

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. №1 (151). С.3-6.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №1 (151). P.3-6.

Научная статья  
УДК 621.74.628:669.131.6  
doi: 10.30987/2223-4608-2024-3-6

### Контроль прочности серого чугуна электрографическим способом

Георгий Николаевич Миненко, к.т.н.  
Ресурсный центр отраслевого машиностроения Московской области,  
Люберцы, Россия  
minenko1946@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2839-2045>

**Аннотация.** Представлена методика опытов на экспериментальной установке по определению величин электрического сопротивления в процессе кристаллизации чугуна. Дана схема экспериментальной установки, в которой для определения величины удельного электрического сопротивления кристаллизующегося чугуна использована измерительная схема на основе мостовой схемы метода Уитстона. Фиксирование результатов измерений во времени позволило построить графическую зависимость изменения значений удельного электрического сопротивления в процессе кристаллизации серого чугуна. Приведены экспериментальные данные изменения значений удельной электропроводности образца серого чугуна в процессе кристаллизации и их связи с величиной переохлаждения расплава этого сплава. Полученная зависимость дала возможность выявить на кривой изменения величины удельного электрического сопротивления в процесс охлаждения чугунного образца участки, связанные с переохлаждением расплава чугуна. Соотношение начальных и конечных величин удельного электрического сопротивления периода переохлаждения чугуна позволило вычислить значения относительного удельного электрического сопротивления. Измерения прочностных свойств чугунов показали, что они функционально связаны со значением относительного удельного электрического сопротивления серого чугуна, определяемого величиной переохлаждения расплава чугуна. Использование данного метода позволит прогнозировать прочностные свойства серого чугуна и даст возможность снизить величину брака отливок по механическим свойствам, что повысит рентабельность литейного производства.

**Ключевые слова:** технологический процесс, серый чугун, кристаллизация, электрическое сопротивление, величина переохлаждения, относительное электросопротивление, электрографический способ, прочностные свойства чугуна

**Для цитирования:** Миненко Г.Н. Контроль прочности серого чугуна электрографическим способом // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 1 (151). С. 3–6. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-6

### Strength control of grey cast iron by electrographic method

Georgy N. Minenko, Ph.D. Eng.,  
Resource Center for Industrial Engineering of the Moscow region,  
Lyubertsy, Russia  
minenko1946@mail.ru

**Abstract.** The experimental procedure carried out on a test installation to determine the electrical resistance value in the process of crystallization of cast iron is presented. A scheme of a test installation using a measuring circuit based on the Wheatstone bridge circuit to determine the electrical resistance value of crystallized cast iron is given. Recording measured data over time allowed constructing a graphical dependence of the change in the values of specific electrical resistance during the crystallization of gray cast iron. Experimental data on changes in the values of the specific electrical conductivity of a sample of gray cast iron during crystallization and their relationship to the amount of supercooling of the melt of this alloy are presented. The obtained dependence made it possible to identify on the curve of specific electrical resistivity change under supercooling of cast-iron test sample those areas, which were

exposed to the cast-iron melt supercooling. The ratio of the initial and final values of the electrical resistivity under supercooling of cast iron allowed calculating the values of the relative electrical resistivity. Measurements of cast iron strength have shown that they are functionally related to the value of the relative electrical resistivity of gray cast iron, determined by the degree of supercooling of the cast iron melt. The use of this method will make it possible to predict gray cast iron strength and will allow reducing the amount of castings defective in terms of mechanical properties and at the same time increasing foundry production profitability.

**Keywords:** technological process, grey cast iron, crystallization, electrical resistance, supercooling value, relative electrical resistivity, electrographic method, cast iron strength

**For citation:** Minenko G.N. Strength control of grey cast iron by electrographic method / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 1 (151). P. 3–6. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-6

Технологические процессы получения серого чугуна имеют особенности связанные с тем, что химический состав этих чугунов рекомендуется при нормировании величин их прочности [1]. Прочность серого чугуна определяет марку, поэтому особенную актуальность приобретает решение вопроса контроля прочностных свойств чугуна, находящегося ещё в жидком состоянии.

При заданной температуре металлического расплава литейного сплава значение его электрического сопротивления  $R$ , используя определение [2, 3], можно описать уравнением:  $R = f(R_1 R_2 R_3)$ , где  $R_1$  – электрическое сопротивление примесей в сплаве;  $R_2$  – электрическое сопротивление центров кристаллизации;  $R_3$  – электрическое сопротивление при заданной температуре.

Для определения величин электросопротивления  $R$  расплава чугуна использовали мостовую схему метода Уитстона [4]. Экспериментальная установка позволяла измерять величину  $R$  при переходе образца серого чугуна из жидкого в твёрдое состояние с точностью измерения 0,650 %. Данная установка с образцами чугуна диаметром 30 мм (рис. 1)

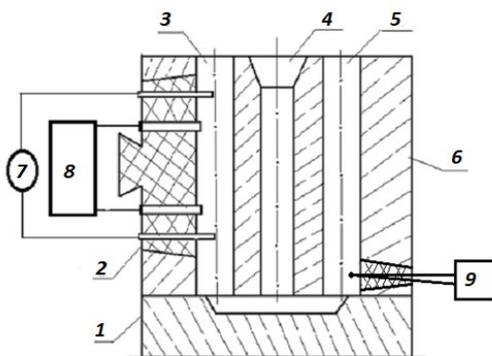


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по определению влияния величин электросопротивления чугуна на прочность серого чугуна

Fig. 1. Scheme of a test installation to determine the effect of the electrical resistance of cast iron on gray cast iron strength

Установка состоит из: 1 – нижняя литейная полуформа; 2 – измерительная ячейка, выполненная из стержневой смеси; 3 – полость литейной формы для образца чугуна с диаметром 30 мм; 4 – стояк формы с чашей; 5 – полость литейной формы для вторых образцов серого чугуна; 6 – верхняя литейная полуформа. Для подвода к полости образца переменного электрического поля  $U_{\text{пер}}$  от звукового генератора (ЗГ-17) 7 использовали вольфрамовые электроды диаметром 8,0 мм. Со второй пары вольфрамовых электродов диаметром 6,0 мм марки ВА измеряемое напряжение  $U_{\text{изм}}$  с мостовой схемы 8 передавалось на потенциометр с автоматической записью показаний. Для определения температуры заливки чугуна в литейную форму применяли вольфрам-рениевую термопару 9 типа ВР-5/20.

Постоянные значений измерительной ячейки  $K$  потенциальных электродов 8 определяли по отношению расстояния между измерительными электродами  $L_{\text{изм}}$  (внутренние электроды ячейки с  $U_{\text{изм}}$ ) и величины площади продольного сечения электродов  $S$ , т. е.

$$K = \frac{L_{\text{изм.}}}{S} \quad (1)$$

Значения  $K$  при измерениях с помощью использованного датчика величин электрического сопротивления  $R$  металлического расплава в испытываемых образцах чугуна были одинаковы.

Величину  $R$  рассчитывали по формуле:

$$R = R_{\text{н}} \frac{R_{\text{к}}}{r}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{н}}$  – величина нормального сопротивления в мостовой схеме;  $R_{\text{к}}$  – значение сопротивления в мостовой схеме в момент компенсации величины  $U_{\text{изм}}$ ;  $r$  – сопротивление постоянного плеча мостовой схемы.

Результаты экспериментов выявили, что во временном интервале от  $\tau_1$  до  $\tau_2$  (рис. 2) наблюдается период переохлаждения чугуна, который характеризуется величиной

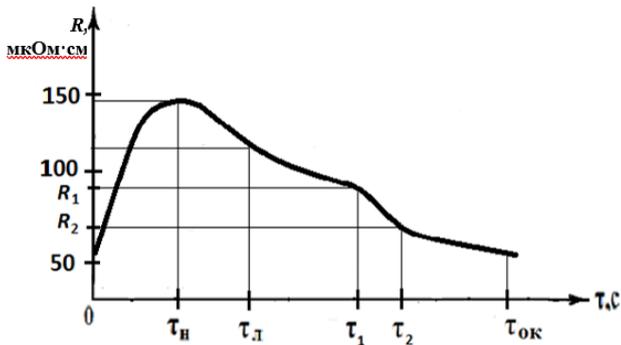


Рис. 2. Зависимость изменения электросопротивления расплавов серого чугуна  $R$  от времени кристаллизации сплава  $\tau$

Fig. 2. Dependence of the change in electrical resistance of gray cast iron plates  $R$  on the crystallization time of the alloy  $\tau$

электросопротивления  $R_{пер}$  сплава. Значение  $R_{пер}$  определяется разностью величин  $R_1$  и  $R_2$  и зависит от степени переохлаждения чугуна, зависящей от уровня энергии необходимой для протекания процесса образования кристаллов твёрдой структуры в металлическом расплаве чугуна [5, 6].

По результатам экспериментов была построена графическая зависимость изменения величин предела прочности  $\sigma_B$  чугуна от относительного электросопротивления  $\Delta R$  сплава (рис. 3).

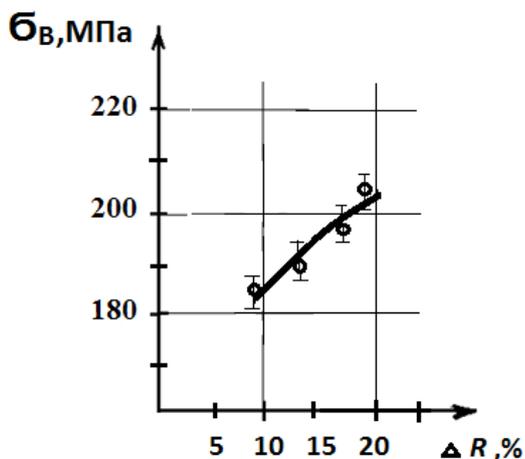


Рис. 3. Зависимость прочностных свойств серых чугунов  $\sigma_B$  от относительной величины сопротивления  $\Delta R$

Fig. 3. Dependence of gray cast iron strength  $\sigma_B$  on relative value of resistance  $\Delta R$

В качестве параметра  $\Delta R$  было использовано процентное отношение разности значений  $R_1$  и  $R_2$  к величине  $R_1$ , т. е.

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{R_1} 100 \%$$

Эта зависимость показала, что значения прочностных свойств серых чугунов повышаются при росте относительной величины сопротивления  $\Delta R$ . Увеличение  $\Delta R$  можно объяснить наличием примесей и количеством центров кристаллизации графита и первичного аустенита в жидком сплаве, влияющих на величину электрического сопротивления серого чугуна.

Как известно [6 – 8], процесс кристаллизации серого чугуна непосредственным образом влияет на образование структуры сплава, что определяет его физические свойства. Изменения условий процесса кристаллизации чугунов, определяемые величиной переохлаждения расплава чугуна [9, 10], приводят к изменению значений относительного электросопротивления  $\Delta R$ , зависящих от количества токоносителей, примесей и состояния твёрдой фазы в кристаллизующемся сплаве. Повышении величины переохлаждения расплава приводит к росту количества центров кристаллизации в единице объёма расплава чугуна, что связано с увеличением  $\Delta R$ . Такое повышение числа кристаллов сплава делает структуру чугуна более дисперсной с более высокими прочностными свойствами. Это даёт возможность по зависимости  $\sigma_B = f(\Delta R)$  определять прочностные свойства серых чугунов, находящихся ещё в жидком состоянии [11, 12].

### Заключение

Таким образом, полученный на основе использованной методики, электрографический способ позволяет прогнозировать величину прочностных свойств серых чугунов. В условиях литейного производства возникает возможность по величине  $\Delta R$  расплава чугуна определять его прочность и при несоответствии прочностных свойств заданным значениям провести специальные технологические операции для устранения этих отклонений. Применение данного способа контроля прочности сплавов позволит также тестировать в условиях конкретного технологического процесса получение литейного сплава заданной

марки, что снизит процент брака чугунных отливок по механическим свойствам и увеличит рентабельность производства литой заготовки деталей для машиностроения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Гиршович Н.Г.** Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.: Машиностроение, 1966. 562 с.
2. **Ершов Г.С., Черняков В.А.** Строение и свойства жидких и твёрдых металлов. М.: Metallurgiya, 1978. 248 с.
3. **Вертман А.А., Самарин А.М.** Свойства расплавов железа // М.: Наука, 1969. 280 с.
4. **Физико-химические** методы исследования металлургических процессов / Филиппов С.И., Арсентьев П.П., Яковлев В.В., Крашенинников М.Г. М.: Metallurgiya, 1968. 551 с
5. **Куманин И.Б.** Вопросы теории литейных процессов. Формирование отливок в процессе затвердевания и охлаждения сплава. М.: Машиностроение, 1976. 216 с.
6. **Жидкие металлы** и их затвердевание / Сб. статей под ред. Б.Я. Любова. М.: Metallurgizdat, 1962. 434 с.
7. **Новиков В.Ю.** Физические и механические свойства металлов. М.: МИСиС, 1976. 99 с.
8. **Вилсон Д.Р.** Структура жидких металлов и сплавов. М.: Metallurgiya, 1972. 245 с.
9. **Регель А.Р., Глазов В.М.** Физические свойства электронных расплавов. М.: Наука, 1980. 296 с.
10. **Арсентьев П.П., Коледов Л.А.** Металлические расплавы и их свойства. М.: Metallurgiya, 1972. 376 с.
11. **Миненко Г.Н.** Электрографический метод прогнозирования прочностных свойств литой стали и чугуна // Литьё Украины. 2021. № 3. С. 16–18.
12. **Миненко Г.Н.** Влияние графитизации на удельную электропроводность серого чугуна // «Металлургия машиностроения». 2022. № 11. С. 10–12.

### REFERENCES

1. Girshovich N.G. Crystallization and cast-iron properties in castings // Moscow: Mashinostroenie, 1966, 562 p.
2. Ershov G.S., Chernyakov V.A. Structure and properties of liquid and solid metals // Moscow: Metallurgiya, 1978. 248 p.
3. Vertman A.A., Samarin A.M. Properties of iron melts // Moscow: Nauka, 1969, 280 p.
4. Physico-chemical methods for the study of metallurgical processes // Filippov S.I., Arsentiev P.P., Yakovlev V.V., Krashennnikov M.G. M.: Metallurgy, 1968, 551 p
5. Kumanin I.B. Issues of theory of casting processes. Formation of castings during solidification and cooling of alloy // Moscow: Mashinostroenie, 1976, 216 p.
6. Liquid metals and their solidification // Collection of articles edited by B.Ya. Lyubov. Moscow: Metallurgizdat, 1962, 434 p.
7. Novikov V.Yu. Physical and mechanical properties of metals // Moscow: MISiS, 1976, 99 p.
8. Wilson D.R. The structure of liquid metals and alloys // Moscow: Metallurgiya, 1972, 245 p.
9. Regel A.R., Glazov V.M. Physical properties of electronic melts // Moscow: Nauka, 1980, 296 p.
10. Arsentiev P.P., Koledov L.A. Metallic melts and their properties // Moscow: Metallurgiya, 1972, 376 p.
11. Minenko G.N. Electrographic method of forecasting strength properties of cast steel and cast iron // Casting of Ukraine, 2021, No. 3, pp. 16–18.
12. Minenko G.N. The influence of graphitization on the specific electrical conductivity of gray cast iron // Metallurgy of mechanical engineering, 2022, No. 11, pp. 10–12.

Статья поступила в редакцию 04.11.2023; одобрена после рецензирования 27.11.2023; принята к публикации 07.12.2023.

The article was submitted 04.11.2023; approved after reviewing 27.11.2023; assepted for publication 07.12.2023.