e Ukrainy,* no. 9–10, pp. 30–33 [in Russian].
4. *Kostenko, G.D., Diuk, L.M., Kostenko, D.G., Pelikan, O.A., Bolgar, S.A., Klimenko, L.M.* (2006). Study of physico-chemical processes in the formation of bimetallic castings based on iron-carbon alloys, *Casting processes,* no. 3, pp. 37–41 [in Russian].
5. *Shiryaev, V.V., Pelikan, O.A., Shynsky, 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].

6. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.N.* (2013). Promising areas of use of the method of in-mold modification of the melt for the manufacture of castings with specified operating properties. *Lit'e i metallurgiya*. *Casting and metallurgy*, no. 4(73), pp. 35–41 [in Russian].
7. *Fesenko M.A.* (2014). New technologies for production of castings by in-mold inoculation. *Metall i lit'e Ukrainy,* no. 11, pp. 10–16 [in Russian].
8. *Fesenko, A.M., Fesenko, M.A., Kosiachkov, V.O., Yemelianenko, K.V.* (2009). Patent no. 41383 U200811908, V22 D27/00. Method of making castings with differentiated structure and properties. Zaiavl. 07.10.2008, opubl. 25.05.2009, Biul. no. 10 [in Ukrainian].
9. *Fesenko, M.A., Fesenko, A.N., Kosiachkov, V.A.* (2010). In-mold modification for the production of cast iron castings with differentiated structure and properties. *Liteinoe proizvodstvo,* no. 1, pp. 7–12 [in Russian].
10. *Fesenko, M.A., Kosiachkov, V.O., Fesenko, A.M.* (2007). Patent no. 27681 U200707328, B22D27/00. Method of making castings with differentiated properties. Zaiavl. 02.07.2007, opubl. 12.11.2007, Biul. no. 18 [in Ukrainian].
11. *Yong-chang Zhu, Zun-jie Wei, Shou-fan Rong, Hong-wei Wang & Chun-ming Zou* (2016). Formation mechanism of bimetal composite layer between LCS and HCCI. *China foundry*, Vol. 13, no. 6, pp. 396–401 [in English].

Received 04.04.2019

Анотація

І.В. Лук'яненко, асистент, e-mail: lukianenkoiv@gmail.com, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1043-9688, ResearcherID: J-7294-2017

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Дослідження технологічних параметрів процесу отримання чавунних виливків для роботи в умовах зношування

У роботі дано детальний опис стану питання щодо актуальності підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів, які працюють в умовах інтенсивного абразивного і ударно-абразивного зношування. Викладено основні актуальні напрямки вирішення цієї проблеми. Висвітлено переваги використання біметалів у світовій і вітчизняній практиці, а також наведено основні групи методів, які характеризуються спільністю технологічних прийомів, виробництва біметалів і багатошарових матеріалів з використанням ливарних технологій. Детально розглянуто спосіб отримання виливка з різними структурою і властивостями в різних його частинах з розплаву чавуну одного хімічного складу для роботи в умовах абразивного і ударно-абразивного зношування. Ґрунтуючись на даному способі, проведено дослідження технологічних факторів, які впливають на отримання чавунних виливків з диференційованими властивостями, а саме тимчасового інтервалу між етапами заливання ливарної форми. Виходячи з результатів первинного експерименту, було застосовано метод комп'ютерного моделювання процесів заливання і кристалізації розплаву, який, після додаткової математичної обробки, дозволив визначити ймовірні межі тимчасового інтервалу витримки між заливаннями. В результаті проведення подальших експериментів підтверджено результати комп'ютерного моделювання та визначено оптимальні тимчасові рамки досліджуваного інтервалу витримки. Також в роботі наведено дані щодо структурних складових, які утворилися в різних частинах виливка, в тому числі в перехідній зоні між шаром високоміцного чавуну з кулястим графітом і білого чавуну. Отримано дані стосовно твердості робочого шару виливка і шару основи, а також встановлено розміри перехідного шару, який утворюється при використанні досліджуваної технології виробництва.

Ключові слова

Абразивне зношування, білий чавун, високоміцний чавун з кулястим графітом, внутрішньоформове модифікування, двошаровий чавунний виливок, диференційовані властивості, лиття в піщано-глинисті форми, перехідна зона, реакційна камера, ударно-абразивне зношування.

I.V. Lukianenko, assistant, e-mail: lukianenkoiv@gmail.com,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1043-9688, ResearcherID: J-7294-2017

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

Research of technological parameters of the process of iron castings obtaining for work in wearing conditions

Summary

The paper provides a detailed description of the state of the issue, which concerns the relevance of improving the wear resistance of machine and mechanisms parts operating under conditions of intense abrasive and impact-abrasive wear. The basic actual directions of the solution of this problem are stated. The advantages of using bimetals in the global and domestic practice are highlighted, and the main groups of methods that are characterized by common technological methods, production of bimetals and multilayer materials using casting technologies are given. Considered in detail the method of producing castings with different structures and properties in different parts of it from a cast iron melt of the same chemical composition for work under conditions of abrasive and impact-abrasive wear. Based on this method, studies of technological factors that affect the production of iron castings with differentiated properties, namely the time interval between the steps of pouring the mold, have been carried out. Based on the results of the primary experiment, a method of computer simulation of the processes of melt pouring and crystallization was applied, which, after additional mathematical processing, made it possible to determine the probable limits of the exposure time interval between the pouring. As a result of further experiments, the results of computer simulation were confirmed and the optimal time frames of the exposure interval under study were determined. The paper also presents data on structural components that were formed in different parts of the casting, including the transition zone between a layer of ductile cast iron and white cast iron. Data were obtained regarding the hardness of the working layer of the casting and the base layer, as well as the dimensions of the transition layer, which is formed when using the production technology under investigation, are established.

Keywords

Abrasive wear, white cast iron, ductile cast iron, in-mold modification, two-layer cast iron casting, differentiated properties, sand-clay mold casting, transition zone, reaction chamber, impact-abrasive wear.