

И. В. Лукьяненко, ассистент, <http://orcid.org/0000-0002-1043-9688>,
e-mail: Lukianenkoiv@gmail.com

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

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Представлен краткий обзор такого класса конструкционных материалов, как материалы с дифференцированными свойствами, тенденция применения которых в промышленности постоянно возрастает. Приведены их основные свойства, области применения и преимущества при использовании. На основе предложенной технологии получения отливок с дифференцированными свойствами из чугуна проведен анализ параметров технологического процесса. Описаны базовые принципы технологии проведения внутриформенного модифицирования и выбор гранулометрического состава модификатора и общей конфигурации литниковой системы. Представлены условия и результаты проведения эксперимента по отработке технологических параметров процесса получения чугунной двухслойной отливки с дифференцированными свойствами для работы в условиях абразивного износа. Установлены параметры технологического процесса, при которых обеспечивается получение в отливке необходимой микроструктуры и механических свойств, а именно создание таких условий, при которых, после первого этапа заливки в рабочем слое отливки обеспечивается кристаллизация чугуна по метастабильной системе с отбелом, а в остальной части отливки, после второго этапа заливки – по стабильной системе с образованием микроструктуры серого чугуна с включениями графита пластинчатой формы. С помощью металлографического анализа исследованы переходные зоны, которые образуются в местах соединения слоев чугунной отливки, и непосредственно сами слои, а именно их размеры, морфология графитных и цементитных включений, а также металлическая матрица. Установлены механические свойства структурных составляющих, как в переходной зоне, так и в каждом слое по отдельности, а также установлено их количество в этих же частях отливки.

Ключевые слова: абразивный износ, белый чугун, внутриформенное графитизирующее модифицирование, двухслойная чугунная отливка, дифференцированные свойства, литье в песчано-глинистые формы, переходная зона, реакционная камера, серый чугун.

Материалы с дифференцированными свойствами являются важным классом конструкционных материалов, обладающих широким спектром и уникальным сочетанием ценных свойств: прочность, коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, жаропрочность, износостойкость и т. п. Эти материалы находят все большее применение в различных отраслях промышленности. Применение металлических композиций с дифференцированными свойствами позволяет не только повысить надежность и долговечность большой номенклатуры деталей и оборудования, но и существенно сократить расход дорогостоящих легирующих элементов, снизить энергоемкость производства и металлоемкость изделий, затраты на техническое обслуживание, производство запчастей и ремонт оборудования. Из таких композиций изготавливают биметаллические или полиметаллические листы, прутки, трубы, детали различной конфигурации различными способами, в том числе и литьем. Особенно актуально применять в качестве способа изготовления деталей с дифференцированными свойствами, которые работают в условиях износа, именно литье. Наиболее распространенным конструкционным материалом в промышленности для производства отливок, работающих в условиях износа, является белый, отбеленный и легируемый чугун, который применяют в рабочем слое деталей такого рода. При этом основу детали делают из этого ма-

териала экономически нецелесообразно [1]. В то же время существуют проблемы, связанные с технологическим процессом получения качественных двухслойных чугуновых отливок, работающих в условиях абразивного износа, и отработкой его параметров.

Целью данной работы является отработка технологических параметров процесса получения двухслойных чугуновых отливок с дифференцированными свойствами для работы в условиях износа. Сущность процесса заключается в поэтапной заливке литейной формы чугуном одного химического состава через независимые литниковые системы, одна из которых состоит из реакционной камеры с измельченным модификатором для проведения внутриформенного модифицирования чугуна (Inmold-процесс), что в свою очередь позволяет обеспечить дифференциацию свойств в отливке [2, 3].

Важным фактором при разработке литейной технологии с применением Inmold-процесса является выбор состава и фракции модификатора, а также проектирование литниковой системы, которая, в первую очередь, должна обеспечивать растворение модификатора в потоке чугуна и улавливание продуктов реакции модифицирования расплава чугуна с модификатором. Исследования по установлению этих технологических параметров проводились как зарубежными, так и отечественными учеными [3–5].

По результатам этих исследований установлена необходимость использования сужающейся литниковой системы с центробежным шлакоуловителем, которая увеличивает эффективность улавливания продуктов реакции модифицирования и уменьшает вероятность образования дефектов в отливке [5].

Наилучшие результаты при производстве мелких чугуновых отливок были получены с использованием модификатора, гранулометрический состав которого находится в пределах от 1 до 5 мм [3, 5], что позволяет стабилизировать скорость растворения в пределах от 1,5 до 2 мм/с после окончания примерно одной секунды от начала модифицирования [5].

При размерах частиц модификатора 1 мм и меньше с наличием пылевидной составляющей часть, которая контактирует с жидким чугуном, спекается, а остаток сохраняется в реакционной камере в исходном виде, и лишь незначительная его часть растворяется в потоке чугуна. При использовании модификатора с размерами частиц около 10 мм расплав смачивает весь объем модификатора, который начинает растворяться с задержкой в несколько секунд, достигая скорости растворения от 2 до 3 мм/с, что ограничивает его применение при изготовлении чугуновых отливок массой до 25 кг [5].

В то же время важным фактором при проектировании литниковой системы является взаимное расположение каналов, по которым расплав подводят к реакционной камере и отводят от нее, а также непосредственно форма самой камеры [5, 6].

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 с модификатором и после модифицирования заполнял оставшуюся часть полости литейной формы.

Отработка технологических параметров заключалась в использовании реакционных камер кубической и цилиндрической формы, а также в подводе расплава к торцевым и боковым сторонам отливки (рис. 1).

В качестве исходного материала был выбран чугун с углеродным эквивалентом на уровне 3,1–3,2 %, кристаллизация которого в условиях заливки в сухую песчано-глинистую форму проходит по метастабильной системе в отливках с толщиной сечения от 30 до 50 мм [7]. Для обеспечения получения в отливке слоя чугуна с пластинчатым графитом в реакционную камеру литниковой системы поместили измельченный

графитизирующий модификатор ФС75 с размером фракции от 1 до 5 мм. Дозировку первой порции расплава исходного чугуна проводили ручным ковшом, рабочие размеры которого обеспечивали необходимое количество расплава.

Экспресс-оценку результатов эксперимента проводили визуальным методом по виду макроструктуры излома в верхней и нижней части чугунной отливки в центральном ее сечении. Дополнительную информацию получали, используя металлографический анализ и определяя механические свойства образцов.

Во всех опытах исходный (немодифицированный) чугун кристаллизовался по метастабильной системе с белым крупнокристаллическим изломом. Значительное количество цемента и ледебуритной эвтектики в сочетании с дисперсными продуктами распада первичного аустенита в микроструктуре обеспечивали твердость поверхностного рабочего слоя отливки на уровне от 410 до 450 НВ. В результате проведения внутриформенного графитизирующего модифицирования исходного расплава, который заливали на втором этапе через вторую литниковую систему, верхний слой отливки кристаллизовался по стабильной системе с образованием чугуна с пластинчатым графитом в перлитной металлической матрице (рис. 2).

Следует отметить, что образец, представленный на рис. 2, был получен путем заливки с использованием литниковой системы с подводом расплава к торцевым стенкам отливки. Такой подвод, предположительно, частично предотвращал гидродинамическое перемешивание чугунов в процессе заливки литейной формы через вторую литниковую систему и, в итоге, давал более стабильные результаты. В данных условиях эксперимента существенных различий полученных результатов при использовании реакционной камеры кубической или цилиндрической формы не наблюдалось.

Установлено, что в полученных по такой технологии двухслойных чугунных отливках из белого и серого чугуна размер переходной зоны по плоскости контакта между слоями находится в диапазоне от 203 до 503 мкм (рис. 3). При этом сама переходная зона характеризуется отсутствием каких-либо дефектов, отливки

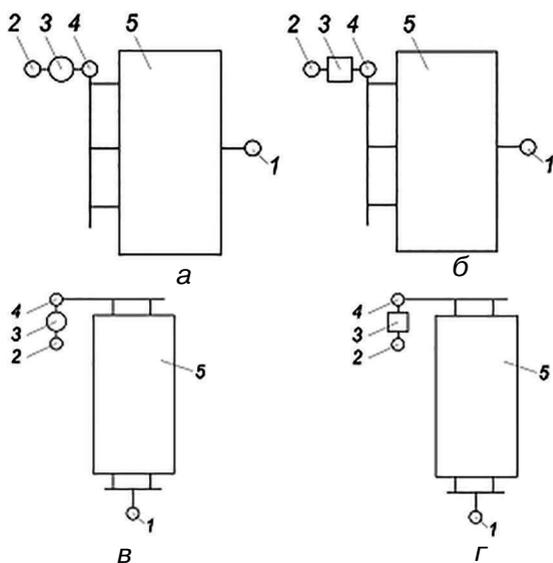


Рис. 1. Схемы технологических вариантов получения отливок с использованием цилиндрической (а, в) и кубической (б, г) реакционных камер при подводе расплава к боковым (а, б) и торцевым (в, г) сторонам отливки: 1 – первая литниковая система; 2 – вторая литниковая система; 3 – реакционная камера; 4 – шлакоуловитель; 5 – отливка

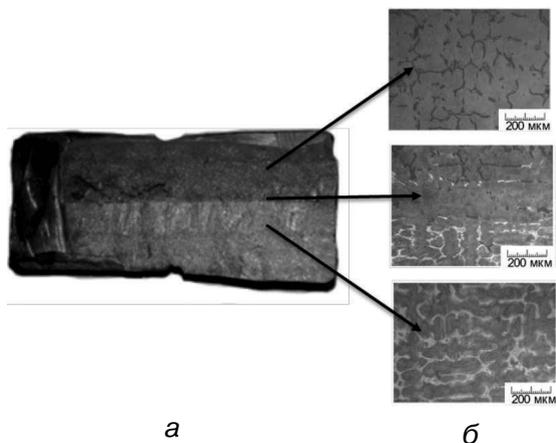


Рис. 2. Общий вид макроструктуры излома (а) и микроструктуры (б) двухслойной чугунной отливки

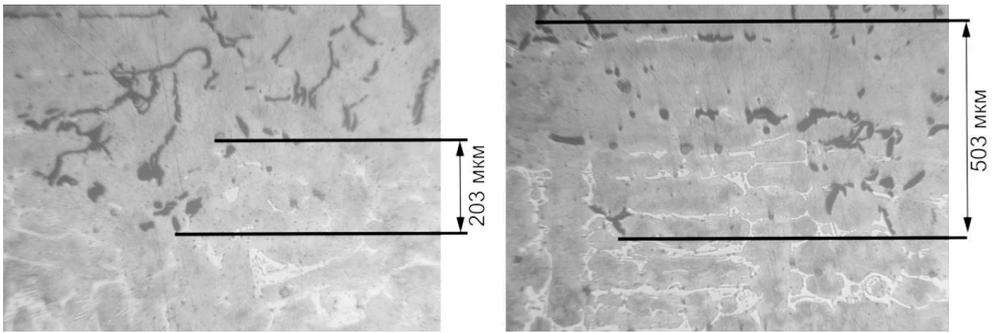


Рис. 3. Микроструктура переходной зоны двухслойной чугуновой отливки

связанных с образованием газовых и усадочных пор, а также оксидных включений, которые возможны в отливках, полученных по этой технологии.

Также в результате проведенных исследований были определены микротвердости отдельных структурных составляющих обоих слоев и переходной зоны отливки, а также проведена их количественная оценка в процентах от занимаемой площади на микрошлифе (рис. 4).

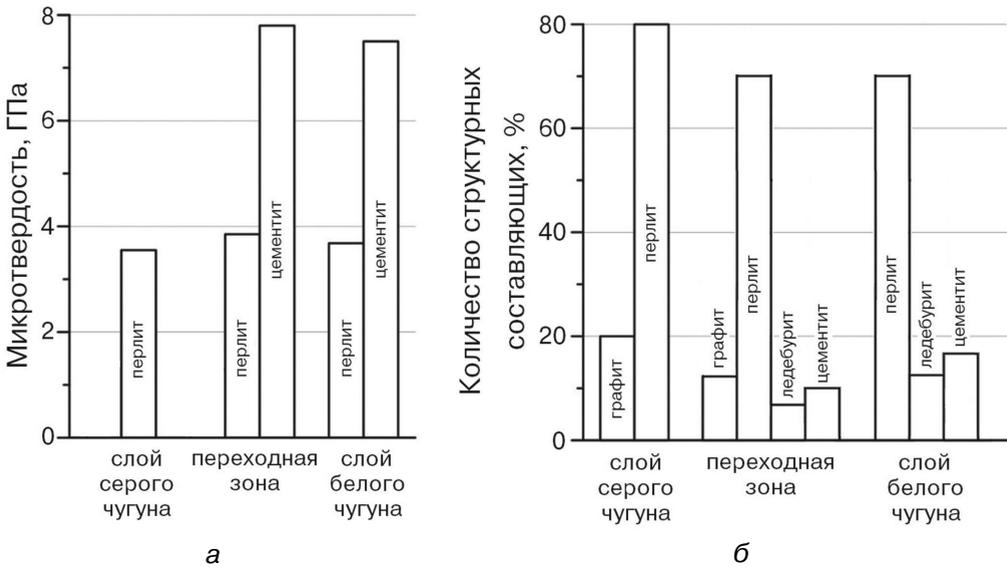


Рис. 4. Микротвердость (а) и количественный анализ структурных составляющих (б) двухслойной чугуновой отливки

Выводы

Проведена отработка технологических параметров получения чугуновых отливок с дифференцированными свойствами для работы в условиях абразивного износа. Определены механические свойства отливки, микротвердость и количественный состав структурных составляющих. Разница в способе подвода металла незначительна, однако для выбранных условий эксперимента лучше себя зарекомендовал технологический вариант с подводом расплава к торцевым стенкам отливки, при котором наблюдаются более стабильные результаты дифференциации слоев, что положительно влияет на качество полученных отливок и отсутствие в них дефектов, связанных с перемешиванием слоев. Установлено, что применение исследуемой технологии позволяет получать качественные чугуновые отливки без дефектов в области соединения слоев.

Список литературы

1. Скляр В. А. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : учеб. пос. / В. А. Скляр. – Донецк : ДонНТУ, 2014. – 224 с.
2. Фесенко М. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированными структурой и свойствами / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков // Литейное производство. – 2010. – № 1. – С. 7–12.
3. Фесенко М. А. Графитизирующее модифицирование чугуна в литейной форме / М. А. Фесенко, В. А. Косячков, А. Н. Фесенко, И. В. Лукьяненко, Е. В. Фесенко // Металл и литье Украины. – 2015. – № 10 (269). – С. 10–15.
4. Pietrowski S. Influence of reaction chamber shape on cast-iron spheroidization process in-mold / S. Pietrowski // Archives of foundry engineering. – 2010. – Т. 10. – № 1. – С. 115–122.
5. Pokusova M. Gating system for in-mold technology / M. Pokusova, M. Murgas // Archives of foundry. – 2006. – Т. 6. – № 18. – С. 21–26.
6. May Thu Zar Myint. Study on the effect of weight percentage variation and size variation of magnesium ferrosilicon added, gating system design and reaction chamber design on in-mold process / May Thu Zar Myint, Kay Thi Lwin // International journal of materials and metallurgical engineering. – 2008. – Т. 2. – № 12. – С. 377–382.
7. Патент №27681 U 2007 07328, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими властивостями / Фесенко М. А., Косячков В. О. Фесенко А. М. – Заявл. 02.07.2007; опубл. 12.11.2007, Бюл.№18, 2007.

Поступила 15.03.2019

References

1. Skljar, V. A. (2014) Innovative and resource-saving technologies in metallurgy. Doneck: DonNTU [in Russian].
2. Fesenko, M. A., Fesenko, A. N., & Kosjachkov, V. A. (2010). In-mold modification for the production of cast iron castings with differentiated structure and properties. Litejnoe proizvodstvo, Vol. 1, pp. 141–146 [in Russian].
3. Fesenko, M. A., Kosjachkov, V. A., Fesenko, A. N., Lukianenko, I. V., Fesenko, E. V. (2015) In-mold Graphitizing Modification of Cast Iron. Metall i lit'jo Ukrainy, Vol. 10, pp. 10–15 [in Russian].
4. Pietrowski, S. (2010) Influence of reaction chamber shape on cast-iron spheroidization process in-mold. Archives of foundry engineering, Vol. 10, Is. 1, pp. 115–122 [in English].
5. Pokusova, M., Murgas, M. (2006) Gating system for in-mold technology. Archives of foundry, Vol. 6, Is. 18, pp. 21–26 [in English].
6. May Thu Zar Myint & Kay Thi Lwin (2008) Study on the effect of weight percentage variation and size variation of magnesium ferrosilicon added, gating system design and reaction chamber design on in-mold process. International journal of materials and metallurgical engineering, Vol. 2, Is. 12, pp. 377–382 [in English].
7. Fesenko, M. A., Kosjachkov, V. O., Fesenko, A. M. Patent №27681 U 2007 07328, V22D27/00. Method of making castings with differentiated properties. Zjavl. 02.07.2007; opubl. 12.11.2007, Bjul.№18, 2007.

Received 15.03.2019

I. В. Лук'яненко, асистент, <http://orcid.org/0000-0002-1043-9688>,

e-mail: Lukianenkoiv@gmail.com

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

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДВОШАРОВИХ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Представлено короткий огляд такого класу конструкційних матеріалів, як матеріали з диференційованими властивостями, тенденція застосування яких в промисловості постійно зростає. Наведено їх основні властивості, області застосування та переваги при використанні. На основі запропонованої технології отримання виливків з диференційованими властивостями з чавуну проведено аналіз параметрів технологічного процесу. Описано базові принципи

технології проведення внутрішньоформового модифікування і вибір гранулометричного складу модифікатора та загальної конфігурації ливникової системи. Представлено умови і результати проведення експерименту з відпрацювання технологічних параметрів процесу отримання чавунного двошарового виливка з диференційованими властивостями для роботи в умовах абразивного зношування. Встановлено параметри технологічного процесу, при яких забезпечується отримання у виливку необхідної мікроструктури і механічних властивостей, а саме створення таких умов, при яких, після першого етапу заливання, в робочому шарі виливка забезпечується кристалізація чавуну за метастабільною системою з вибіленням, а в іншій частині виливка, після другого етапу заливання, – за стабільною системою з утворенням мікроструктури сірого чавуну з включеннями графіту пластинчастої форми. За допомогою металографічного аналізу досліджено перехідні зони, які утворюються в місцях з'єднання шарів чавунного виливка, і безпосередньо самі шари, а саме їх розміри, морфологію графітних і цементитних включень, а також металеву матрицю. Встановлено механічні властивості структурних складових, як в перехідній зоні, так і в кожному шарі окремо, а також встановлено їх кількість в цих же частинах виливка.

Ключові слова: абразивне зношування, білий чавун, внутрішньоформове графітизуюче модифікування, двошаровий чавунний виливок, диференційовані властивості, лиття в піщано-глинясті форми, перехідна зона, реакційна камера, сірий чавун.

I. V. Lukianenko, assistant, <http://orcid.org/0000-0002-1043-9688>,
e-mail: Lukianenkoiv@gmail.com

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

FEATURES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING TWO-LAYER CAST IRON CASTINGS WITH DIFFERENTIATED PROPERTIES

A brief review of the class of construction materials is presented as materials with differentiated properties, the tendency of which in industry is constantly increasing. Their main properties, their areas of application and advantages in use are given. On the basis of the proposed technology for producing castings with differentiated properties from cast iron, an analysis of the process parameters is carried out. The basic principles of the technology of the in mold modification and the choice of the granulometric composition of the modifier and the general configuration of the gating system are described. The conditions and results of the experiment to work out the technological parameters of the process of obtaining a cast-iron two-layer casting with differentiated properties for working in abrasive conditions are presented. The parameters of the technological process are established under which the required microstructure and mechanical properties are obtained in the casting, namely the creation of such conditions under which, after the first casting stage, cast iron crystallizes in a metastable system with chilling in the working casting layer, after the second stage of casting, – in a stable system with the formation of the microstructure of gray iron with inclusions of lamellar graphite. With the help of metallographic analysis, transition zones, which are formed at the junctions of the cast iron layers, and the layers themselves, namely their sizes, the morphology of graphite and cementite inclusions, and the metal matrix, are investigated. The mechanical properties of the structural components were established both in the transition zone and in each layer separately, and their number in the same parts of the casting was also established.

Keywords: abrasive wearing, white cast iron, in mold graphitizing modification, two-layer cast iron casting, differentiated properties, sand-clay mold casting, transition zone, reaction chamber, gray cast iron.