

УДК 669.162.6

Б. Г. Гусейнов, Э. А. Алиев, Н. А. Гафаров*, М. Б. Бабанлы*

Азербайджанский технический университет, Баку

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку

ЧУГУННЫЙ ЛИТОЙ ШАР ДЛЯ МЕЛЬНИЦ

Рассмотрена возможность применения высококачественного чугуна для изготовления литых шаров для мельниц. Показано, что высококачественный чугун предложенного состава имеет высокие механические свойства и может быть применён в изделиях, работающих при повышенных ударных нагрузках и подвергающихся ударно-абразивному износу. В результате предложенной термообработки получены мелющие шары из низколегированного высококачественного чугуна с округлёнными включениями графита, бейнитно-троститной металлической основой и мелкодисперсной упрочняющей карбонитридной фазой бора, которые показывают высокую ударную вязкость, прочность, твёрдость и износостойкость.

Ключевые слова: литой шар для мельниц, чугун, износостойкость, ударная вязкость, изотермическая закалка.

Розглянуто можливість застосування високоякісного чавуну для виготовлення литих шарів для млинів. Показано, що високоякісний чавун запропонованого складу має високі механічні властивості і може використовуватися у виробках, які працюють з підвищеним ударним навантаженням і піддаються ударно-абразивному зносу. В результаті запропонованої термообробки отримано шари з низьколегованого високоякісного чавуну з округленими включеннями графіту і бейнітно-троститною металеву основою та дрібнодисперсною зміцнювальною карбонітридною фазою бора, які показують високу ударну в'язкість, міцність, твердість та зносостійкість.

Ключові слова: литий шар для млинів, чавун, зносостійкість, ударна в'язкість, ізотермічне загартовування.

It has been considered the possibility of using high quality cast iron for the manufacture of cast balls for mills. It has been shown that high-quality iron present composition has good mechanical properties and can be used in products operating under high impact loads and have been exposed to shock-abrasive wear. As a result of the proposed heat treatment we obtain balls of high-quality low-alloyed cast iron with rounded inclusions of graphite and bainitic-troostite metal base and fine-dispersed strengthening carbonitride phase of boron that shows impact toughness, strength, hardness and wear resistance.

Keywords: cast ball for mills, cast iron, wear resistance, impact toughness, isothermic hardening.

Шары для мельниц бывают литые, кованные и катанные. В промышленности, в основном, применяются литые шары, так как они дешевле по сравнению с другими видами. Их получают из износостойкой стали или чугуна с высокими

механическими свойствами. Используются в качестве деталей горно-обогатительного и землеройного оборудования, работающих при повышенных ударных нагрузках и подвергающихся ударно-абразивному износу, например: зубья стенки ковшей экскаваторов, брони шаровых мельниц и дробилок, ножи бульдозера.

По требованию потребителя, диаметры шаров должны быть в пределах от 20 до 160 мм. Поверхностная твёрдость шаров (HRC) должна быть от 40 до 55 и более, ударная вязкость КСЧ = 6 Дж/см² и более.

На сегодняшний день производство мелющих шаров является актуальным вопросом. Для его решения на Бакинском экспериментальном заводе по производству и ремонту погружных насосов проведены научно-исследовательские работы по поиску состава сплава для изготовления стойких к истиранию шаров, способного после переработки обеспечить высокие показатели твёрдости и срока службы при абразивном изнашивании, и низкую стоимость.

Для решения указанной задачи выплавляли высококачественный чугун по методу контролируемой плавки разработанной нами технологии [3-4], с одновременным его легированием, отливали его в песчано-глинистые формы шаров. После выставки и очистки отливки подвергли термической обработке, состоящей из отжига, изотермической закалки и отпуска.

Согласно технологии контролируемой плавки, в состав шихтовых материалов входили стальной и чугунный лом собственного производства, предельный чугун и ферросплавы по расчёту.

При этом в состав высококачественного чугуна входили следующие компоненты, %мас.: углерод – 2,0÷2,5; марганец – 1,2÷1,7; кремний – 0,8÷1,0; хром – 1,2÷1,5; алюминий – 0,01÷0,1; сера ≤ 0,035; фосфор ≤ 0,04; бор – 0,001-0,01 и железо – остальное [1].

В результате получаем мелющие шары из низколегированного высококачественного чугуна с округленными включениями графита и бейнитно-трититной металлической основной. Такая микроструктура обеспечивает их высокую твёрдость, износостойкость, прочность и вязкость, в результате чего они имеют высокую эксплуатационную стойкость и низкую стоимость.

Выплавленный чугун модифицировали ферросилицием ФС75 силико-барием СиБа30.

Такой способ получения мелющих шаров выбран на основе проведённых исследований о влиянии параметров, на разных этапах технологического процесса, состава чугуна на их структуру и свойства, а также о выборе их оптимальных значений.

Плавку чугуна осуществляли в индукционной печи ИСТ-0,25. Легирование чугуна производили в печи при его выплавке, так как при этом обеспечивается наилучшее усвоение легирующих добавок.

Отливки получили путём заливки жидкого чугуна в литейные формы. Так же из жидкого чугуна получили отливки стандартных проб, обычно используемых для определения химического состава, механических свойств и микроструктуры чугуна. Полученные отливки проб подвергали обрубке и очистке, а затем термической обработке следующим образом: при температуре 820÷840 °С выдерживали один час, затем охлаждали отливки с печью до 720÷740 °С, выдержав при этой температуре ещё один час, а потом так же при 600 °С. После этого отливки охлаждали на воздухе.

В литом состоянии эти чугуны имеют структуру пластического перлита с избыточными карбидами. Для получения необходимого количества графита проверяли графитизирующий отжиг. При этом пластинчатый перлит переходит в зернистый с округлыми включениями графита (рис. 1).

Детали из графитизированного чугуна можно применять в отожжённом состоянии и после закалки с отпуском.

В отожжённом состоянии шары имеют ударную вязкость КСЧ = 7,5 Дж/см², предел прочности – 850 МПа, твёрдость – HRC 48.

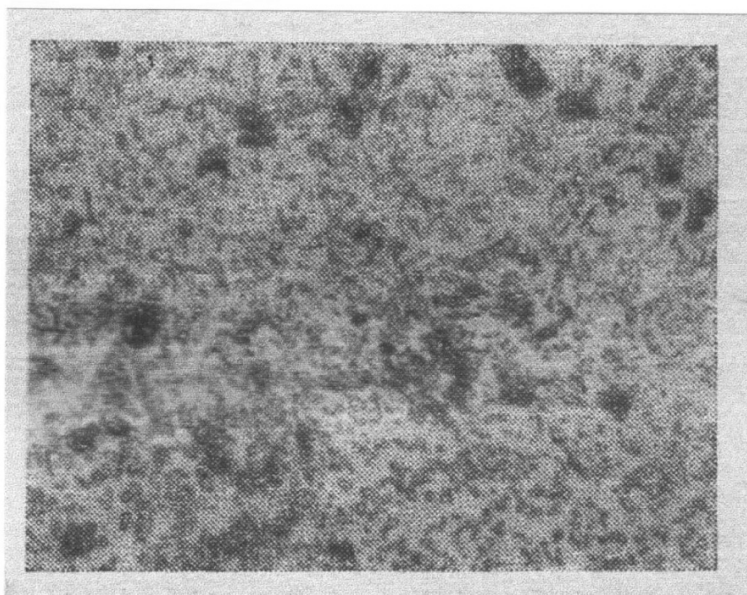


Рис. 1. Структура графитизированного чугуна (зернистый перлит + округлые включения графита), $\times 500$

С целью повышения твёрдости проводили изотермическую закалку с отпуском. При этом, отливки нагревали до температуры $1050-1060\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживали при этой температуре 15 мин и охлаждали в ванне с расплавом (свинец + сурьма) при $350\div 370\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержав при этой температуре ещё 15 мин. Затем отливки извлекали из ванны и охлаждали на воздухе. После этого провели отпуск при температуре $280\div 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержав один час, и охладили на воздухе.

Изотермическая закалка шаров с последующим отпуском при температуре $280\div 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, обеспечивает их твёрдость не менее HRC58/2. Такая твёрдость шаров достигается вследствие образования в их микроструктуре в процессе изотермической закалки и отпуска бейнитно-троститной металлической основы (рис. 2).

Химический состав, твёрдость и микроструктуру отливок проверяли стандартными методами.

Износостойкость отливок определяли путём изнашивания изготовленных из них образцов по закреплённому абразиву на машине трения. Результаты измерений приведены в таблице.

Содержание в чугуне $2,0\div 2,5\text{ \% C}$ способствует получению высокой его ударной вязкости, твёрдости, прочности и износостойкости. Снижение содержания углерода ниже указанного предела приводило к резкому снижению твёрдости и износостойкости, а повышение его содержания сверх указанного предела – к резкому снижению ударной вязкости. Состав легирующих элементов в чугуне принят такой, чтобы они усиливали положительное влияние друг друга на свойства.

Совместное содержание в чугуне таких легирующих элементов, как марганец, хром и кремний в указанных пределах, повышает его ударную вязкость, прочность, твёрдость и износостойкость вследствие упрочнения и измельчения или микроструктуры.

Содержание алюминия и кремния в чугуне принято на уровне постоянных примесей; наличие в чугуне $0,1\text{ \% Al}$ предотвращает его отбел и повышает пластичность и вязкость.

Бор образует с содержащимся в чугуне углеродом мелкодисперсную упрочняющую карбонитридную фазу, что повышает его прочность, твёрдость и износостойкость.

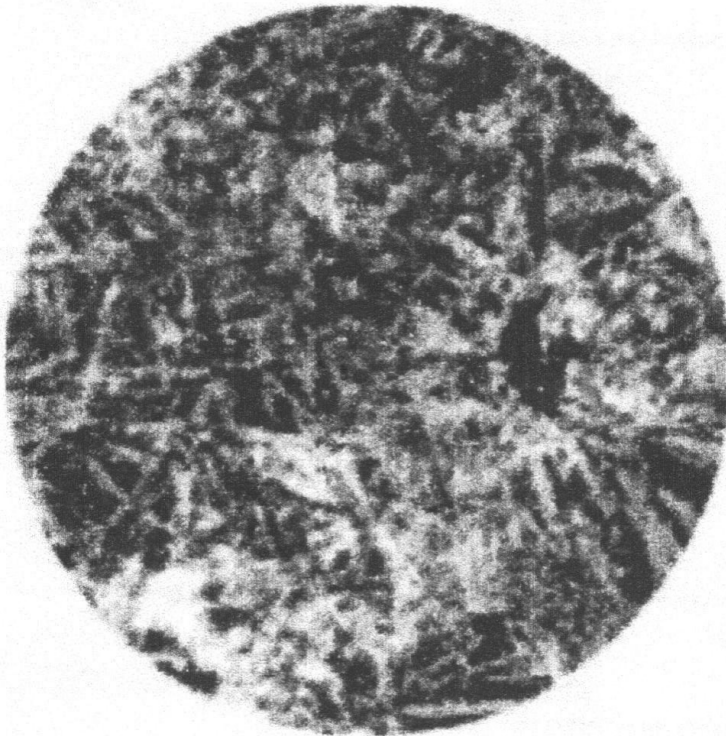


Рис.2.Микроструктура образца, подвергнутому изотермической закалке и отпуску. Травленный, $\times 500$

Способ изготовления отливок	Механические свойства						износ, г
	КСИ, Дж/см ²	HRC	σ_b , МПа	σ_0 , МПа	δ , %	Ψ , %	
Песчано-глинистая, прессованием	7,0	58	1190	905	8	15	0,002

При снижении содержания бора ниже указанного предела резко снижается положительное влияние на его свойства, а при повышении верхнего указанного предела снижается ударная вязкость.

Применение термической обработки (отжит+изотермическая закалка+отпуск) отливок в наибольшей степени способствует повышению их вязкости, твёрдости, прочности и износостойкости вследствие образования в них равновесной мелкозернистой микроструктуры, состоящей из смеси бейнитно-троситной и мелкодисперсной упрочняющей карбонитридной фазы бора, а также способствует исключению образования термических трещин, обычно сопутствующих закалке с отпуском.

Технический результат, заключается в достижении высокой ударной вязкости, прочности, твёрдости и износостойкости шаров, что повышает их эксплуатационную стойкость. Это достигается получением в отливках мелкозернистой равновесной микроструктуры, состоящей из смеси бейнитно-троситной и мелкодисперсной прочняющей карбонитридной фазы бора.



Список литературы

1. *Лахтин Ю. М.* Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтева. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
2. Патент В21Н1/14, с22с37/10 Заявитель: Акционерное общество «Кронтиф». Авторы: Лякишев Н.П. Александров Н.Н. и др.
3. *Гусейнов Б. Г.* Влияние параметров контролируемой плавки на плотность жидкого и твёрдого синтетического чугуна / Б. Г. Гусейнов. – Баку, АзТУ, 2005.
4. *Гусейнов Б. Г.* Применение высококачественного синтетического чугуна взамен чугуна «нирезист» / Б. Г. Гусейнов, М. Б. Бабанлы, Ф. С. Исмаилов // Процессы литья. – 2011. – № 3. – С. 62-66.



References

1. Lakhtin Ju. M., Leonteva V. P. (1980). Materialovedeniie. Moscow: Mashinostroeniie, 493 p. [in Russian].
2. Patent V21N1/14, s22s37/10. Akcionernoe obshhestvo «Krontif». Liakishev N. P., Aleksandrov N. N. et al. [in Russian].
3. Guseinov B. G. (2005). Vliianie parametrov kontroliruemoi plavki na plotnost' zhidkogo i tverdogo sinteticheskogo chuguna. Baku, AzTU [in Russian].
4. Guseinov B. G., Babanly M. B., Ismailov F. S. (2011). Primeneniie vysokokachestvennogo sinteticheskogo chuguna vzamen chuguna «nirezist». Kiev: Protsessy lit'ia, № 3 (87), pp. 62-66 [in Russian].

Поступила 09.03.2016