

Особливості виробництва і контролю якості високоякісної вуглецевої литої сталі

Г. А. Бялік, кандидат технічних наук, доцент кафедри, byalik@zp.edu.ua

В. І. Гонтаренко, кандидат технічних наук, професор кафедри, 4723697@ukr.net

Е. А. Бажміна, старший викладач кафедри, 4723@zp.edu.ua

Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя

Розроблена раціональна технологія виробництва високоякісної литої вуглецевої сталі для невеликих виливків в індукційних тигельних електропечах малої ємності.

Для визначення вмісту вуглецю та сірки замість коштовних спектральних аналізаторів, вартість яких суттєво збільшує собівартість готової продукції, пропонується заснований на методі Л (ГОСТ 1778-70) металографічний метод оцінки кількості структурних складових сталі, визначення вмісту силіцію проводиться на спеціально розробленому приладі, заснованому на методі термоелектрорушійної сили (ТЕРС).

Для реалізації металографічних методів аналізу з метою оперативного виготовлення шліфів розробили та виготовили для пробопідготовки мінілабораторію, яка містить малогабаритний відрізний верстат, одношпиндельний шліфувально-полірувальний верстат з комплектом абразивних дисків різної зернистості та фетрових шаржованих алмазною пастою полірувальних дисків, спрощений металографічний мікроскоп ММУ-3 з відеокамерою, вакуумний пробовідбірник рідкого металу в процесі плавки, прилад для визначення вмісту кремнію в сталі.

Випробувано кілька методів розрахунку ділянок структури, але був прийнятий найбільш простий і перевірений лінійний метод, розроблений на кафедрі машин і технології ливарного виробництва НУ «Запорізька політехніка». Порівняли показання вимірювань температури термопарою і пірометрів випромінювання. Останні не змінюють умов затвердіння виливків, а за швидкістю вимірювання не поступаються термопарам. Розрахунок і приготування шихти здійснювали стандартними методами з використанням приладів високої точності. Проведені дослідження дозволили отримати точні дані про структуру і якісні показники заготовок або виливків.

Тестування розробленої технології підтвердило можливість раціональної витрати якості шихтових матеріалів, гарантований хімічний склад і стабільні показники готових виробів.

Ключові слова: тигельна піч, шихта, плавка, температура, структура, лінійний метод.

В Україні за умов ринкової економіки очікується збільшення чисельності малих підприємств, у тому числі промислових, які вироблятимуть сталеві литі деталі машинобудівного призначення невеликої маси. При обмеженій кількості таких деталей доцільним є використання плавильних агрегатів малої ємності.

Методи дослідження та контролю якості металів

Плавильний контроль передбачає комплекс спостережень і випробувань сталі даної плавки до її призначення у валове виробництво з метою:

- встановлення якості сталі даної плавки і її придатності для виготовлення певних виливків в машинобудуванні;
- передбачення можливості виявлення дефектів в напівфабрикаті або в готовому виробі і в визначенні необхідних заходів для запобігання браку за хімічним складом, макро- і мікроструктурою готових виробів. При виплавці сталі в великих печах потрібне відповідне обладнання і стаціонарні дорогі контрольні прилади у вартісному відношенні, що визначають ці характеристики, та відповідний обслуговуючий персонал.

За умов плавки в малих печах доцільно застосування більш простого методу контролю і забезпечення якості металу.

Багаторічний досвід роботи на малих тигельних електропечах в ливарній лабораторії кафедри «Машини і технологія ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка» передбачає ряд технологічних і організаційних заходів для зниження собівартості виливків.

В першу чергу слід визначити необхідну масу металу з урахуванням ливникової системи для одержання певної кількості виливків при заданій ємності тигля електропечі. Далі треба визначити вміст у вихідній шихті вуглецю, силіцію, марганцю і сірки. Найбільш придатними для цього є цифрові спектральні прилади для експрес аналізу. Але вартість таких приладів складає сотні тисяч гривень, що при відносно малих обсягах виробництва суттєво підвищить на собівартість виробів.

Існують спрощені прилади, засновані на вимірюванні ТЕРС, наприклад, ПЕККМ-ЗМ, який дозволяє визначити вміст С, Мп, Si у наступних діапазонах: С (0,5 – 3,2 %); Si (0,3 – 1,2 %); Мп (2,0 – 3,8%). Термін контролю складається з підготовки проб, що займає 10 хвилин і власне контролю – 5 секунд. За діапазонами визначення вмісту Si Si прилад ПЕККМ-ЗМ придатний тільки для аналізу чавунів, для вуглецевої сталі – непридатний.

В даній роботі для експрес-аналізу на С і S використано металографічний метод, для експрес-аналізу на Si розробили і виготовили заснований на методі ТЕРС спеціальний прилад, придатний для визначення вмісту Si в сталі від 0,1 % до 1,0 %.

Реалізація металографічних методів вмісту С і S пов'язана з оперативним виготовленням металографічних шліфів. Для цього розробили і виготовили пробопідготовчу мінілабораторію, яку розташували у спеціальній шафі безпосередньо біля індукційної електропечі.

Мінілабораторія містить малогабаритний відрізний верстат, одношпиндельний шліфувально-полірувальний верстат з комплектом абразивних дисків різної зернистості [6] і фетрових шаржованих алмазною пастою полірувальних дисків, спрощений металографічний мікроскоп ММУ-З [7] з відеокамерою, вакуумний пробовідбірник для відбирання проби рідкого металу в процесі плавки, прилад для визначення вмісту Si в сталі, пристрій для визначення температури рідкого металу.

Принципова схема пробовідбірника для відбирання проби рідкого металу наведена на рис. 1.

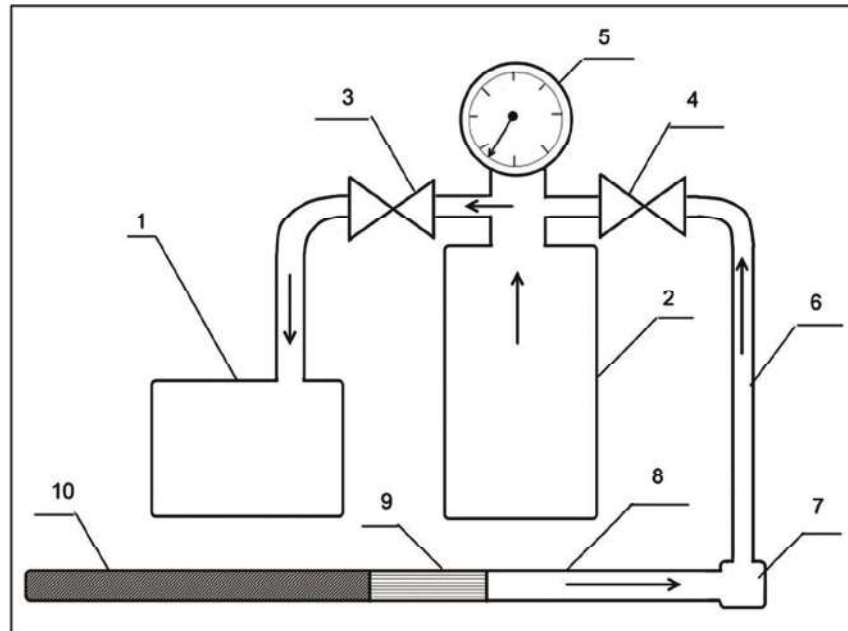


Рис. 1. Принципова схема вакуумного пробовідбірника рідкого металу: 1 – вакуумний насос; 2 – ресивер; 3, 4 – вакуумний вентиль; 5 – вакуумметр; 6 – гнучкий герметичний металевий трубопровід; 7 – муфта; 8 – формуювальна кварцова трубка; 9 – охолоджувач; 10 – зразок.

Перед початком плавки слід виготовити металографічні шліфи з вихідної шихти, металографічним методом визначити вміст сірки і вуглецю, за допомогою приладу визначити вміст Si. Розрахувати шихту з урахуванням вихару C і Si.

На тривалість плавки суттєво впливає інтегральна густина шихти (відношення маси шихти M до її об'єму V). Об'єм шихти визначаємо помноживши найбільшу висоту шихти на площину перерізу тигля (рис. 2).

Для укладання шихти використовували циліндричний сталевий стакан, зовнішній діаметр якого дорівнював внутрішньому діаметру тигля. Окремі великі шматки шихти за допомогою малогабаритного відрізного верстата можна оперативно розрізати на менші частини. Після досягнення найбільшої можливої інтегральної густини стакан з шихтою розміщали безпосередньо в тиглі індукційної електропечі і починали плавку.

Після розплавлення шихти пробовідбірником відбирали пробу, для визначення вмісту вуглецю металографічним методом і силіцію на розробленому для цього приладі. В кінці плавки при необхідності додавали феросиліцій і феромарганець, кінцеве розкислення проводили алюмінієм в розливному ковші. Принципова схема приладу для визначення вмісту Si в сталі наведена на рис. 3.

Зразок 2 і мідний диск 1 утворюють термопару, ТЕРС якої залежить від вмісту силіцію. Термопара з'єднується сталевим зажимом 3 і сталевим

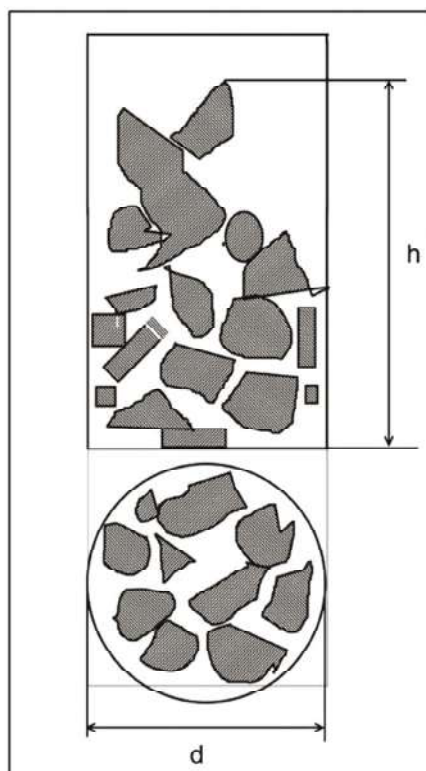


Рис. 2 – Схема завантаження шихти в тигель індукційної печі.

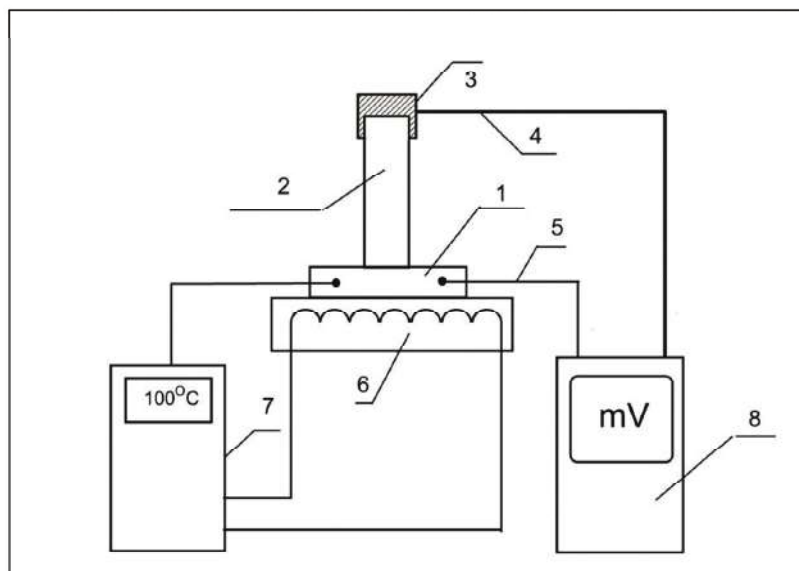


Рис. 3 – Принципова схема приладу для визначення вмісту Si в сталі: 1 – мідний диск; 2 – зразок; 3 – сталевий зажим; 4 – сталевий дріт; 5 – мідний дріт; 6 – нагрівач опору; 7 – терморегулятор; 8 – мілівольтметр.

дротом 4 з першою клемою високочутливого мілівольметра. Мідний дріт 5 з'єднує мідний диск 1 з другою клемою мілівольметра. Нагрівач опору 6 нагріває мідний диск до температури 100 °С, терморегулятор 7 підтримує цю температуру з точністю до 1 °С. Перед початком експлуатації прилад калібрували за допомогою спеціальних зразків з відомим вмістом силіцію.

Металографічний метод визначення сірки заснований на тому, що більша частина сірки у вуглецевій сталі міститься у неметалевих включеннях сульфиду MnS, що мають стехіометричний склад і містять 36,82 % S. Вміст цих включень можна визначити лінійним методом [1]. Згідно з ГОСТ 1778-70 кількість включень характеризує індекс забрудненості I – відношення сумарної довжини включень до довжини лінії підрахунку на металографічному шліфі в мкм. Конкретно для визначення вмісту сірки зручно користуватися наступною формулою:

$$S, \% = \frac{b \cdot \sum m_i \cdot a_i \cdot 36,82}{L \cdot 100} \quad (1)$$

де b – ціна поділки окулярної шкали, мкм; a_i – середнє значення розмірів сульфідів; m_i – кількість сульфідів певної розмірної групи; L – загальна довжина лінії підрахунку, мкм; 36,82 – відсоток сірки у включенні MnS.

Металографічний метод визначення вмісту вуглецю в сталі заснований на відомостях про вміст вуглецю в окремих структурних складових доєвтектоїдних і евтектоїдних сталей. Відомо, що у перлітній складовій вміст вуглецю складає 0,8 %, у феритній – 0,03 % [2]. В свою чергу перліт уявляє собою суміш фериту і цементиту [3; 4]. Мікроструктура вуглецевої сталі виявляється після травлення металографічних шліфів у 4 % розчині азотної кислоти в етиловому спирті.

Для визначення кількості вуглецю також використовували лінійний метод. Визначали індекс перліту Іперліт.

Структурні складові сталі за розмірами можуть значно перевищувати розміри неметалевих вкраплень. Тому таблиця 1 ГОСТ 1778-70 розподілу неметалевих вкраплень за розмірами для методу Л [1] була доповнена для використання підрахунку перлітної складової в вуглецевих сталях (табл. 1). Таблиця придатна для підрахунку масової долі перлітної складової у вуглецевій сталі як в литому стані, так і після нормалізації і відпалу.

Вміст вуглецю досить коректно можна визначити за наступною формулою:

$$\% C = 0,03 \cdot b \cdot \sum a_{i \text{ перліт}} \cdot m_{i \text{ перліт}} (1 - 0,116) + 0,116 \cdot \sum a_{i \text{ перліт}} \cdot m_{i \text{ перліт}} \cdot 6,67 \quad (2)$$

де $a_{i \text{ перліт}}$ – середнє значення розмірів частинок перліту; $m_{i \text{ перліт}}$ – кількість частинок перліту певної розмірної групи; 6,67 – вміст вуглецю у цементиті, % [2; 5].

Методи дослідження та контролю якості металів

Для використання підрахунку перлітної складової у вуглецевих сталях, а також розподілу неметалевих включень за розмірами для методу Л (ГОСТ 1778-70) доцільно використовувати табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл за розмірними групами перлітної складової у доєвтектоїдній і евтектоїдній вуглецевій сталі

Групи включень перліту	Розмір включень перліту в поділках окулярної шкали	Середнє значення розміру включень перліту в поділках окулярної шкали	Групи включень перліту	Розмір включень перліту в поділках окулярної шкали	Середнє значення розміру включень перліту в поділках окулярної шкали
1	0 – 2,0	1	26	50,1 - 52,0	51
2	2,1 – 4,0	3	27	52,1–54,0	53
3	4,1 – 6,0	5	28	54,1–56,0	55
4	6,1 – 8,0	7	29	56,1–58,0	57
5	8,1 – 10,0	9	30	58,1–60,0	59
6	10,1 – 12,0	11	31	60,1–62,0	61
7	12,1 – 14,0	13	32	62,1–64,0	63
8	14,1 – 16,0	15	33	64,1–66,0	65
9	16,1 -18,0	17	34	66,1–68,0	67
10	18,1 – 20,0	19	35	68,1–70,0	69
11	20,1 – 22,0	21	36	70,1–72,0	71
12	22,1 – 24,0	23	37	72,1–74,0	73
13	24,1 – 26,0	25	38	74,1–76,0	75
14	26,1 – 28,0	27	39	76,1–78,0	77
15	28,1 – 30,0	29	40	78,1–80,0	79
16	30,1 – 32,0	31	41	80,1–82,0	81
17	32,1- 34,0	33	42	82,1–84,0	83
18	34,1 – 36,0	35	43	84,1–86,0	85
19	36,1 – 38,0	37	44	86,1–88,0	87
20	38,1- 40,0	39	45	88,1–90,0	89
21	40,1 – 42,0	41	46	90,1–92,0	91
22	42,1 – 44,0	43	47	92,1–94,0	93
23	44,1 - 46,0	45	48	94,1–96,0	95
24	46,1 – 48,0	47	49	96,1–98,0	97
25	48,1 – 50,0	49	50	98,1 - 100	99

Методи дослідження та контролю якості металів

Методика, що пропонується, неодноразово використовувалася на кафедрі «Машини і технологія ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка». Якісні показники дослідних плавок литих сталей трьох марок наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати досліджень

Марка сталі	Метод одержання	Вміст елементів, %			Механічні властивості				
		C	Si	S	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ , %	ψ , %	KCU,
					МПа	МПа			Дж/см ²
20Л	Марочний склад	0,12 – 0,20	0,20 – 0,52	< 0,045	400	200	24	35	40
	Дослідна плавка	0,16	0,38	0,04	415	235	28	42	45
35Л	Марочний склад	0,32 – 0,40	0,20 – 0,52	< 0,045	500	280	15	25	38
	Дослідна плавка	0,38	0,42	0,035	510	295	18	28	42
45Л	Марочний склад	0,42 – 0,50	0,20 – 0,52	< 0,045	580	340	11	20	24
	Дослідна плавка	0,48	0,34	0,038	605	355	12	22	26

Дослідні плавки підтвердили раціональну витрату шихтових матеріалів, гарантований хімічний склад і стабільні результати механічних випробувань готових виробів.

Розроблена технологічна схема виробництва сталевих виливків в індукційних тигельних печах малої якості, прилади і методичні рекомендації забезпечать виготовлення якісної продукції і значно зменшать витрати коштів та часу у практичній діяльності дослідників.

Література

1. ГОСТ 1778-70 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. 31с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд. – М: Металлургия, 1986. – 544 с.
3. Большаков В.И., Сухомлин Д.В., Лаухин Д.В. Атлас структур металлов и сплавов. Учебное пособие для студентов технических вузов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – 174 с.
4. Хабракен Л., де Брауэр Дж. Л. Металлография железа. Том 1. Основы металлографии. Перевод с англ. Под ред. Ф.Н.Тавадзе. Монография с атласом микрофотографий. – Л.: Металлургия, 1972. – 240 с.
5. Лившиц Б.Г. Металлография. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 236 с.
6. Панченко Е.В., Скаков Ю.А., Криммер Б.И. Лаборатория металлографии. Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1965. – 440 с.

7. Микроскоп металлографический упрощенный ММУ-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1972.

Reference

1. GOST 1778-70 *Stal. Metallograficheskie metody opredeleniya nemetallicheskih vkhlyuchenij* (Metallographic methods for the determination of non-metallic inclusions), 1970, 31p. [in Russian].
2. Gulyaev A.P. *Metallovedenie* (Металловедение), Moscow, Metallurgiya, 1986, 544 p. [in Russian].
3. Bolshakov V.I., Suhomlin D.V., Lauhin D.V. *Atlas struktur metallov i spлавov. Uchebnoe posobie dlya studentov tekhnicheskikh vuzov* (Atlas of structures of metals and alloys. Textbook for students of technical universities), Dnepropetrovsk: PGASA, 2010, 174 p. [in Russian].
4. Habraken L., de Brauer Dzh. L. *Metallografiya zheleza. Tom 1. Osnovy metallografii* (Metallography of iron. Volume 1. The basics of metallography), Leningrad, Metallurgiya, 1972, 240 p. [in Russian].
5. Livshic B.G. *Metallografiya* (Metallography), Moscow, Metallurgiya, 1990, 236 p. [in Russian].
6. Panchenko E.V., Skakov Yu.A., Krimer B.I. *Laboratoriya metallografii* (Laboratory of Metallography), Moscow, Metallurgiya, 1965, 440 p. [in Russian].
7. *Mikroskop metallograficheskij uproshennyj ММУ-3. Tekhnicheskoe opisanie i instrukciya po ekspluatatsii* (Simplified metallographic microscope ММУ-3. Technical description and instruction manual), 1972. [in Russian].

Одержано 19.03.20

G. A. Byalik, V. I. Gontarenko, E. A. Bazhmina

Features of the production of high-quality carbon cast steel in induction crucible furnaces of small capacity

Summary

A rational technology was developed for the production of high-quality cast carbon steel for small castings in small-capacity induction crucible furnaces.

In order to determine the carbon and sulfur content, instead of expensive spectral instruments, the cost of which significantly increases the cost of finished products, a metallographic method based on method L (GOST1778-70) for quantitative evaluation of the structural components of steel is proposed. Silicon content was determined using a specially developed device based on the TEMF method.

In order to implement metallographic methods of analysis and with the aim of the rapid manufacture of specimens, a mini laboratory was developed and produced, which consists of a small-size cutting machine, a single-spindle grinding and polishing machine with a set of abrasive wheels of different grain sizes and felt polishing discs impregnated with diamond paste, a simplified metallographic microscope ММУ-3 with a video camera, a vacuum sampler for sampling liquid metal during smelting process, a device for determining silicon content in steel.

Several methods of structural section calculation were tested, but the simplest and proven linear method developed at the «Machines and technology of foundry»

Методи дослідження та контролю якості металів

Department of National University «Zaporizhzhia Polytechnic» was adopted. The readings of temperature measurements by thermocouple and radiation pyrometers were compared. The latter do not change the solidification conditions of the castings, and the measurement speed is not inferior to thermocouples. Calculation and preparation of the charge were carried out by standard methods, but high precision appliances were used. The studies carried out allowed us to obtain accurate data on the structure and quality indicators of blanks or castings.

Testing of the developed technology confirmed the rational consumption of charge materials, guaranteed chemical composition and stable quality indicators of finished products.

Keywords: crucible furnace, charge, melting, temperature, structure, linear method.

Жунал **МОН** внесено до Переліку наукових фахових видань України згідно наказу Міністерства освіти і науки України №409 від 17.03.2020.

Повна назва журналу
**"Науково-технічний журнал
"Металознавство та обробка металів"**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість замовлених номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.

Вартість одного номера журналу - 50 грн., передплата на рік – 200 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2018 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,
спонсорів і рекламодавців:**

р/р UA828201720313251001201012215,

банк ДКСУ в м. Києві код банку 820172

Отримувач - ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,

з посиланням на журнал "МОН"

Копію документа передплати та відомості про передплатника

просимо надсилати до редакції,

вказавши номер і дату платіжного документа.