

УДК 004.43+621.74

**Соколов Д. Д., Приходько О. В.**

## **АЛГОРИТМ І ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ТА КОРЕКЦІЇ СКЛАДОВИХ ШИХТИ ПРИ ОТРИМАННІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ ВИЛИВНИЦЬ**

Розглянутий у [1, 2] підхід до проектування САПР може бути застосований у ливарному виробництві на будь-яких етапах отримання якісних виливків, починаючи з підготовчих операцій і закінчуючи призначенням фінішних операцій при виготовленні виливків. Розробка САПР допоможе автоматизувати різні етапи проектування, у тому числі такий підхід може бути застосований до розробки САПР розрахунку шихтових матеріалів.

В останні роки для виготовлення виливниць все ширше застосовують високоміцний модифікований чавун с кулястим графітом (ВЧКГ) [3]. Модифікування чавуну призводить до утворення структури з глобулярним графітом, що помітно покращує фізико-хімічні властивості чавуну, підвищує його міцність і пластичність, ростостійкість, окалиностійкість і, в кінцевому рахунку, виливниці, виготовлені з такого чавуну, мають підвищену (в 1,5–2 рази) стійкість по порівнянню з виливницями з сірого чавуну.

Як відомо, механічні властивості матеріалу виливків, а особливо виливків з ВЧКГ, залежать від швидкості охолодження і кристалізації, модуля, товщини стінки і способу виробництва, тому ДСТУ 3925-99 «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки» [4] дає тільки рекомендаційний хімічний склад і відхилення за хімічним складом не є бракувальною ознакою.

Для отримання сплаву заданого хімічного складу необхідно попередньо скласти шихту, свідомо вибравши її з сукупності різних вихідних матеріалів. Для цього використовують як чисті метали, так і неметалеві матеріали, лігатури, вторинні сплави, брухт, відходи власного виробництва і т. д.

Отримання високоміцного чавуну с кулястим графітом є двохстадійним процесом: на першому етапі в плавильному агрегаті виплавляють «вихідний чавун»; на другому етапі «вихідний чавун» піддають модифікуванню.

Найчастіше розрахунок шихти ведуть «у зворотній послідовності»: розраховують кількість елементів, що вноситься модифікатором і, знаючи необхідний хімічний склад ВЧКГ, визначають склад «вихідного чавуну», а на другій стадії – розраховують кількість компонентів шихти для виплавки «вихідного чавуну».

Необхідний вміст магнію в ВЧКГ може призначатися в залежності від кількох параметрів: товщини стінки вилівка, тривалості транспортування рідкого чавуну до місця розливання і тривалості самого розливання металу у ливарну форму.

Метою цієї роботи є розробка алгоритму і програми розрахунку та коригування складових шихти при виплавці високоміцного чавуну для виливниць з урахуванням умов реконструкції сталеплавильного цеху підприємства.

Принципи розробки алгоритму і програми для розрахунку компонентів шихти докладно описані в роботах [5, 6]. В основу інтерфейсу програми покладені програмовані «Екранные форми» Microsoft Office Excel 2010.

Програма оптимізації і розрахунку шихти складається з чотирьох послідовно виконуваних блоків:

- блок введення та корегування вихідних даних;
- блок розрахунку кількості модифікаторів;
- блок розрахунку кількості шихтових матеріалів по заданому хімічному складу;
- блок розрахунку металозавалки.

Вихідні дані для розрахунку вводяться за допомогою екранних форм, які форматovanі відповідно до корегованої бази даних, що міститься в програмі. Базою даних передбачено:

– хімічний склад чавуну відповідно до ДСТУ 3925-99 з можливістю коригування вмісту основних елементів;

– шихтові матеріали і їх хімічний склад: переробний високоякісний чавун марок ПВК1 ... ПВК3 (ГОСТ 805-95), феросиліцій марок ФС65 -ФС90 ДСТУ 4127-2002; феромарганець марок ФМн70 ... ФМн88 (ДСТУ 3547-97), сталевий вуглецевий брухт з можливістю широкого коригування його хімічного складу;

– модифікатори у вигляді порошкового дроту (ПД) фірми TDR Legure d.o.o. (Словенія). Для сфероїдизуючої обробки – марок 25HS, 25MS, 25LS, 25FM, для графітізуючої обробки – марок RB25 і RUSTRON [7] з можливістю додавання інших модифікаторів і коригування їх хімічного складу;

– величина загального угару при плавці в індукційній печі з можливістю коригування в відомих межах та величина угару окремих хімічних елементів. Крім цього, при введенні даних для розрахунку пропонується введення необхідного вмісту залишкового магнію і коефіцієнту його засвоєння при модифікуванні. Також передбачено введення інформації про кількість відходів власного виробництва у складі шихти і кількості чавуну, що модифікується.

Крім цього, при введенні даних для розрахунку пропонується введення необхідного вмісту залишкового магнію (в межах 0,03–0,05) і коефіцієнта його засвоєння при модифікуванні. Також алгоритмом передбачено введення інформації про кількість звороту власного виробництва в складі шихти і необхідна кількість модифікованого чавуну.

При розрахунку кількості модифікаторів спочатку відбувається обчислення вмісту чистого магнію з урахуванням коефіцієнта його засвоєння в чавуні, а потім розраховується загальна кількість модифікатора з урахуванням його хімічного складу. При цьому, на основі технічних характеристик ПД (вміст модифікатора в 1 п. м.) визначається його необхідна довжина.

Тривалість сфероїдизуючої обробки розраховується за формулою [8]:

$$A_M = \frac{p \cdot (Mg + 0,76 \cdot (S_n - S_k))}{n \cdot q_m \cdot V_m \cdot k}, \quad (1)$$

де  $A_M$  – тривалість процесу сфероїдизуючого модифікування, с;

$Mg$  – необхідний залишковий вміст магнію в ВЧКГ, %;

$S_n$  – масова частка вмісту сірки в «вихідному чавуні», %;

$S_k$  — масова частка вмісту сірки в ВЧКГ після модифікування, %;

$p$  – маса чавуну, що модифікується кг;

$q_m$  – маса магнію в одному метрі ПД, кг/м;

$n$  – кількість ПД з магнієм, що вводяться, шт;

$V_m$  – швидкість вводу ПД, м/с;

$k$  – коефіцієнт засвоєння магнію, %.

Тривалість графітізуючої обробки:

$$A_J = \frac{p \cdot r}{100 \cdot V_i \cdot q_i}, \quad (2)$$

де  $A_J$  – тривалість процесу графітізуючого модифікування, с;

$r$  – рекомендована питома витрата графітізуючого модифікатора, %;

$V_i$  – швидкість вводу ПД з графітізуючим модифікатором, м/с, м/с;

$q_i$  – питома вміст графітізуючого модифікатора в ПД, кг/м.

Також програмою враховується кількість кремнію, який додатково вводиться з модифікаторами.

Кількісними обмеженнями при виборі тих чи інших компонентів шихти у розробленому алгоритмі передбачено:

- кількість відходів власного виробництва в шихті (повинні використовуватися в повному обсязі, тобто його зміст в шихті має становити – не менше 15–25 %);
- обмеження на використання високоякісного переробного чавуну: його вміст повинен складати кількість, яка визначається технологом у кожному конкретному випадку (наприклад, при розрахунках шихти для виготовлення виливниці з отриманням ферито-перлітної структури металевої матриці, для отримання ВЧКГ високої металургійної якості задається обмеження на використання високоякісного переробного чавуну 25 %);
- кількість шкідливих домішок (сірки та фосфору) має бути мінімальним і не перевищувати заданих меж.

Розрахунок шихти по всіх елементах проводиться у вигляді послідовного корегування кількості відповідних шихтових матеріалів з обчисленням вмісту кожного елемента.

Розрахунок металозавалки для вибраної кількості рідкого металу відбувається з урахуванням величини загального угару металу в плавильній печі.

На рис. 1–3 наведено приклади інтерфейсу розробленої програми.

УТОЧНИТЕ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЛУЧАЕМОГО ЧУГУНА					
Ограничения	Массовая доля элементов, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
Не менее	3,00	1,90	0,20	-	-
Не более	3,80	2,90	0,70	0,10	0,02
Уточните желаемый химсостав чугуна					
	3,20	2,30	0,60		
КОМПОНЕНТЫ ШИХТЫ					
Наименование	Массовая доля элементов, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
ПВК ГОСТ ГОСТ 805.95					
ПВК 3 гр1 клГ	4,50	0,40	0,50	0,05	0,02
Уточните химсостав стального лома					
Лом стальной углеродистый	0,25	0,20	0,30	0,045	0,045
Ферросилиций ДСТУ 4127					
ФС65	0,20	65,00	0,50	0,05	0,02
ФС90	3547	6,00	70,00	0,30	0,03
ФС75					
ФС70					
ФС65	7,00	6,00	70,00	0,30	0,03
другое					
Возврат изложниц	3,20	2,30	0,60	0,05	0,01

Рис. 1. Интерфейс программы введения выходных данных

ВВЕДИТЕ ТРЕБУЕМОЕ ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МАГНИЯ, %	0,04
ЧЕМ МОДИФИЦИРУЕМ?	
Для сфероидизирующей обработки	Si=50%, Mg=25%, CeMM=1%
пп 25 Н5	
Для графитизирующей обработки	Si=68%, Al=1,5%, Ba=2,3%
RB 25	
УТОЧНИТЕ КОЭФ. УСВОЕНИЯ МАГНИЯ	0,45
УТОЧНИТЕ ОБЩИЙ УГАР В ПЕЧИ, %	4,0
УТОЧНИТЕ НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО ЖИДКОГО МЕТАЛЛА, кг	10000
УТОЧНИТЕ УГАР ПО ЭЛЕМЕНТАМ, %	
Углерод	5
Кремний	3,5
Марганец	10
Фосфор	-

Рис. 2. Введения данных про модификаторы

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ						
НЕОБХОДИМОЕ	кг	м	НЕОБХОДИМОЕ	кг	м	
КОЛ.ВО МОДИФИКАТОРА ПП 25 HS	35,56	169,31	КОЛ.ВО МОДИФИКАТОРА RB 25	28,57	136,05	
НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОДНОГО БОЯ, кг 265,07						
Массовая доля элементов, %						
ТРЕБУЕМЫЙ СОСТАВ ЧУГУНА	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера	Магний ост
	3,40	2,30	0,60	до 0,1	до 0,02	0,040
РАСЧЕТНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	3,40	2,30	0,60	0,049	0,019	
ВВЕДИТЕ ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ КОЛИЧЕСТВО ВЫБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ, %			Масса на металлозавалку, кг			
Наименование	Количество					
ПВК 3 гр1 клГ	10		1040,00			
Лом стальной	72,49		7538,96			
ФС65	2,12		220,48			
ФМн70(РА)	0,39		40,56			
Возврат изложниц	15		1560,00			
ВСЕГО, кг	100		10400,00			

Рис. 3. Виведення розрахункових даних

### ВИСНОВКИ

Розроблено алгоритм розрахунку та корекції кількості шихтових матеріалів при отриманні висококомічного чавуну для виливниць в умовах реконструкції сталеплавильного цеху підприємства. Розроблена з даного алгоритму програма може бути адаптована до інших виробничих умов при розрахунках металозавалки, а також знайти застосування в навчальних цілях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рамбо Д. UML: Специальный справочник / Д. Рамбо, А. Якобсон, Г. Буч. – СПб. : Питер, 2002. – 656 с.
2. Гамма Э. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – СПб. : Питер, 2001. – 368 с.
3. Прохоренко К. К. Разливка стали и качество стальных слитков / К. К. Прохоренко. – Киев, 1995. – 118 с.
4. ДСТУ 3925-99. Державний стандарт України. Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. Введ. 1999–30–11. – К. : Держстандарт України, 2000. – 7 с.
5. Фесенко А. Н. Оптимизация составляющих шихты при получении качественных литейных чугунов для изделий тяжелого машиностроения / А. Н. Фесенко, О. В. Приходько, О. А. Перепада // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сборник научных трудов. – Краматорск-Киев : ДГМА, 2004. – Вып. 15. – С. 180–186.
6. Приходько О. В. Алгоритм оптимизации и программа для расчета шихты при выплавке высококачественных углеродистых сталей / О. В. Приходько, М. А. Царева // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы международной научно-технической конференции 9–12 сентября 2008 г. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 124.
7. TDR Legure d.o.o. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.tdrlegure.si](http://www.tdrlegure.si).
8. Агентство Литье++ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://on-v.com.ua/novosti/tehnologii-i-nauka>.