

УДК 621.74.002.6

© Сусло Н.В.\*

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ЧУГУНА КОМПЛЕКСНЫМИ БРИКЕТИРОВАННЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ НА ЕГО СВОЙСТВА**

*Приведена технология обработки чугуна разработанными комплексными модификаторами в виде брикетов. Проведена серия экспериментов по изучению влияния комплексного модификатора, введенного в виде брикета в чугун, на его свойства. Определено рациональное содержание компонентов в брикете, которое позволяет максимально использовать модифицирующий эффект и улучшить эксплуатационные свойства чугуна, такие, как твердость, ударо- и износостойкость. Изучены способы деструкции брикета в металле. Исследовано влияние количества органической связки на деструкцию брикета и связанное с этим время его растворения в расплаве.*

**Ключевые слова:** брикет-модификатор, связующее, модифицирование, графитизация, макроструктура, чугун, температура.

**Сусло Н.В. Дослідження впливу обробки чавуну комплексними брикетованими модифікаторами на його властивості.** Приведена технологія обробки чавуну розробленими комплексними модифікаторами у вигляді брикетів. Проведена серія експериментів по вивченню впливу комплексного модифікатора, введенного у вигляді брикету в чавун, на його властивості. Визначений раціональний вміст компонентів в брикеті, який дозволяє максимально використовувати модифікуючий ефект і поліпшити експлуатаційні властивості чавуну, такі, як твердість, ударо- і зносо- стійкість. Вивчені способи деструкції брикету в металі. Досліджено вплив кількості органічної зв'язки на деструкцію брикету і пов'язаний з цим час його розчинення в розплаві.

**Ключові слова:** брикет-модифікатор, зв'язка, модифікування, графітизація, макроструктура, чавун, температура.

**N.V. Suslo. Research of complex briquetted modifiers influence on cast iron properties.** Such properties of cast iron as hardness and shock resistance are relevant and have been investigated. Some possible ways to improve these properties have been studied and solutions to the assigned tasks in accordance with modern trends have been found. The use of nano-dispersed modifiers is most promising in modification. The compositions of experimental complex briquetted modifiers have been developed. The technology of cast iron processing with complex briquetted modifiers has been developed. A series of experiments on the effect of a complex briquetted modifier introduced into cast iron on its properties were carried out. The rational content of components in the briquette that makes maximum use of the modifying effect and improves such service characteristics of cast iron as hardness, impact - and wear-resistance has been defined. Ways of a briquette destruction in metal have been explored. The effect of an organic binder amount on the destruction of a briquette and its dissolution in the melt has been investigated. Rational composition of the briquetted modifier that makes it possible to increase hardness and impact resistance of cast iron has been developed.

**Keywords:** modifier, connective, retrofitting, graphitization, macrostructure, cast-iron, temperature.

**Постановка проблемы.** Масштаб применения чугуна для производства деталей, работающих в условиях истирающих и ударных нагрузок, очень широк (мельющие шары, валки и др.). Анализ литературных данных [1-3] относительно условий эксплуатации и стойкости таких

\* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, [suslo\\_n-v@mail.ru](mailto:suslo_n-v@mail.ru)

деталей показал, что наиболее остро стоит вопрос о повышении стойкости чугунных мелющих шаров, которые применяются на обогатительных фабриках для измельчения руды в шаровых мельницах. На криворожских горно-обогатительных комбинатах острее всего стоит вопрос износа шаров Ø 60 мм, расход которых составляет 0,5...0,8% от массы измельчаемой руды и является значительной частью (60...70%) от общей стоимости измельчения. В связи с этим повышение эксплуатационной стойкости шаров на протяжении последних десятилетий не теряет своей актуальности в мировой практике. Поэтому исследования по влиянию обработки чугуна брикетированными модификаторами на его свойства проводились на чугунных мелющих шарах.

В нынешнее время, вместо легированных дорогостоящих элементов чугунов наметилась тенденция использования обычных серых чугунов с отбеленным слоем, полученных при литье шаров в кокиль. Однако более 40% от общего объема выпуска чугунных шаров не удовлетворяет современным требованиям, что обусловлено литейными дефектами, а также крупнозернистой структурой и появлением в ней явно выраженной столбчатости. Поэтому длится поиск новых эффективных совершенствований технологий обработки чугуна, направленных на повышение его эксплуатационных свойств с меньшими экономическими расходами.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Согласно стандартам и применяемым правилам мелющие шары должны быть устойчивыми к расколу, сохранять форму при интенсивных внешних воздействиях, иметь повышенную устойчивость к истиранию и высокую твердость. Только в этом случае гарантировано качественное измельчение материалов и производство конкурентоспособной продукции с использованием мелющих тел.

Основное количество мелющих тел в промышленности стран ближнего зарубежья изготавливается из стали со свойствами в соответствии с требованиями ГОСТ 7524–89 «Шары стальные мелющие для шаровых мельниц». Однако стальные шары относительно дорогие и обладают неравномерной по объему твердостью (35–40 HRC радиуса). Неудовлетворительная их износостойкость приводит к большим безвозвратным потерям металла и значительным затратам [4].

В зарубежной практике для помола различных материалов применяют, в основном, литые шары из высоколегированных (хромистых, хромомолибденовых и хромоникелевых) чугунов. В Англии и Германии широко используют шары из «нихардов» [5]. Их высокая эксплуатационная стойкость (в 4–5 раз выше, чем стальных катаных) обусловлена наличием в их структуре значительного количества (до 40%) карбидной фазы и мартенсита [5–7]. Однако в этих чугунах высокое содержание дорогих и дефицитных легирующих элементов, что исключает их широкое применение в Украине.

В работах [5–8] были проведены теоретические и технологические исследования, включающие широкую опытно-промышленную проверку, направленные на разработку технологии производства мелющих тел из нелегированного и низколегированного чугуна со структурой, обеспечивающей высокую износостойкость и достаточную ударную стойкость отливок.

Проведенный аналитический обзор [3, 9, 10] показал, что большим резервом в повышении эксплуатационных свойств чугунов является модифицирование. Причем наиболее перспективным направлением в области модифицирования есть применение нанодисперсных модификаторов, которые эффективно влияют на кристаллизацию графитовой фазы, на первичное зерно чугуна, на фазу неметаллических включений, активизируя последнюю как дополнительные гетерогенные центры графитизации.

**Целью данной работы** является исследование влияния модифицирования чугуна брикетированными дисперсными материалами на его твердость и ударную стойкость.

**Изложение основного материала.** Для проведения исследований использовали брикеты с разными габаритными размерами и компонентами, изготовленные в лабораторных условиях (таблица). Состав брикетов подобран в результате литературного обзора [10–12]: нанодисперсный порошок карбонитрида титана (TiCN), частицы которого служат дополнительными центрами кристаллизации, измельчая дендритную структуру аустенита; алюминий, который вводится, как графитизирующий элемент с высокой теплопроводностью (составы №№ 1 и 2); в составах №№ 3 и 4 алюминий заменен гранулированным магнием-алюминиевым сплавом МАгр (92–95% Mg, 5–8% Al) для обеспечения барботажа расплава и повышения скорости растворения брикета и чугунная стружка, которая увеличивает количество центров формирования графитовых включений и плотность брикета, но увеличивает время его растворения. Все составы брикетов имели 4–5% органического связующего в виде отходов мукомольного производства.

Таблица

Состав и механические свойства разработанных составов брикет-модификаторов

№ п/п	Габаритные размеры брикетов, мм	Состав, %					Масса брикета, г
		нано-порошок TiCN	органическое связующее	Дисперсные			
				Al	MAgr	чугунная стружка	
№1	Ø 30x15	35...40	4...5	3...5	-	Ост.	40...45
№2	Ø 50x20	35...40	4...5	3...5	-	Ост.	70...75
№3	Ø 30x15	35...40	4...5	-	5...10	Ост.	40...45
№4	Ø 50x20	35...40	4...5	-	5...10	Ост.	70...75

В результате проведенных опытов относительно усвоения модификатора в зависимости от его состояния (брикет и порошкообразный) установлено, что при модифицировании брикет-модификатором (табл., состав №1), его усвоение составляет 94,7% сравнительно с 83,6% при введении модификатора TiCN в порошкообразном виде. Такое повышение усвоения модификатора обусловлено технологией ввода брикета («сэндвич-процесс») и приводит к снижению образования усадочных дефектов на 8-10%, получению глубины отбеленного слоя до 10 мм, который дает повышение твердости шаров во внешнем слое с 45 до 56 HRC, ударной стойкости с 25 до 28 ударов.

Опытно-промышленные эксперименты проводили с использованием выбранных брикетированных модификаторов для обработки чугуна в 1-тонном ковше с перегородкой «сэндвич-процессом» с дальнейшим разливанием на конвейерно-кокильной установке с расходом модификатора (TiCN) 0,03% от массы металла. Об усвоении модификатора судили по остаточному содержанию основного элемента-модификатора (Ti) в образцах, отлитых из обработанного чугуна. Результаты показали, что модифицирование чугуна брикетированными модификаторами способствует повышению твердости шаров с 45 до 59 HRC, ударной стойкости с 25 до 32 ударов. Анализ макроструктуры показал, что полученные шары имеют незначительные усадочные дефекты, которые расположены в середине и не приводят к расколу (рисунок, а-в) в сравнении с макроструктурой шара из не модифицированного чугуна (рисунок, г).

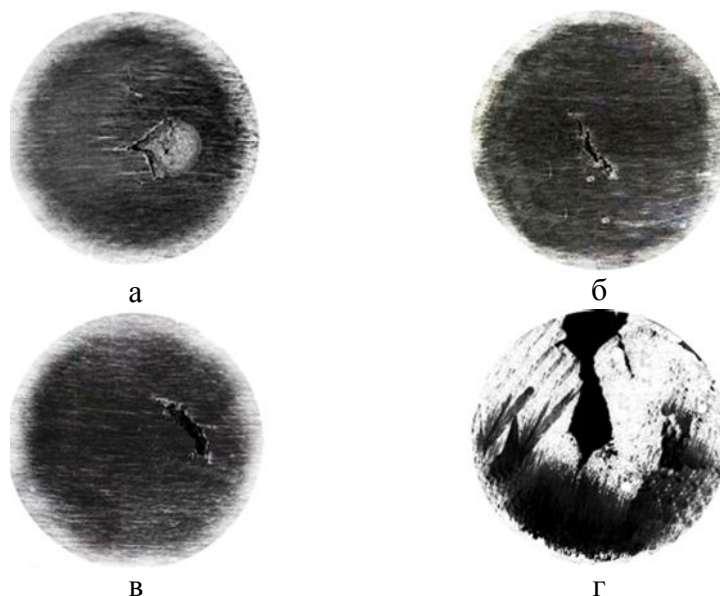


Рисунок – Макроструктура чугунных мелющих шаров: а – модифицированный брикетом № 2 (табл.); б – модифицированный брикетом №1 (табл.); в – модифицированный брикетом №3 (табл.); г – не модифицированный шар

Дополнительно исследовали влияние количества органической связки на деструкцию брикета и связанное с этим время его растворения в расплаве с целью использования полученных брикетов в производстве.

Выбранное органическое связующее является естественным полимером, в состав которого входят азотнокислые и уксуснокислые эфиры с чрезвычайно высокой реакционной способностью. Интенсивная газификация таких брикетов позволит совместить процесс их введения и растворения модификатора в расплаве с процессами повышения температуры на контакте поверхности брикета с расплавом и, за счет этого, уменьшить время растворения.

В результате проведенных экспериментов [13, 14] определили, что увеличение содержания связывающего с 4...5 до 30% способствует значительному уменьшению времени растворения брикета. Анализ результатов проведенных исследований по газификации брикетов показал, что возможны два варианта процесса его деструкции:

- разрыв тела брикета под действием внутреннего давления, связанного с выделением газов из брикета, в связи с высшей теплотворной способностью связки сравнительно с теплотворной способностью наполнителя (TiCN);

- освобождение пространства в брикете, занятого связующим (в связи с его газификацией), что приводит к повышению пористости брикета и уменьшению, в связи с этим, времени растворения брикета за счет проникновения в эти поры металла.

В результате проведенных исследований [14] предложен новый состав брикетированных модификаторов (70% нанопорошка TiCN и 30% связующего), что обусловлено их применением в производственных условиях. Данное решение принято с учетом того, что существуют сложности в применении дисперсного алюминия, который подвергается интенсивному окислению, то есть его необходимо пассивировать, что усложняет технологический процесс. Получение чугуна дисперсной стружки требует установки дополнительного оборудования. Всё это приводит к увеличению финансовых и временных затрат. Исследования влияния брикетированного модификатора предложенного состава на свойства чугуна, показали, что твердость шаров опытно-промышленной плавки из модифицированного чугуна повышается с 45 до 60 HRC, ударная стойкость с 25 до 32 ударов.

### Выводы

1. Показано, что наиболее рациональным способом повышения таких свойств чугуна, как твердость и ударная стойкость, является модифицирование нанодисперсными модификаторами в виде брикетов, что повышает степень их усвоения.

2. Установлена закономерность действия в расплаве брикетированного комплексного модификатора в зависимости от количества органического связующего в составе брикетов и газотворности брикета.

3. На основе анализа проведенных исследований разработан рациональный состав брикетированного модификатора, позволяющий повысить твердость чугуна на 33% и ударную стойкость на 27%.

### Список использованных источников:

1. Экономические предпосылки использования мелющих тел повышенного качества и технологические аспекты их производства / В.Г. Ефременко, Ф.К. Ткаченко, А.В. Вознюк, Е.С. Танчак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – 1/1 (25). – С. 22-26.
2. Основные принципы выбора материалов для изготовления мелющих тел, работающих в условиях ударно-абразивного, ударно-коррозионно-абразивного и ударно-усталостного износа / В.А. Игнатов [и др.] // Металл и литье Украины. – 2001. – № 10-11. – С. 31-34.
3. Клейс И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия : учебное пособие / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмейс. – М. : Машиностроение, 1986. – 160 с.
4. Эффективность применения в горнорудной промышленности стальных катанных мелющих шаров повышенной твердости / В.П. Кострыкин [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1986. – № 23. – С. 49-50.
5. Производство литых мелющих тел за рубежом / Д.К. Нестеров [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 1986. – № 10. – С. 22-24.

6. Агапова Л.И. Особенности структуры и свойств белого деформируемого чугуна, легированного ванадием, ниобием и титаном / Л.И.Агапова, Т.С. Ветрова, А.А.Жуков // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1982. – № 5. – С. 55-58.
7. Использование комплексно-легированных белых чугунов для изготовления литых мелющих шаров с повышенной эксплуатационной стойкостью / З.Н. Вагилев [и др.] // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации.* – 1988. – № 92. – С. 27.
8. Солнцев Л.А. Получение чугунов повышенной прочности / Л.А. Солнцев, А.М. Зайденберг, А.Ф. Малый. – Харьков : Вища школа, 1986. – 152 с.
9. Основные принципы выбора материалов для изготовления мелющих тел, работающих в условиях ударно-абразивного, ударно-коррозионно-абразивного и ударно-усталостного износа / В.А. Игнатов [и др.] // *Металл и литье Украины.* – 2001. – № 10-11. – С. 31-34.
10. Расплавление в чугуне модифицирующих брикетов / В.И. Литовка [и др.] // *Процессы литья.* – 2003. – № 1. – С. 12-17.
11. Эффективность модификаторов-брикетов и лигатур при получении отливок из ЧШГ / О.И. Шинский [и др.] // *Международный научно-технический конгресс «Литейное производство : высококачественные отливки на основе эффективных технологий».* Тезисы докладов. – Киев, 2004. – С. 11-12.
12. Куровський В.Я. Вплив компонентного складу та параметрів пресування на властивості брикетованих модифікаторів / В.Я. Куровський, Г.А. Баглюк, О.Й. Шинський // *Наукові нотатки : Міжвуз. зб. (за напрямком «Інженерна механіка»)* / ЛНТУ. – Луцьк, 2009. – Вип. 25, ч. II. – С. 128-133.
13. Сусло Н.В. Исследования по использованию наномодификаторов при производстве чугунных мелющих шаров / Н.В. Сусло, В.Т. Калинин // *Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії : Зб. наук. пр. / Нац. металургійна акад. України.* – Дніпропетровськ, 2009. – Т. 12. – С.59-65.
14. Калинин В.Т. Технологические особенности производства литых шаров повышенного качества / В.Т. Калинин, Н.В. Сусло // *Вісник КТУ.* – 2009. – Вип. 23. – С. 87-91.

#### Bibliography:

1. Economic prerequisites for the use of the grinding media increased the quality and technological aspects of their production / V.G. Efremenko, K.F. Tkachenko, A.V. Voznyuk, E.S. Tanchak // *East European journal of advanced technologies.* – 2007. – 1/1 (25). – P. 22-26. (Rus.)
2. Main the principles of selection of materials for the manufacture of grinding media, working in conditions of impact-abrasive, shock-corrosive-abrasive and shock-fatigue wear / V.A. Ignatov [et al.] // *Metal and casting of Ukraine.* – 2001. – № 10-11. – P. 31-34. (Rus.)
3. Claeys I.R. Wear elements of crushers of shock action : manual / I.R. Claeys, H.H. Uuemias. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 160 p. (Rus.)
4. Effectiveness of application in the mining industry steel rolled grinding balls high hardness / V.P. Kostykin [et al.] // *Metallurgical and mining industry.* – 1986 – № 23. – P. 49-50. (Rus.)
5. Production of cast grinding media abroad / D.K. Nesterov [et al.] // *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific and technical information.* – 1986. – № 10. – P. 22-24. (Rus.)
6. Agapova L.I. Peculiarities of the structure and properties of deformable white cast iron, alloyed with vanadium, niobium and titanium / L.I. Agapova, T.S. Vetrova, A.A. Zhukov // *Physical metallurgy and heat treatment of metals.* – 1982. – № 5. – P. 55-58. (Rus.)
7. The use of complex-alloyed white cast iron for the manufacture of cast grinding balls with high operational stability / Z.N. Vasilev [et al.] // *Ferrous metallurgy Bulletin of scientific and technical information.* – 1988. – № 92. – P. 27. (Rus.)
8. Solntsev L.A. production of high-strength cast iron / L.A. Solntsev, A.M. Zaydenberg, A.F. Malyy. – Kharkov : Vishcha shkola, 1986. – 152 p. (Rus.)
9. The main principles of selection of materials for the manufacture of grinding media, working in conditions of impact-abrasive, shock-corrosive-abrasive and shock-fatigue wear / V.A. Ignatov [et al.] // *Metal and casting of Ukraine.* – 2001. – № 10-11. – P. 31-34. (Rus.)
10. Meltdown in the iron briquettes modifying / V.I. Litovka [et al.] // *Casting process.* – 2003. – № 1. – P. 12-17. (Rus.)

11. Efficiency modifier-briquettes and ligatures in the preparation of castings from CHSHG / O.I. Shinskiy [et al.] // International of scientific and technical congress «Foundry : high-quality castings on the basis of efficient technologies». Abstracts. – Kiev : 2004. – С. 11-12. (Rus.)
12. Kurowski V.J. The impact of component composition and extrusion parameters on the properties of baled modifiers / V.J. Kurowski, G.A. Bahlyuk, O.Y. Shynskyy // Scientific notes : Interuniversity collection (in «Mechanical engineering») / LNTU. – Lutsk, 2009. – Issue 25, h. II. – P. 128-133. (Ukr.)
13. Suslo N.V. Research on the use of nanomodifiers in the production of cast iron grinding balls / N.V. Suslo, V.T. Kalinin // Naukovi visti. Suchasni problemy metalurhiyi : collection of scientific works / National metallurgical academy of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2009. – Vol. 12. – P. 59-65. (Rus.)
14. Kalinin V.T. Technological features of production of cast balls high quality / V.T. Kalinin, N.V. Suslo // Visnyk of KTU. – 2009. – Issue 23. – P. 87-91. (Rus.)

Рецензент: В.И. Засельский  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «КНУ»

Статья поступила 22.10.2015

УДК 669.162.21

© Кравченко В.П.<sup>1</sup>, Лазаревская Ю.А.<sup>2</sup>

#### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПЦ КЛИНКЕРА ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Определены химсоставы и установлена возможность получения ПЦ клинкера на основе 2-х компонентной сырьевой смеси: отвальный шлак + «хвосты» известняка. Определено процентное содержание каждого компонента и вычислена величина гидравлического модуля ( $m=2,37$ ), получаемого из данной сырьевой смеси ПЦ клинкера.*

**Ключевые слова:** доменный шлак, ПЦ-клинкер, химсостав, сырьевая смесь, гидравлический модуль.

**Кравченко В.П., Лазаревська Ю.А. Аналітичне дослідження способу отримання ПЦ клінкеру з відходів металургійного виробництва.** Визначені хімічні склади і встановлена можливість отримання ПЦ клінкеру на основі 2-х компонентної сировинної суміші: відвальні шлаки + «хвости» вапняку. Визначені відсоткові співвідношення кожного компонента і вирахована величина гідрравлічного модуля ( $m=2,37$ ), отриманого з даної сировинної суміші ПЦ клінкеру.

**Ключові слова:** доменний шлак, ПЦ-клінкер, хімсклад, сировинна суміш, гідрравлічний модуль.

**V.P. Kravchenko, U.A. Lazarevskaya. Analytical study of getting clinker from metallurgical wastes.** The opportunities to get clinker (cement) on the basis of 2-component mixtures of raw materials: waste slag + limestone (less than 10mm fraction) unsuitable for sinter production and being a technological waste of preparing raw materials for steel production have been investigated. Chemical compositions of waste slag and limestone wastes were investigated in the central laboratory at the Illych plant. The waste slag was got at the «Illych» plant while waste limestone - less than 10 mm fraction - was got in the dumps of the mine group in Komsomolsk. Taking into account chemical composition fluctuations of the waste dump slags and limestone within a few percent, the opti-

<sup>1</sup>, канд. техн. наук, зам. директора, ЧП «Эра плюс», г. Мариуполь

<sup>2</sup> ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [saddatovna@mail.ru](mailto:saddatovna@mail.ru)