

---

# ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 669.131.7

**В. С. Дорошенко**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., e-mail: doro55v@gmail.com

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

*Описаны два способа контроля качества чугуна с шаровидным графитом в отливках. Механические свойства предложено контролировать при испытаниях литых V-образных проб, а для неразрушающего контроля оптимального сочетания структурных составляющих металла отливок при изотермической их закалке предложено использовать датчик, дающий сигнал о достижении определенного соотношения парамагнитной и ферромагнитной фаз в металле отливки.*

**Ключевые слова:** отливка, чугун с шаровидным графитом, контроль качества, литье по газифицируемым моделям, песчаная форма, изотермическая закалка, магнитные измерения.

Во ФТИМС НАН Украины разработаны и патентуются два способа контроля качества чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ), преимущественно с целью упрощения контроля и повышения стабильности качества отливок из ЧШГ, получаемых в небольших литейных цехах. Первый из рассмотренных способов также приемлем и для других сплавов, чугунов, сталей, сплавов, слитков и другой литой металлопродукции, которую можно контролировать по литым пробам. Однако он рекомендуется для ЧШГ, поскольку непродолжительное время сфероидизирующего действия модификатора (как правило, содержащего магний) в расплаве чугуна в ковше требует быстрого определения свойств металла. Также при модифицировании металла в литейной форме (инмолд-процесс) желательно иметь несложный способ контроля качества ЧШГ в каждой форме, поскольку именно в форме ЧШГ приобретает свойства, определяющие его марку.

По ДСТУ 3925-99 обозначение марки ЧШГ содержит цифровые данные минимальных значений временного сопротивления при растяжении ЧШГ и относительного удлинения  $\delta$ , которые устанавливают на цилиндрическом образце  $\varnothing 10$  и длиной 98 мм. Согласно этому стандарту образцы вырезают из литых проб, отрезая прямоугольную в сечении заготовку 25–40 мм, которая составляет около 20 % от объема литой пробы, далее на металлорежущих станках вырезают цилиндрическую пробу с ~ 90 % отходов. Иногда возможны образцы других размеров по специальному указанию на чертеже отливки.

Такое определение качества ЧШГ по стандарту достаточно сложное, что затрудняет изготовление из него отливок, особенно в малых и средних литейных

цехах. Только при наличии механообрабатывающего оборудования, аппаратуры и подготовленного персонала для изготовления проб и испытаний на них можно получить показатели марки (качества) металла, который будет уже в отливках, потому что нельзя долго держать металл в ковше и определить его качество стандартным способом из-за выгорания магния в ковше. Поэтому основания, что из ковша заливается в литейную форму ЧШГ нужной марки, весьма ненадежны, если исходить из требований указанного ДСТУ; а косвенные признаки качества ЧШГ перед заливкой его в форму, которыми пользуются большинство отечественных литейщиков, являясь субъективными с невысокими гарантиями низкого брака отливок.

Сложность определения качества ЧШГ по ДСТУ 3925-99, вероятно, является одной из причин, что производство отливок из ЧШГ в отечественном объеме выпуска литья в несколько раз ниже, чем в мировой практике [1]. Для сокращения продолжительности испытаний – контроля качества металла путем сравнения с такими же образцами с заранее определенными свойствами автором предложено отливать пробы V-образной формы. Затем испытывать их в литом состоянии сжатием и сгибанием свободных концов двух ветвей с уменьшением угла между ними до их стыка, а такую V-пробу следует отливать с тем большим углом между двумя ветвями V, чем больше величина  $\delta$  по марке ЧШГ.

Отливание V-образных проб значительно упростит их испытания, как описано ниже. Использовали то обстоятельство, что ЧШГ получают модифицированием жидкого исходного чугуна, который до модифицирования, по сути, является чугуном с пластинчатым графитом (ЧПГ), если бы его разлили в формы без модифицирования, то есть он является серым чугуном. В ЧПГ острые пластины графита уменьшают живое сечение металлической матрицы чугуна, являются концентраторами напряжений и вызывают трещины. ЧПГ имеет  $\delta < 0,5-1,0\%$ , ЧШГ –  $\delta \geq 2-22\%$ , поэтому ЧПГ хрупкий и при сгибании пробы ломается, а ЧШГ вязкий и при сгибании пробы гнется. На свойствах ЧПГ и ЧШГ основывается сравнение свойств проб. Сжатием V-пробы и сгибанием концов ее двух ветвей определяют, ломается или сгибается проба. Чем больше величина  $\delta$  ЧШГ, тем больше рекомендуется угол между двумя ветвями, определяемый опытным путем, а ломка хотя бы одной из этих ветвей – браковочный признак. Поскольку по ДСТУ 3925-99 испытывают образец толщиной 10 мм, то отливали V-пробы толщиной 10 мм, а для более тонкостенных отливок – по их толщине, что есть преимущество – возможность испытывать пробу, отвечающую конкретной или преимущественной (приведенной) толщине стенки отливки.

Испытывали V-пробы без обработки и специального оборудования на слесарных тисках, получая предварительные качественные характеристики. Пригодны тиски слесарные, например типа «MaxSteel», которые продают в Украине, трех моделей 1-83-066, -067 и -068 с силой сжатия 1400, 1800 и 2200 кг и раскрытия губок на 100, 125 и 150 мм. Для этого пригодны также твердомеры Бринелля при дополнительном изготовлении несложной оснастки.

Для тонкостенных проб пригодны даже ключи трубные рычажные (ГОСТ 18981-73): ключ рычажный КТР-3 7813-0003 для труб с внешним  $\varnothing$  20–63 мм (размер зева) или ключ КТР-1 7813-0001 для труб  $\varnothing$  10–36 мм. Периодическими подкручиваниями гайки уменьшают размер зева при сжатии V-проб рычагом ключа даже без отделения их от литниковой системы отливки. Последнее удобно для прилитых проб при инмолд-процессе. Предложенный способ (заявка на патент в Украине № u201807146 от 25.06.2018) не является стандартным, и необходимо отливать и испытывать стандартные пробы. Однако, в ряде случаев, отработав соответствие показателей V-подобных и стандартных проб для конкретных отливок и условий литейного цеха («набрав статистику или базу данных»), с высокой степенью вероятности можно судить о наличии ЧШГ требуемой марки в литой пробе и проводить дополнительные испытания на стандартной пробе, если испытания V-пробы не показали положительного результата.

Аналогичная V-проба предложена для сварных швов металлоизделий с выбором

угла между ветвями и привариванием одной ветви. Если при испытании проба гнется, то шов – удовлетворительного качества, если трещина по шву – шов слабый.

Второй способ относится к неразрушающему контролю отливок из ЧШГ при термообработке в бейнитном интервале температур и предложен для литья ЧШГ по газифицируемым моделям (ЛГМ) в сочетании с термообработкой отливок при удалении их из литейной песчаной формы в аустенитном состоянии [2]. При такой термообработке с литого состояния отливки извлекают из литейных форм при температуре 850–1000 °С и в течение 5–15 с переносят их на закалку с изотермической выдержкой (austempering) при температуре, определяемой требуемым типом структуры, в частности, нижнего или «бескарбидного» бейнита – аусферрита (ausferrite) для ЧШГ с пределом прочности на растяжение  $\sigma_b = 1000\text{--}1400$  МПа. Получив шаровидный графит в отливках при кристаллизации, используют известные режимы термообработки отливки, включая скорости охлаждения при закалке и температуры изотермической выдержки. Таким образом, сочетая свойства металла, формы из сухого сыпучего песка при ЛГМ и термообработки, повышают механические свойства ЧШГ до уровня конкурентоспособности с конструкционной сталью.

Логика такого способа изотермической закалки ЧШГ из литого состояния состоит в том, чтобы не потерять аустенитную структуру ЧШГ после его затвердевания в песчаной литейной форме, а быстро извлечь из нее горячую отливку, закалить, избежав образования перлита, продуктов эвтектоидного превращения, а затем подвергнуть изотермической выдержке в бейнитном интервале температур для диффузионного превращения части аустенита в игольчатый феррит. В результате получают аусферрит с указанной выше прочностью.

Быстрое извлечение горячих отливок весьма несложно при ЛГМ в контейнерных песчаных формах без связующего, упрочняющее действие которого заменено вакуумированием песка [3]. Текучий сухой песок форм при отключении вакуума от формы не препятствует удалению отливок и во многих случаях замедляет их охлаждение. Кроме того, после закалки (например, спрейерным охлаждением или окунанием в воду) отливок (вместо традиционных для изотермической закалки жидких сред в виде расплавов солей) нагретый песок используют для изотермической выдержки в нем отливок. При этом отливку в аустенитном состоянии как бы повторно формуют в нагретый песок в контейнере с ТЭНами для поддержания заданной изотермы [2].

Замена жидких нагреваемых технологических сред на сыпучие песчаные среды упростила разработку способов контроля металла для оптимизации режимов изотермической закалки. По аналогии со способом определения содержания остаточного аустенита – парамагнитной фазы в образцах из стали методом измерения силы притяжения постоянного магнита к объекту контроля [4], предложен датчик определения содержания остаточного аустенита в ЧШГ (заявка на патент в Украине № u20108120 от 23.07.2018). В области магнитных измерений для неразрушающего контроля качества металлопродукции для двух образцов одинаковой массы, эталонного образца и образца, подлежащего контролю, известны методы измерения силы притяжения к этим образцам постоянных магнитов с идентичными характеристиками через одинаковые воздушные зазоры при сравнении полученных сигналов.

Аналогичный по принципу действия датчик скобой, струбциной или зажимом (как для сварочных работ) предложено крепить к стенке отливки (с аустенитной структурой), помещаемой в песчаную среду для изотермической выдержки в температурном интервале бейнитного превращения, расположенного ниже перлитного, но выше мартенситного превращений. Обычно это интервал 300–500 °С. Датчик имеет подвижный магнит, расположенный с минимальным зазором к отливке и удерживаемый механическим или магнитным способом с определенной силой. По мере

изотермической выдержки и распада аустенита в отливке нарастает ферромагнитная фаза с увеличением силы притяжения к ней подвижного магнита. При достижении определенной величины этой силы магнит движется к отливке, замыкает контакт электрической цепи с источником светового или звукового сигнала о накоплении необходимого количества магнитной фазы (например, игольчатого феррита) и прекращении изотермической выдержки. Отливку, согласно технологическому режиму изотермической закалки, извлекают из горячего песка и охлаждают на воздухе. Силу фиксирования магнита в датчике (например, удерживаемым упругой силой пружины с регулируемым растяжением) устанавливают, поместив датчик на отливку с известным содержанием аустенита и находящейся в тех же условиях, что и контролируемая отливка [5].

Литье и испытание V-образной пробы также приемлемо для оценки механических свойств бейнитных чугунов.

По мнению автора, способы литья создаются, чтобы их было много, и литейщику можно было бы выбрать или усовершенствовать какой-либо из них для своей специфики литья.

### **Список литературы**

1. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С. Производственные и номенклатурные тренды отливок из чугуна с шаровидным графитом // Литейное производство. – 2017. – № 7. – С. 28–32.
2. Пат. 123731 Україна, МПК B22 D7/00, B22 D23/00, C21D5/02, C21D1/20, B22 D27/04. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом / В. С. Дорошенко, В. О. Шинський. Опубл. 2018, Бюл. № 5.
3. Дорошенко В. С. О получении аусферритного чугуна из литого состояния при ЛГМ-процессе // Процессы литья. – 2017. – № 4. – С. 35–43.
4. Пат. 93590 Україна, МПК G01N 27/72, G01R 33/12, G01B 7/00. Спосіб визначення вмісту залишкового аустеніту у зразках з інструментальних сталей / К. С. Богдан, Ю. В. Моїсєєв, А. О. Санкін. Опубл. 2011, Бюл. № 4.
5. Дорошенко В. С. Возможности литья чугуна с шаровидным графитом по газифицируемым моделям с изотермической закалкой отливок // Литейное производство. – 2017. – № 11. – С. 7–14.

Поступила 01.08. 2018

### **References**

1. Gnatush, V. A., Doroshenko, V. S. (2017) Production and nomenclature trends of castings from ductile iron with nodular graphite. Liteynoe proizvodstvo, no. 7, pp. 28–32 [in Russian].
2. Pat. 123731 Ukraine, MPK B22 D7/00, B22 D23/00, S21D5/02, S21D1/20, B22 D27/04. A method of making castings of bainite or ausferritic ductile iron with nodular graphite. V. S. Doroshenko, V. O. Shynskyi. 2018, Biul. no. 5.
3. Doroshenko, V. S. (2017) On the obtaining of ausferritic ductile iron from the cast state at the LFC process. Protsessy litya, no. 4, pp. 35–43 [in Russian].
4. Pat. 93590 Ukraine, MPK H01N 27/72, H01R 33/12, H01B 7/00. A method for determining the content of residual austenite in samples from instrumental steels. K. S. Bohdan, Yu. V. Moiseiev, A. O. Sankin. Opubl. 2011, Biul. no. 4.
5. Doroshenko, V. S. (2017) Casting possibilities for cast iron with nodular graphite for gasifying patterns with isothermal hardening of castings. Liteynoe proizvodstvo, no. 11, pp. 7–14. [in Russian].

Reseived 01.08.2018

## **РОЗРОБКА СПОСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ**

*Описано два способи контролю якості чавуну з кулястим графітом у виливках. Механічні властивості запропоновано контролювати при випробуваннях литих V-подібних проб, а для неруйнівного контролю оптимального поєднання структурних складових металу виливків при ізотермічному їх загартуванню запропоновано використовувати датчик, що дає сигнал про досягнення певного співвідношення парамагнітної і феромагнітної фаз в металі виливка.*

**Ключові слова:** виливок, чавун з кулястим графітом, контроль якості, лиття по моделях, що газифікуються, піщана форма, ізотермічне гартування, магнітні вимірювання.

**V. S. Doroshenko**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,  
e-mail: doro55v@gmail.com

Physico-technological institute of metals and alloys NAS of Ukraine, Kyiv

## **DEVELOPMENT OF METHODS FOR QUALITY CONTROL OF DUCTILE IRON WITH SPHEROIDAL GRAPHITE**

*Two methods for controlling the quality of spheroidal graphite cast iron in castings are described. Mechanical properties are suggested to be checked during testing of cast V-shaped samples, and for non-destructive testing of the optimal combination of structural constituents of cast metal at isothermal quenching (austempering) it is proposed to use a sensor that signals a certain ratio of the paramagnetic and ferromagnetic phases in the cast metal.*

**Keywords:** casting, spheroidal graphite ductile iron, quality control, Lost Foam casting, sand mold, isothermal hardening, austempering, magnetic measurements.