

**ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ СТУДЕНТСЬКИЙ НАУКОВО-
ПРАКТИЧНИЙ СЕМІНАР**

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ
ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ ТА
ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Збірник тез доповідей

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

ВСЕУКРАЇНСЬКОГО СТУДЕНТСЬКОГО НАУКОВО-ПРАКТИЧНОГО СЕМІНАРУ

“РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ ТА
ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ”

24-26 квітня 2012 року

Тези доповідей надруковано у авторській редакції.

Відповідальна за випуск: Кава Т.В.

Підписано до друку 31.05.2012
Ум друк.арк. 3,375. Тираж 50 прим.

©МОВ КНТУ, м.Кіровоград, пр.Університетський, 8.
Тел. 55-10-49

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

ВСЕУКРАЇНСЬКОГО СТУДЕНТСЬКОГО НАУКОВО-ПРАКТИЧНОГО СЕМІНАРУ

“РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ ТА
ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ”

24-26 квітня 2012 року

Кіровоград-2012

Збірник тез доповідей Всеукраїнського студентського науково-практичного семінару “Ресурсозберігаючі технології в металургії та ливарному виробництві”. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 54 с.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова – Кропивний В.М., канд. техн. наук, проф., проректор з наукової роботи Кіровоградського національного технічного університету.

Заступник голови – Ковришкін М.О., канд. техн. наук, доц., декан механіко-технологічного факультету Кіровоградського національного технічного університету.

Секретар – Скрипник О.В., канд. техн. наук, доц. кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва Кіровоградського національного технічного університету.

Члени оргкомітету:

Сабірянов Т.Г., д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва Кіровоградського національного технічного університету;

Ішуніна Н.М., керівник МОВ Кіровоградського національного технічного університету;

Кава Т.В., фахівець I категорії відділу МОВ Кіровоградського національного технічного університету;

Даркіна В.О., голова СНТ Кіровоградського національного технічного університету.

Відповідальна за випуск: Кава Т.В.

Збірник містить тези доповідей за матеріалами Всеукраїнського студентського науково-практичного семінару “Ресурсозберігаючі технології в металургії та ливарному виробництві”, що відбувся 24-26 квітня 2012 року на базі кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва Кіровоградського національного технічного університету.

Матеріали збірника публікуються у авторській редакції.

© Колектив авторів, 2012
© КНТУ, 2012

ЗМІСТ

<i>В.В. Ніколаєва, Т.Г. Сабірянов, С.В. Конончук</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	5
<i>Ю.І. Гутько, А.В. Мартынюк</i> УЛУЧШЕНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ АУСТЕНИТНЫХ ЧУГУНОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ.....	9
<i>А.Ю. Діренко, В.В. Ткач</i> ВИГОТОВЛЕННЯ ПСЕВДОЛІГОТУР З ВІДХОДІВ ТВЕРДОСПЛАВНОГО НАПЛАВЛЕННЯ.....	11
<i>М.А. Глазова, В.В. Ткач, І.Е. Скидин</i> ВНЕПЕЧНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ БЕЗНИКИЛЕВОЙ ЖАРСТОЙКОЙ СТАЛИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМОТЕРМИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	13
<i>К.О. Кочергін, В.В. Ткач, О.М. Кіщенко</i> ОБРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ КУЛЬ, ЩО МЕЛЮТЬ.....	16
<i>В.В. Ніколаєва, Т.Г. Сабірянов</i> ПОБУДОВА І АНАЛІЗ ПОВНОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ ЗАЛЕЖНОСТІ $t_{\tau} = f(z, m_c)$ ДЛЯ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	19
<i>І.О. Федосова, Т.Г. Сабірянов</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДЛИВКІВ ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ ВІД ЇХ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ.....	24
<i>Д.М. Біловодський, Т.Г. Сабірянов</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ.....	27
<i>Д.М. Біловодський, Т.Г. Сабірянов</i> ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПІЧНОГО ШЛАКУ ПОБУЗЬКОГО ФЕРОНИКЕЛЕВОГО КОМБІНАТУ.....	30
<i>В.В. Мартиненко, Т.Г. Сабірянов</i> СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	31
<i>О.О. Гоманюк, Т.Г. Сабірянов</i> ПОБУДОВА І АНАЛІЗ ПОВНОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ ЗАЛЕЖНОСТІ $g_{\alpha} = f(L_{\alpha}, m_c)$ ДЛЯ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	35
<i>О.Р. Микитін, Т.Г. Сабірянов</i> ТЕРМОДИНАМІКА РЕАКЦІЇ НЕПРЯМОГО ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДУ НІКЕЛЮ.....	39
<i>І.М. Гайворонський, Т.Г. Сабірянов</i> ТЕРМОДИНАМІКА “ТИГЕЛЬНОЇ” РЕАКЦІЇ.....	42
<i>В.В. Ніколаєва, Г.М. Засінець</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	43
<i>О.Г. Коваленко, А.В. Галико</i> ТЕРМОМЕХАНІЧНА ОБРОБКА ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ СТАЛЕЙ.....	46
<i>О.О. Гоманюк, Г.М. Засінець</i> ТЕХНОЛОГІЧНА МОЖЛИВІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ СТЕРЖНІВ COLD-BOX-AMIN- ПРОЦЕСОМ НА ДІЮЧИХ СТЕРЖНЕВИХ МАШИНАХ.....	49
<i>В.Я. Сухарський, В.М. Ломакін</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПЛАВЛЕННЯ ДРІБНОЇ АЛЮМІНІЄВОЇ ШИХТИ В МГД-УСТАНОВЦІ.....	52
<i>О.С. Карпуцев, С.В. Конончук</i> ЗМЕНШЕННЯ ОБ’ЄМУ ПІДЖИВЛЮВАЧА ВІДЛИВКІВ КОРПУСНОЇ ГРУПИ ПАТ «ГІДРОСИЛА» ШЛЯХОМ ПРЕСУВАННЯ РІДКОГО МЕТАЛУ В ПІДЖИВЛЮЮЧІЙ ЧАСТИНІ КОКІЛЯ.....	53

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ

В.В. Ніколаєва, студ.,
Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук, С.В. Конончук, викл.
 Кіровоградський національний технічний університет

Як відомо, ливарне виробництво та металургія є основними постачальниками сировини та готової продукції для інших галузей народного господарства, зокрема сільськогосподарського машинобудування.

Важливе місце в сільськогосподарському машинобудуванні посідає вагранка, як найбільш поширений чавуноплавильний агрегат ливарних цехів (більше 50 % за масою відливків виготовляється з чавуну).

Для розв'язання цієї задачі особливо важливим є встановлення взаємозв'язку між основними параметрами ваграночного процесу, виявлення закономірностей тепло- і масообміну, а також винайдення математичного описання процесу. Для визначення цього взаємозв'язку було проведено багато експериментальних досліджень такими вченими, як В. Патерсон, Л.М. Марієнбах, Юнгблат [1, 2, 3]. Обробка експериментальних даних зведена в номограми, які відображають загальні закономірності вагранкової плавки. Крім того, такий підхід дослідження взаємозв'язку між основними параметрами процесів, пов'язаний з проведенням великої кількості виробничих експериментів, враховуючи їх складність, на даному етапі розвитку виробництва, обмежений великими, іноді нездоланими труднощами. Тому, із трьох можливих типів математичних моделей (теоретичні, змішані і статистичні) для печей шахтного типу в наявних умовах можна побудувати тільки моделі змішаного типу, коли математична структура моделі визначається теоретичним шляхом, а ідентифікація моделі здійснюється при використанні експериментальних даних.

Аналізуючи ваграночний процес, треба, перш за все, визначитись з його параметрами. Вибір останніх залежить від формулювання задачі. Якщо нас цікавлять кінцеві результати процесу, то ми відволікаємось від зміни термодинамічних, механічних та інших параметрів матеріальних потоків по висоті і ширині печі, тобто розглядаємо піч, як об'єкт з зосередженими параметрами. Якщо ж ми вивчаємо процес, включаючи і геометричні параметри агрегату, то тоді останній виступає як об'єкт із розосередженими параметрами. При врахуванні фактору часу матимемо динамічний об'єкт дослідження і відповідно, динамічну математичну модель. В протилежному випадку об'єкт і модель будуть статичними. Найпростішою є, очевидно, статична модель із зосередженими параметрами, яку далі ми і будемо розглядати.

Такий підхід споріднений до кібернетичного підходу, коли об'єкт дослідження виступає в ролі так званого "чорного ящика" (рис. 1).

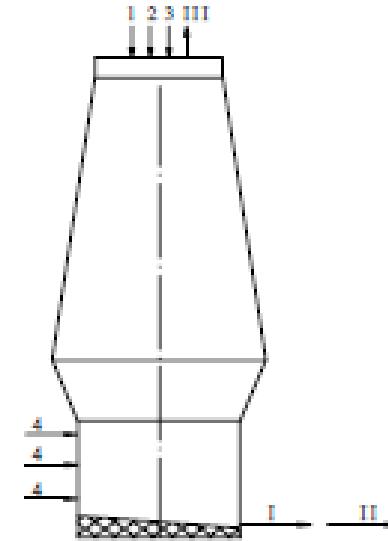


Рисунок 1 – "Чорний ящик" ваграночного процесу

Вхідні параметри (чинники):

- 1– $g_{м.з}$ – витрати металозавалки, кг/(м²·хв) та її хімічний склад;
- 2– $g_{вапн.}$ – витрати вапняку, кг/(м²·хв) та його хімічний склад;
- 3– mC – витрати вуглецю коксу, % від металозавалки;
- 4– L'_6 – витрати повітря дуття, нм³/(м²·хв), його температура – t_d , °С, вміст кисню в повітрі дуття – % O₂, вологість тощо.

Вихідні параметри (функціонали):

- I – $g_ч$ – вихід чавуну, кг/(м²·хв), його хімічний склад та температура – $t_ч$, °С;
- II – $g_ш$ – вихід шлаку, кг/(м²·хв), його хімічний склад та температура – $t_ш$, °С;
- III – $g_г$ – вихід відхідних газів, кг/(м²·хв), їх хімічний склад та температура – $t_г$, °С.

Таким чином, враховуючи всі вхідні та вихідні параметри ваграночного процесу, ми отримали "чорний ящик", який дає можливість подальшого математичного моделювання.

Спрощена модель ваграночного процесу має вигляд взаємозв'язку і співвідношень між параметрами:

$$F(L'_6, t_d, m_c, \delta, g_{м.з}, g_{вапн.}, g_ч, t_ч, g_ш, t_ш, g_г, t_г) = 0, \tag{1}$$

де δ - коефіцієнт надлишку повітря.

Як показали попередні розрахунки ваграночного процесу, далеко не всі із перерахованих параметрів будуть незалежними. Дійсно, як буде показано нижче:

$$- \text{температура відхідних газів} - t_г = f(L'_6, m_c); \tag{2}$$

$$- \text{коефіцієнт надлишку повітря} - \delta = f(L'_6, m_c); \tag{3}$$

$$- \text{температура шлаку} - t_{ш} = f(t_0); \quad (4)$$

$$- \text{продуктивність печі} - g_ч = f(L_6^I, mC); \quad (5)$$

Крім того, для заданих умов плавки із матеріального балансу можна визначити витрати металозавалки, вапняку, шлаку та відхідних газів:

$$g_{м.з} = \text{const}, \quad (6)$$

$$g_{вапн.} = \text{const}, \quad (7)$$

$$g_{ш} = \text{const}, \quad (8)$$

$$g_г = \text{const}. \quad (9)$$

Температура повітря для заданих умов плавки задана

$$t_0 = \text{const}. \quad (10)$$

Співвідношення (2) – (10) дають нам дев'ять рівнянь із числа тих, що пов'язують між собою параметри ваграночного процесу. Останнім десятим буде рівняння теплового балансу плавки.

Отже, маємо дванадцять параметрів (див. рівняння (1)) і десять рівнянь, які пов'язують ці параметри між собою. Таким чином, наша система має два ступеня свободи і є біваріантною. Це означає, що для її визначення достатньо вказати два якихось параметри. Такими параметрами природно обрати дві вхідні величини – L_6^I і mC .

Біваріантність ваграночного процесу означає також, що взаємозв'язок між його параметрами – L_6^I , mC , $t_ч$ і $g_ч$ можна представити графічно на плоскому рисунку у вигляді двох сімейств кривих подібно побудованих на основі експериментальних даних номограми Патерсона (див. рисунок 1).

Основними рівняннями, що пов'язують між собою параметри ваграночного процесу є рівняння матеріального і теплового балансів:

$$g_{м.з} + g_к + g_{вапн.} + g_n + g_{фут.} = g_ч + g_{ш} + g_г, \quad (11)$$

$$Q_{х.к} + Q_{екз} + Q_{шл.утв} = Q_ч + Q_{ш} + Q_г + Q_{вапн.вол} + Q_{р.вапн} + Q_{втр.}, \quad (12)$$

де $g_к$, $g_п$, $g_{фут.}$, $кг/(м^2 \cdot хв)$ – питомі витрати, відповідно, коксу, повітря дуття, футерівки, що переходить у шлак; $Q_{х.к}$, $Q_{екз}$, $Q_{шл.утв}$, $Q_ч$, $Q_{ш}$, $Q_г$, $Q_{вапн. вол}$, $Q_{р.вапн}$, $Q_{втр.}$, $кДж/(м^2 \cdot хв)$ – відповідно, хімічна теплота коксу, теплота екзотермічних реакцій, теплота шлакоутворення, тепловміст чавуну, тепловміст шлаку, теплота, що виноситься відхідними газами, теплота випаровування вологи, теплота розкладу вапняку, втрати теплоти в навколишнє середовище.

Залишилось визначити теплоту втрат в навколишнє середовище – $Q_{втр.}$. Сама по собі ця величина для заданих умов плавки ($L_6^I = \text{const}$, $mC = \text{const}$) буде постійною. Величина $Q_{втр.}$ приймається у відсотках від прибутку теплоти. Отже при $Q_{приб.} = f(L_6^I, mC)$ маємо:

$$Q_{втр.} = f(L_6^I, mC). \quad (13)$$

Маючи статистичні дані температури чавуну для різних значень L_6^I і mC , можна з рівняння (12) знайти значення втрат теплоти в навколишнє середовище для відповідних значень L_6^I і mC . Побудувавши відповідний композиційний план для 13 точок, ми зможемо

визначити залежність у вигляді квадрики. Таким чином, в рівнянні (12) теплового балансу залишилась одна невідома величина – температура чавуну, яку ми з нього і знаходимо.

Описана методика дає можливість вести всі розрахунки на комп'ютері. Для визначення взаємозв'язку $F(L_6^I, mC, g_ч, t_ч) = 0$ складемо блок-схему вирішення задачі визначення залежності температури чавуну та питомої продуктивності вагранки від відносної витрати вуглецю коксу та питомої витрати повітря дуття (рисунок 2), яка дозволяє отримати програмний продукт по вирішенню даної проблеми. Результатом розрахунку є номограма $F(L_6^I, mC, g_ч, t_ч) = 0$ ваграночного процесу в табульованому та графічному вигляді. Ввівши фактичні параметри роботи печі ми отримуємо точку на номограмі, яка характеризує процес, і в залежності від характеру оптимізації (збільшення температури чавуну, підвищення продуктивності печі тощо), програма видасть певні рекомендації по переводу процесу в оптимальну область.

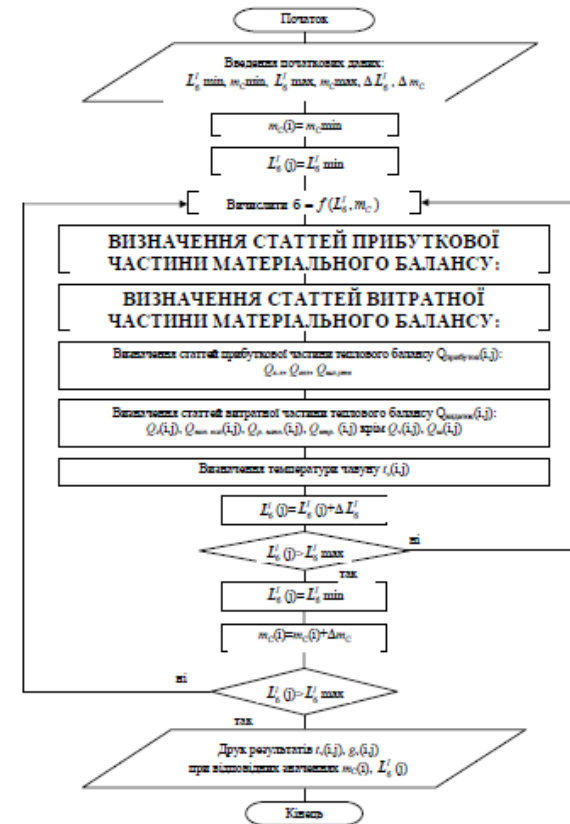


Рисунок 2 – Блок-схема вирішення задачі визначення залежності температури чавуну та питомої продуктивності вагранки від відносної витрати вуглецю коксу та питомої витрати повітря дуття – $F(L_6^I, mC, g_ч, t_ч) = 0$

Таким чином, викладена методика математичного моделювання ваграночного процесу дозволила отримати такі співвідношення між параметрами, як залежність температури чавуну $t_{\text{ч}} = f(L'_6, mC)$, температури колошникового газу $t_{\text{к.г.}} = f(L'_6, mC)$, продуктивності вагранки $g_{\text{ч}} = f(L'_6, mC)$.

Отримана математична модель ваграночного процесу дозволяє вирішувати задачі прогнозування та оптимізації цього процесу, дає можливість практичного використання співвідношень на підприємствах різних галузей промисловості, в тому числі і в сільськогосподарському машинобудуванні при проектуванні нових та при покращенні роботи діючих печей.

Список літератури

1. Мариенбах Л.М., Шапиро А.М. Механизация и автоматизация процессов плавки чугуна в вагранке. – М.: Машиностроение, 1968. – 104 с.
2. Т.Г. Сабірянов. Математична модель ваграночного процесу // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Вип. 9. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 251-255.
3. Рафалес-Ламарка Э.Э., Николаев В.Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 119 с.

УЛУЧШЕНИЕ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ АУСТЕНИТНЫХ ЧУГУНОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ

Ю.И. Гутько, проф., д-р техн. наук, А.В. Мартынюк, студ.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Развитие и интенсификация многих отраслей техники зависит от качества и служебных свойств применяемых материалов. Удовлетворить постоянно возрастающие требования к ним возможно путем разработки новых сплавов сложного химического состава. В связи с этим важное и актуальное значение имеет проведение научных исследований комплексно легированных сплавов, к числу которых в первую очередь следует отнести чугуны на аустенитной основе.

Изучение таких разработок [1, 2] показало, что обязательным компонентом для легирования таких чугунов является алюминий. Чугуны, легированные алюминием, применяют для изготовления двигателей внутреннего сгорания, в частности дизельного типа с форсированным рабочим процессом за счет использования турбонадувных агрегатов. Отливки деталей узла турбонаддува отличаются весьма сложной геометрией, сочетанием толстых и тонких (до 5 мм) сечений с большой разветвленностью поверхности. Оценка их герметичности производится по гидроиспытаниям. Вместе с тем такие отливки отличаются повышенной склонностью к образованию усадочных раковин, что требует учета специфической литейной технологичности алюминиевого аустенитного чугуна.

В связи с этим целью работы явились исследования качества отливок из аустенитного чугуна легированного алюминием.

Исследования параметров литейной технологичности показали, что алюминиевый аустенитный чугун обладает высокой жидкотекучестью, обеспечивающей заполнение самых сложных форм, а также хорошее питание отливок при их затвердевании. Вместе с тем,

наличие, как правило, кислой футеровки печи, значительного угара алюминия при плавке и загрязнение расплава его окислами ограничивают возможности такой технологии. Выявлено, что повышенная склонность расплава к окислению после легирования его алюминием вызывает загрязнение отливок твердыми окислами этого элемента. Наряду с образованием дисперсных включений Al_2O_3 в теле отливок на их верхних поверхностях часто образуются грубые пленки, а при толщинах стенок 5-8 мм наблюдаются даже их наслоение. Исключение формирования плен только путем совершенствования литейной оснастки, а именно применения более разветвленных литниковых систем, различных способов организации течения металла в ее каналах и форме, установки фильтровальных сеток и ребер в верхних частях отливок, оказалось неэффективным. Установлено, что на качество таких отливок неблагоприятно влияет турбулизация потока жидкого металла, приводящая к резкому понижению их герметичности.

Анализ показал, что основная масса взвешенных окислов образуется не в процессе заполнения литейной формы металлом, а вносится в расплав при его легировании алюминием. Поэтому основными технологическими факторами, предупреждающими загрязнение отливок окислами Al_2O_3 , являются снижение вероятности их образования в расплаве и экстракция уже сформированных включений из металла до начала заливки. Установлено, что первое достигается введением алюминия в расплавленный металл непосредственно в печь или на дно разливочного ковша перед его выпуском из тигля плавильного агрегата. Такой способ легирования чугуна, при прочих равных условиях, обеспечивает равномерное распределение алюминия в сплаве и поэтому имеет принципиальное значение. Вместе с тем установлено, что при введении твердого алюминия в локальный объем горячего металла под его зеркало распределение компонента в объеме расплава осуществляется за счет диффузионных явлений на атомарном уровне. Однако такие процессы в покоящемся расплаве протекают достаточно медленно. Величина потока вещества Π , который стремится выровнять градиент концентрации алюминия в чугуне, описывается выражением (1):

$$\Pi = -D \frac{dc}{dx}, [1] \quad (1)$$

где $\frac{dc}{dx}$ - градиент концентрации алюминия; D - коэффициент диффузии.

В условиях ввода твердых кусков алюминия градиент концентрации алюминия $\frac{dc}{dx}$ будет достаточно большим. В тоже время известно, что коэффициент диффузии, характеризующий скорость выравнивания концентрации, величина весьма малая и она не зависит от градиента концентрации. Концентраты диффузии различных легирующих элементов в области температур 1220-1700 °С весьма близки ($\sim 1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{сек}$), что соответствует скорости ≈ 1 см/час. Такая скорость, безусловно, недостаточна для выравнивания концентрации алюминия. Для критического ускорения процесса его конвективной диффузии применяют электродинамическое перемешивание расплава в тигле индукционной печи. Кроме этого, перемешиванию способствует неравномерное температурное поле расплава в направлении от периферии к центру печи. Однако показано, что при легировании расплава алюминием непосредственно в тигле индукционной печи уменьшается стойкость ее футеровки.

В связи с этим наиболее эффективным легированием чугуна алюминием является выпечная обработка или его введение в ковш. Интенсивное перемешивание расплава при заполнении ковша частично компенсирует отсутствие эффекта движения металла за счет электродинамических сил, имеющего место в индукционной печи. Экстракция,

образующихся при этом окислов алюминия, достигается путем обработки расплава специальными флюсами на основе криолита. Разработанная технология включает присадку половины добавки флюса на дно ковша вместе с алюминием перед заливкой, а второй половины на зеркало металла, после заполнения им ковша и удаление шлака с поверхности жидкого металла.

Присадка флюса на дно ковша перед заливкой обеспечивает совмещение во времени и пространстве процессов легирования расплава алюминием и его массопереноса в объеме металла, образования окислов Al_2O_3 и их взаимодействие с флюсом, а также перемешивания всех компонентов системы. Это обуславливает эффективное рафинирующее действие флюса, вследствие растворения и смачивания образующихся взвешенных окислов Al_2O_3 . Вторая часть флюса экстрагирует всплывающие включения окислов, а также оказывает защитное действие по отношению к поверхности расплава. При этом рафинирующее действие криолита идентично для сплавов на основе железа и цветных металлов.

Внедрение разработанной технологии получения чугуна, содержащего 0,8-1,5% алюминия, для деталей турбонаддува позволило на дизелестроительном заводе им. Кирова практически полностью исключить брак отливок по загрязненности неметаллическими включениями Al_2O_3 . Предложенный способ рафинирования возможно использовать при получении низкокремнистых чугунов с алюминием, интерес к которым в последние годы непрерывно растет. Поэтому работа в этом направлении продолжается.

Список литературы

1. Большой энциклопедический словарь / под ред. Прохорова А.М. - М: Советская энциклопедия, 1991. - 1628 с.
2. Васильев В. А. Справочник литейщика: пособие для формовщиков, заливщиков, модельщиков, мастеров, технологов и нормировщиков / В. А. Васильев, А. В. Васильев. – Донецк: Донбасс, 1983. – 142 с.

ВИГОТОВЛЕННЯ ПСЕВДОЛІГОТУР З ВІДХОДІВ ТВЕРДОСПЛАВНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

А.Ю. Діренко, студ., В.В. Ткач, проф., канд. техн. наук
*Державний вищий навчальний заклад
 "Криворізький національний університет"*

Основною технологічною операцією при виготовленні біметалічної продукції є виконання наплавлення зносостійкого шару на робочу поверхню деталі, яка супроводжується утворенням відходів у вигляді оксидів металу. Оксиди утворюються при кипінні та випаровуванні металевої основи наплавленого шару, взаємодіючи з киснем у просторі електричної дуги. При перегріві легованого шару наплавлення утворюються у великій кількості пористі оксиди заліза, що сприяє посиленню дифузії іонів металу і кисню і посиленого окислення. Уловлювання відходів наплавлення у вигляді дрібнодисперсного пилю здійснюється в аспіраційній установці з робочого місця наплавлення.

З метою попередження накопичення відходів наплавлення, запобігання їх шкідливого впливу на навколишнє середовище та зменшення втрати заліза й коштовних легуючих елементів хрому й нікелю постає актуальна задача розробки маловідходної технології

виробництва біметалу та нешкідливої утилізації утворених відходів у процесі виплавки сталі в електросталеплавильних цехах.

Оскільки відходи наплавлення містять значний відсоток заліза та легуючих елементів доцільно розробляти технологію прямого відновлення хімічних елементів у розплав з одержанням хромонікелевого сплаву.

Оксиди хрому і заліза є основними компонентами при проведенні відновлювальних робіт. На підставі багаторазових досліджень відзначені термодинамічні температури початку реакцій, а також визначені технологічні операції відновлення оксидів.

Використання вторинних матеріальних ресурсів (відходів) у сталеплавильному виробництві має передувати їх попередня підготовка, виготовлення металізованих брикетів. При виготовленні брикетів з відходів наплавлення треба дотримуватись необхідної фракції наповнювача та уведення вуглецевмісних добавок (відновлювачів), що забезпечує створення умов для прямого відновлення оксидів металу, яке відрізняється великою швидкістю реакцій з отриманням кінцевого продукту якісного металу. Розроблена технологія приготування складається з ряду послідовних технологічних операцій. Шихтовими матеріалами для виготовлення брикетів є вуглець, відходи наплавки металів біметалічного виробництва і рідке скло як зміцнювач.

Після отримання нависки підготовленої шихти дрібнодисперсних частинок робочих матеріалів, такою технологічною операцією було пресування. В результаті цієї операції частинки перетворюються в міцні спресовані брикети, форма і розміри яких визначаються матрицею. У процесі пресування при навантаженні в 62,8 МПа, вихідний обсяг змішаних металевих дисперсних частинок зменшується з подальшою консолідацією, в результаті якої формується необхідна заготовка.

Одним із способів прямого відновлення є твердофазне відновлення. Його відмітною особливістю є відновлення у твердій фазі сформованого брикету, не досягаючи при цьому рідкої фази, стадії плавлення. Твердофазне відновлення оксидів проводилося в брикетах, завантажених в піч при $t = 600^\circ\text{C}$, підйом температури виконувався зі швидкістю $50^\circ\text{C} / \text{годину}$. В температурних режимах $1100-1200^\circ\text{C}$ відбувається найбільш інтенсивне відновлення оксиду заліза твердим вуглецем.

Процес утилізації відходів наплавлення методом прямого відновлення оксидів металу при виплавці легованих марок сталі в електросталепечах не має шкідливого впливу на хімічний склад сталі та забезпечує відсутність шкідливих накопичень промислових викидів.

Список літератури

1. Плинер Ю.Л., Игнатенко Г.Ф., Лаппо С.И. Металлургия - Москва: металлургия, 1965. - 183с.
2. Андоньев С.М., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии - М.: Металлургия, 1998. - 246с.
3. Лебединец Ю.П., Опыт организации работ по утилизации и размещению промышленных отходов //Сталь.- 1999. - № 6. - с.87-90

ВНЕПЕЧНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ БЕЗНИКИЛЕВОЙ ЖАРСТОЙКОЙ СТАЛИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМОТЕРМИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.А. Глазова, студ.,
В.В. Ткач, проф., канд. техн. наук, І.Е. Скидин, доц.
Державний вищий навчальний заклад
“Криворізький національний університет”

В настоящее время в промышленных технологиях литья уделяется внимание разработке и исследованию новых методов получения расплава с целью совершенствования качества готовой отливки и экономичности ее производства.

Таким образом, рассматривается возможность внепечного производства жаростойкой стали из отходов машиностроительной отрасли и механических цехов, с помощью экзотермических реакций, что способствует снижению себестоимости литья, за счет экономии энергоресурсов, огнеупоров для футеровки плавильных агрегатов электропечей, и их обслуживания.

Значительное количество металлических отходов возникает при механической обработке отливки, в среднем это 16,8%: (окалина, металлическая стружка и др.), а учитывая то, что металлическая стружка значительно дешевле тяжеловесного металлолома, затраты на производство готовой продукции заметно уменьшаются.

В состав шихтовых материалов относим: металлическую стружку, оксид железа (окалина прокатного и кузнечного производства), алюминий, ферросплавы и другие материалы.

Свойства жаростойкой стали получают за счет наличия в ней легирующих элементов, которые определяют ее характеристики, а именно: сопротивление высокотемпературной газовой коррозии (окалиностойкость).

Роль легирующих элементов в жаростойких сплавах прежде всего заключается в том, что они изменяют состав и строение окалины, а также кинетику окисления металла.

Технологические свойства жаростойких сталей определяют содержанием в них хрома, алюминия, титана, азота и других элементов.

Расплав получаем путем запала шихты в интервале температур 500-700оС, что приведет к дальнейшему возникновения высокотемпературной экзотермической реакции между алюминием и оксидами железа и титана, сплавления спрессованной шихты и отделения шлака.

В процессе алюмотермичной реакции расплав насыщается алюминием на 1-2%, что способствует повышению жаростойких свойств высокохромистых марок стали, за счет возникновения, при эксплуатации на поверхности отливок тугоплавких оксидов алюминия, что может позволить значительно снизить количество хрома в химическом составе стали, как легирующего элемента.

Установлено, что содержание алюминия в жаростойких сталях определяется тем минимумом, при котором сохраняется высокая их жаростойкость, и тем максимумом, при котором существенно ухудшаются литейные и механические свойства.

Также при изготовлении термической шихты можно добавлять карбидный материал (азот) для усвоения его в расплаве.

Легирование расплавов азотом позволит:

- уменьшить в сплавах содержание никеля, марганца и других аустенитообразующих элементов при сохранении заданной аустенитной или иной структуры и, соответственно, уровня ферромагнитности сплава;

- увеличить содержание в сплавах элементов ферритообразователей, положительно влияющих на механические и коррозионные характеристики сплавов;
- улучшить характеристики технологической пластичности в результате расширения интервала существования аустенита в высокотемпературной области;
- повысить термическую стабильность аустенита и снизить вероятность его распада при нагреве с образованием нитридов и других фаз;
- увеличить коррозионную стойкость (сопротивление питтинговой и ножевой коррозии, коррозионному растрескиванию под напряжением, интеркристаллитной коррозии);
- повысить прочность сплавов путем использования деформационного упрочнения при наклепе [1].

Авторам работы [2] для определения растворимости азота в жидком железе до температуры 2650°С предлагается уравнение:

$$\lg[N] = (-850/T) - 0,905 + 0,5 \lg PN_2 \quad (1)$$

Из которого следует, что при $T = 1873 \text{ °K}$ и $PN_2 = 1 \text{ атм}$ $[N] = 0,044\%$.

На рис.1 представлена температурная зависимость растворимости азота в жидком железе.

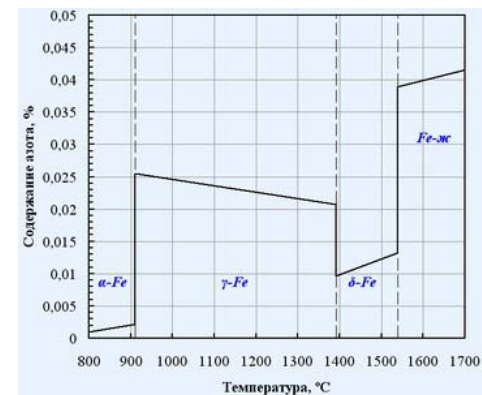


Рисунок 1 – Температурная зависимость растворимости азота в жидком железе

Азот может образовывать с железом два соединения Fe_4N (9,9% N) и Fe_2N (11,5% N). Fe_2N начинает разлагаться при температуре $\sim 550 \text{ °C}$. При дальнейшем повышении температуры начинает диссоциировать и Fe_4N .

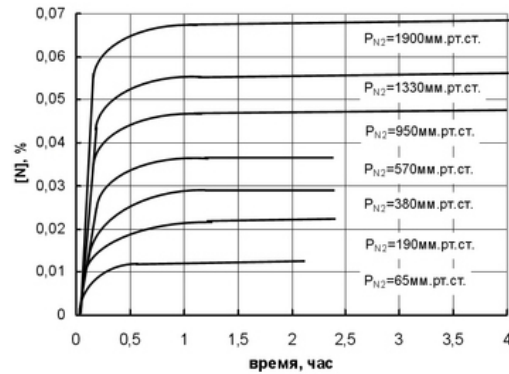


Рисунок 2 – Изменение растворимости азота в железе в зависимости от его давления и времени выдержки при температуре 1560 °С

Результаты статистической обработки показанные на рисунке 2 большого массива экспериментальных данных позволили авторам работы [3] описать растворимость азота в жидком железе двумя уравнениями:

$$\text{при } T < 1973\text{K: } \lg [N] = -560/T - 1,06 \quad (2)$$

$$\text{при } T > 1973\text{K: } \lg [N] = -1100/T - 0,79 \quad (3)$$

Таким образом, энтальпия растворения азота [4] в жидком железе до 1973 °К – 10700 Дж/моль, а выше 1973 °К – 21000 Дж/моль

Зависимость растворимости азота в жидком железе при температуре 1560 °С от парциального давления азота над расплавом показана на рис. 3.

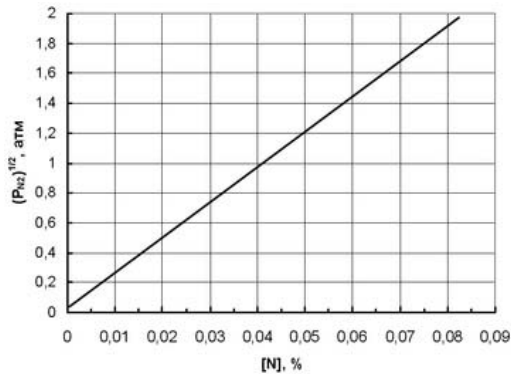


Рисунок 3 – Зависимость растворимости N от P_{N2}

Присутствие примесей влияет на скорость растворения азота в металле. Так, при увеличении концентрации кислорода в металле от 0,067 до 0,144% время достижения равновесной концентрации увеличивается с 1,5 до 3,0 часов. Отмечено и аналогичное влияние серы: при ее концентрациях 0,49 и 0,87% и давлении азота 0,1МПа время достижения равновесной концентрации возрастает до 3,0 и 6,0 часов соответственно.

Присадки титана до 0,35% способствуют уменьшению размеров зерна с 82 до 48 мкм., что улучшает как прочностные, так и пластичные свойства жаростойкой хромоалюминиевой стали.

Исследованиями установлено, что лучший комплекс литейных и механических свойств имеет среднеуглеродистая высокохромистая сталь с содержанием до 2,0% алюминия и 0,6% титана

Жаростойкие хромоалюминиевые стали обладают высокими окислительной стойкостью, термостойкостью и износостойкостью. Они в 6-8 раз превосходят по окислительной стойкости хромоникелевые стали при температурах эксплуатации выше 1200 °С, по термостойкости - в 1,5-2,0 раза, по износостойкости - в 2,0-3,0 раза.

Изготовление литых деталей из безникелевых жаростойких сплавов внепечным алюмотермичным методом позволит сохранить их удовлетворительные литейные свойства и уменьшить затраты на производство. Новые безникелевые жаростойкие стали могут быть использованы для изготовления литых деталей в теплоэнергетике, черной металлургии, химической и других отраслях тяжелой промышленности.

Использование деталей, изготовленных из безникелевой жаропрочной стали, на тепловых электростанциях (насадки горелок, форсунки, газовые сопла и др.). Позволяет в 4-6 раз продлить срок их службы.

Список литературы

1. Костина М.В. Развитие принципов легирования Cr-N сталей и создание коррозионно-стойких сталей нового поколения со структурой азотистого мартенсита и аустенита для высоконагруженных изделий современной техники. - Дис. ... Д-р тех. наук. - М.: ИМЕТ РАН, 2003. - 231 с.
2. Самарин А.Н. Замена никеля азотом в жароупорной стали. // Известия АН СССР. ОТН - 1944. - № 1-2.
3. Просвиринов В.И., Агапова Н.П. Влияние азота на свойства стали с высоким содержанием хрома. СБ трудов / ЦНИИТМАШ "Азот в стали"-М.: Машгиз, № 1950. - № 29.
4. www.nglib.ru. Бородулин Г.М. << Нержавеющая сталь >> Глоссарий, буква "А" Предложения в тексте с термином "Азот"
4. http://steelcast.ru/nitrogen_in_steel

ОБґРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ КУЛЬ, ЩО МЕЛЮТЬ

К.О. Кочергін, студ.,
В.В. Ткач, проф., канд. техн. наук, О.М. Кіщенко, ас.
Державний вищий навчальний заклад
"Криворізький національний університет"

Здобрівнювання матеріалів у кульових млинах є важливою операцією в технології виробництва рудних концентратів, будівельних та інших матеріалів. Зі збільшенням у загальному балансі руд, що видобуваються, міцних тонковкраплених різновидів та необхідністю їх тонкого помелу потреба у виробництві тіл, що мелють, на внутрішньому ринку України зростає до 350 тис. тонн на рік.

Матеріальні витрати на тіла, що мелють, у собівартості переділу складають 12–15 % [1], а витрати самих тіл на вітчизняних збагачувальних фабриках у два рази більші порівняно з передовими зарубіжними гірничо-збагачувальними комбінатами. Зменшити ці витрати можливо завдяки підвищенню зносостійкості та ударостійкості тіл, що мелють, з одночасним зниженням собівартості їх виробництва.

Окрім фізико-механічних параметрів подрібнюваних матеріалів стійкість тіл, що мелють, визначається матеріалом для їх виробництва та технологією отримання. Саме технологічні особливості виробництва й зумовлюють макро- та мікроструктуру, твердість та об'ємну пористість.

Важливу роль в обґрунтуванні технологічних параметрів литва тіл, що мелють, відіграє комп'ютерне моделювання процесів заливки та кристалізації розроблених сплавів.

До куль, що мелють, пред'являються дві взаємовиключні вимоги за спеціальними властивостями: висока зносостійкість та ударна в'язкість, яка визначає їх ударостійкість. Збільшення показника твердості, за яким прийнято оцінювати якість куль, досягається при їх литві в кокіль з синтетичного чавуну. Твердість вибіленого синтетичного чавуну, отримувана у верхніх шарах куль, виникає унаслідок зміни вмісту вуглецю та кремнію й помірній швидкості охолодження [2].

При литві у металеву форму підвищення твердості куль та одночасне збільшення готової продукції можливе внаслідок удосконалення конструкції кокілю. Роботи з оптимізації кокілю є трудомісткими, потребуючими значних витрат, тому для їх скорочення доцільно застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення.

Як свідчить досвід використання систем комп'ютерного моделювання ливарних процесів, технолог має можливість проаналізувати весь технологічний цикл отримання виливок як у декілька сотень грамів, так і багатотонних виробів [3]. Він у реальному часі отримує важливу інформацію про гідродинамічні, теплові та фазові процеси, які відбуваються при заповненні форми металом і подальшому твердінні, на підставі якої обирає метод заливки/живлення та сплав; відстежує зміну температурно-фазових полів процесу кристалізації; місця появи дефектів і процес їх формування; визначає оптимальне розташування виливки у формі, температури заливки, конструкцію та місцезоположення ливникових систем тощо. Крім того, застосування систем комп'ютерного моделювання дозволяє на основі новітніх досягнень фундаментальних наук відпрацьовувати методологію моделювання, експериментально підтверджувати та удосконалювати теоретичні положення методів ливарного виробництва; забезпечує підвищення якості розробки нових виробів та способів їх отримання; сприяє зростанню продуктивності праці розробників та скороченню термінів проектування або оптимізації технології.

Застосування кокілів відомих конструкцій при виробництві куль на кулеливарних машинах не дозволяє підвищити їх продуктивність, а заміна переважно використовуваних на підприємствах України машин типу МККК-1 на більш нові та продуктивні потребує значних капітальних витрат. Тому з метою підвищення продуктивності та зменшення відсотку браку, зумовленого ливарними дефектами, особливостями технології та обладнання, зносом металевого оснащення, необхідно оптимізувати існуючу технологію отримання куль, що мелють.

У даній роботі вирішується задача обґрунтування на основі комп'ютерного моделювання технологічних параметрів отримання методом литва у кокіль куль, що мелють, які б забезпечили збільшення виробництва конкурентоздатної продукції.

Визначення можливості удосконалення конструкції кокілю, яка б забезпечувала виготовлення удвічі більшої кількості виливок, здійснювалось на підставі результатів моделювання заливки сплаву та його кристалізації.

У САД-системі Компас-3D було розроблено декілька варіантів удосконаленої конструкції кокілю (для машини МККК-1) збільшеної зі 165 до 255 мм глибини, які передано у якості геометричної моделі форми для заливки в системі автоматизованого моделювання ливарних процесів LVMFlow. Діаметр верхнього живильника 30 мм не змінювався, що зумовлено постійним кутом нахилу каруселі.

Конструкцією кокілю передбачена одночасна заливка двох куль на одній ливниковій системі у вертикальному напрямі. Розміри живильників визначалися за умов отримання належної рідкотекучості при різних температурах кокілю.

При заливці металу в розігрітий кокіль через живильник куль верхнього ярусу з висотою 20 мм та живильник куль нижнього ярусу з висотою 24 мм й діаметром 14 мм верхні кулі заповнюються швидше нижніх, що призводить до невірному напрямку кристалізації та виникнення розгару стінок кокілю.

Наступна серія дослідів проводилась для конструкції кокілю з діаметром та висотою нижнього живильника 14 та 10 мм відповідно і незмінними геометричними розмірами верхнього. Висоту нижнього живильника знизили з метою швидшого заповнення нижніх куль металом. Моделювання процесу заливки показало, що заповнення нижніх куль відбувається швидше верхніх, кристалізація йде у вірному напрямку, але, як і в попередньому досліді, спостерігається розгар стінок кокілів.

При розробці третьої конфігурації ливникової системи заливки (рис. 1) нижній живильник виконали зі збільшеним діаметром 16 мм та довжиною 10 мм, а верхній – у вигляді «лійки» з нижнім діаметром 16 мм. Також було розроблено ребра у нижній частині кокілю для збільшення площі поверхні його взаємодії з повітряно-краплинною охолоджувальною системою. Результати моделювання показали рівномірну кристалізацію куль верхнього та нижнього ярусів й відсутність локального перегріву кокілю. Отже, третю конфігурацію ливникової системи можна вважати оптимальною, і саме для цієї конструкції кокілю проводились подальші дослідження.

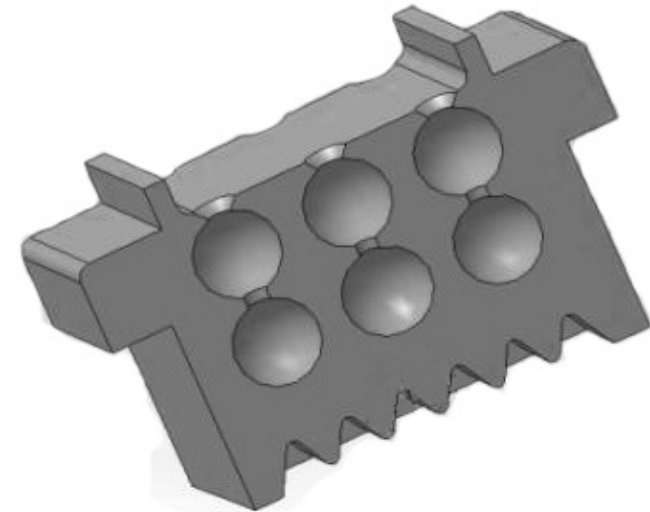


Рисунок 1 – 3D-модель удосконаленого кокілю

У наступній серії експериментів з метою уникнення ливарних дефектів, таких як недоливи та гарячі тріщини, визначався оптимальний температурний інтервал заливки куль з одного ковшу. При температурах 1350-1400°C у кулях нижнього ярусу по усій довжині від центру до живильника спостерігається усадочна пористість 1,56% з найбільшими значеннями на відстані 3 та 15 мм від центру. У кулях верхнього ярусу, окрім усадочної пористості, спостерігаються значні усадочні раковини на поверхні. При зменшенні температури до 1300-1350°C пористість зменшується (1,25%) і зосереджується переважно у верхніх шарах куль. Заливка при менших температурах недоцільна, оскільки рідкотекучість чавуну значно знижується і призводить до недоливу куль нижнього ярусу. Таким чином, температурний інтервал заливки чавуну зазначеного хімічного складу 1300-1350 °C є оптимальним.

Сучасний підхід до розробки технологічного процесу отримання якісних виливків, який ґрунтується на використанні комп'ютерної техніки та спеціалізованих програмних комплексів, забезпечує покращення якості, збільшення виходу придатної продукції та зменшення вартості оптимізованого процесу литва.

Список літератури

1. Несвижский О. А. Производство мелющих тел для шаровых мельниц / Несвижский О. А. М. : Машгиз, 1961. – 149 с.
2. Рябов О.Ф. Мелющие шары из легирующего чугуна / О.Ф. Рябов // Горный Журнал. – 1987. – №1. – С. 17–18.
3. Кривенков И. В. Применение системы LVMFlow в магнитогорском ЗАО «Механоремонтный комплекс» / И. В. Кривенков, Е. Н. Осипов, В. В. Турищев // CADmaster. – 2007. – №39/4. – С. 46–48; – Режим доступа к журн. : http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_39_lvmflow.html

де x_i, x_j – фактори; i, j – номери факторів; a_i, a_{ij}, a_{ii} – коефіцієнти полінома, які підлягають визначенню внаслідок проведення експерименту і обробки його даних.

Потреба в побудові квадрики виникає в таких випадках:

1) коли метою експерименту є побудова математичної моделі об'єкта дослідження, а поліном першого степеня чи неповний поліном другого степеня, знайдені вищенаведеними способами, не є адекватними;

2) коли метою експерименту є визначення оптимуму і відома так звана майже стаціонарна область, тобто область, в якій знаходиться оптимум.

Маючи квадрику, можна визначити координати оптимальної точки звичайним математичним прийомом: продиференціювавши цей поліном по всіх факторах, прирівнявши до нуля всі одержані перші частинні похідні і розв'язавши знайдену систему рівнянь відносно факторів, знайти екстремум.

Матриця планування експерименту для одержання квадрики будується у такій спосіб. За основу плану береться матриця ПФЕ (рис.1, точки 1, 2, 3 і 4), яка в даному випадку називається ядром композиційного плану.

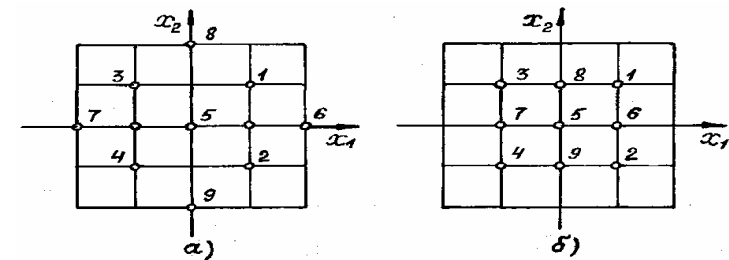


Рисунок 1 – Розташування дослідних точок при рівномірному (а) і центральному (б) варіантах плану на 9 точок при $k=2$

ПОБУДОВА І АНАЛІЗ ПОВНОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ ЗАЛЕЖНОСТІ $\tau_r = f(\zeta, m_c)$ ДЛЯ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ

В.В. Ніколаєва, студ.,
Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук
 Кіровоградський національний технічний університет

Методи активного експерименту посідають важливе місце в діяльності інженера-технолога. Їх застосування дозволяє отримувати математичні моделі, що описують властивості широкого класу об'єктів досліджень. При цьому не виникає необхідність в оцінці процесів, що протікають всередині об'єкта. Отримання математичної моделі забезпечується чітким виконанням алгоритму досліджень і надійним визначенням функції відгуку об'єкта.

Методика побудови квадрики за композиційним планом.

Повний поліном другого степеня (квадрика) для k факторів має такий вигляд:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

Поряд з дослідями ядра плану в експерименті передбачаються додаткові досліді: у нульовій точці 5, а також в так званих зіркових точках 6, 7, 8 і 9 (див. рис.1). Усього, таким чином, при $k=2$ буде дев'ять дослідів замість чотирьох при ПФЕ.

План експерименту, представлено на рис.1, а, можна записати у вигляді наступної матриці:

Таблиця 1 – План експерименту у вигляді матриці

№ досліді	x_1	x_2
1	1	1
2	1	-1
3	-1	1
4	-1	-1
5	0	0
6	2	0
7	-2	0
8	0	2
9	0	-2

Як видно із наведеної таблиці 1, а також із рис. 1, а, зіркові точки знаходяться від центра плану на відстані у два інтервали варіювання.

Після визначення параметра оптимізації у кожному досліді приступають до розрахунку коефіцієнтів полінома за наступною загальною формулою:

$$a_j = (1/c_j) \sum_{i=1}^N y_i b_{ij}, \quad (2)$$

де y_i – значення параметра оптимізації у i -му досліді ($i = 1, 2, \dots, N$), N – кількість дослідів у експерименті, b_{ij} – константи, чисельні значення яких для рівномірного плану 32 (див. рис. 1, а) представлені у табл. 2.

Таблиця 2 – Значення констант b_{ij} двофакторної квадрики для рівномірного варіанту плану 32

№ досл.	c_j						y_i
	9	12	12	48	48	4	
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	1	1	-2	-2	-1	y_1
2	2	1	-1	-2	-2	-1	y_2
3	2	-1	1	-2	-2	-1	y_3
4	2	-1	-1	-2	-2	1	y_4
5	5	0	0	-8	-8	0	y_5
6	-1	2	0	7	1	0	y_6
7	-1	-2	0	7	1	0	y_7
8	-1	0	2	1	7	0	y_8
9	-1	0	-2	1	7	0	y_9

Нижні індекси j при векторах b співпадають з індексами при коефіцієнтах квадрик. Аналогічні таблиці складені для три- і чотирифакторних квадрик.

Розглянемо побудову двофакторних квадрик на прикладі залежностей температури чавуну t_c і температури відхідних газів t_g на виході з вагранки від питомої витрати повітря L'_a $\text{нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$ і відносної витрати вуглецю коксу m_c , % від витрати металозавалки, згідно з експериментальними даними, представленими на номограмі Патерсона (рис.2) і в табл.1.

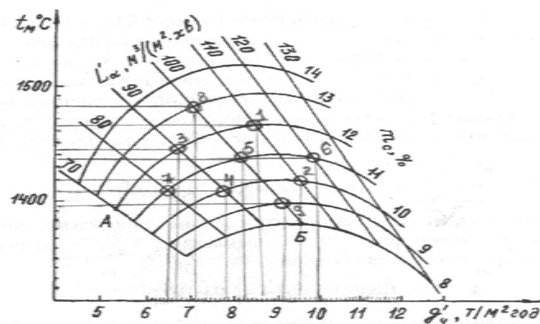


Рисунок 2 – Номограма Патерсона

Таблиця 3 – Залежність g_c , t_c і t_g від i та m_c

№ досл.	x_1	x_2	L'_a , $\text{нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$	m_c , % від маси металозавалки	α	g_c , $\text{т}/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$		t_c , $^\circ\text{C}$		t_g , $^\circ\text{C}$	
						експ	розн	експ	розн	експ	розн
1	1	1	110	12	0,75	8,6	8,1	1465	1458	610	618
2	1	-1	110	10	0,78	9,5	9,3	1420	1429	575	572
3	-1	1	90	12	0,75	6,7	6,6	1445	1443	573	568
4	-1	-1	90	10	0,78	7,8	7,6	1410	1416	480	497
5	0	0	100	11	0,76	8,2	7,9	1436	1438	562	569
6	2	0	120	11	0,76	9,9	9,5	1436	1444	661	626
7	-2	0	80	11	0,76	6,5	6,3	1410	1420	451	502
8	0	2	100	13	0,73	7,1	7,0	1480	1465	633	612
9	0	-2	100	9	0,80	9,1	9,2	1395	1411	435	496

Розрахунки величини α по формулі:

$$\alpha = 2,0/m_c + 0,58 - \text{статистична залежність}; \quad (3)$$

$$\alpha = 6,75 \cdot 10^{-3} L'_a B / m_c \cdot g_c - \text{теоретична залежність}; \quad (4)$$

де $B = 0,98$ % - вихід рідкого чавуну в кг на 100 кг металозавалки;

L'_a - питома витрата повітря у $\text{нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$;

g_c - питома продуктивність вагранки у $\text{т}/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$;

m_c - відносна витрата вуглецю коксу у відсотках від маси металозавалки.

Щоб порівняти значення α , спочатку знаходимо статистичну залежність:

$$\alpha_1 = 2,0/12 + 0,58 = 0,75;$$

$$\alpha_2 = 2,0/10 + 0,58 = 0,78;$$

Тепер знаходимо теоретичну залежність α :

$$\alpha_1 = 6,75 \cdot 10^{-3} \cdot 110 \cdot 0,98/12 \cdot 0,08 = 0,73/0,96 = 0,76;$$

Залежність питомої продуктивності вагранки g_c $\text{т}/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$, знаходять теоретично, скориставшись рівнянням хімічної реакції $C + \alpha O_2 = 2(\alpha - 0,5)CO_2 + 2(1 - \alpha)CO$:

$$g_c = L'_a \cdot 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot B \cdot 60 / 22,4 \cdot \alpha \cdot m_c \cdot 1000.$$

$$g_c = \frac{L'_a \cdot 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot B \cdot 60}{22,4 \cdot \alpha \cdot m_c \cdot 1000} = \frac{110 \cdot 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot 0,98 \cdot 60}{22,4 \cdot 0,75 \cdot 12 \cdot 1000} = 0,08;$$

$$\alpha_2 = 6,75 \cdot 10^{-3} \cdot 110 \cdot 0,98/10 \cdot 0,09 = 0,73/0,90 = 0,81;$$

$$g_c = \frac{L'_a \cdot 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot B \cdot 60}{22,4 \cdot \alpha \cdot m_c \cdot 1000} = \frac{110 \cdot 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01 \cdot 0,98 \cdot 60}{22,4 \cdot 0,78 \cdot 10 \cdot 1000} = 0,09.$$

Розрахунки величини α , виконані за рівнянням (4) при використанні даних із номограми Патерсона (рис.2), показали, що найбільший і вирішальний вплив на формування величини α чинить параметр m_c . Решта параметрів виразу (4) на α практично не впливають.

При виході рідкого чавуну $B = 98\%$ від маси металозавалки:

$$g'_c = 0,6615 \cdot L'_c / \alpha \cdot m_c - \text{статистична залежність}; \quad (5)$$

$$g'_c = 0,6615 \cdot 110 / 0,75 \cdot 12 = 8,1 \text{ т/м}^2 \cdot \text{хв};$$

$$g'_c = 0,6615 \cdot 110 / 0,78 \cdot 10 = 9,3 \text{ т/м}^2 \cdot \text{хв};$$

В якості прикладу покажемо визначення коефіцієнтів a_0 і a_1 квадратики $t_c = f(L'_c, m_c)$:

$$a_0 = (1465 \cdot 2 + 1420 \cdot 2 + 1445 \cdot 2 + 1410 \cdot 2 + 1436 \cdot 5 - 1436 \cdot 1 - 1410 \cdot 1 - 1480 \cdot 1 - 1395 \cdot 1) / 9 = 1438;$$

$$a_1 = (1465 \cdot 1 + 1420 \cdot 1 - 1445 \cdot 1 - 1410 \cdot 1 + 1436 \cdot 0 + 1436 \cdot 2 - 1410 \cdot 2 + 1480 \cdot 0 + 1395 \cdot 0) / 12 = 9,1$$

Знайдені за розглянутою методикою залежності мають такий вигляд:

$$t_c = 1438 + 9,1x_1 + 20,8x_2 + 2,5x_1x_2 - 3,6x_1^2 + 0,1x_2^2; \quad (6)$$

де $x_1 = (L'_c - 100) / 15$ і $x_2 = (m_c - 11) / 1,5$ – кодовані значення факторів.

$$x_1 = 110 - 100 / 15 = 0,7; x_2 = 12 - 11 / 1,5 = 0,7;$$

$$x_1 = 110 - 100 / 15 = 0,7; x_2 = 10 - 11 / 1,5 = -0,7.$$

$$t_c = 1438 + 9,1 \cdot 0,7 + 20,8 \cdot 0,7 + 2,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 - 3,6 \cdot 0,7^2 + 0,1 \cdot 0,7^2 = 1458 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$t_c = 1438 + 9,1 \cdot 0,7 + 20,8 \cdot (-0,7) + 2,5 \cdot 0,7 \cdot (-0,7) - 3,6 \cdot 0,7^2 + 0,1 \cdot (-0,7)^2 = 1429 \text{ }^\circ\text{C}$$

Аналогічно одержано рівняння залежності $t_r (L'_c, m_c)$ при тих же кодованих значеннях факторів:

$$t_r = 567,3 + 46,0x_1 + 43,7x_2 - 2,5x_1^2 - 8,0x_2^2 - 14,5x_1x_2; \quad (7)$$

При використанні натуральних значень факторів залежність (7) має вигляд:

$$t_r = -1310,1 + 12,4 L'_c + 171,7 m_c - 0,01111 L'_c{}^2 - 3,5555 m_c{}^2 - 0,6444 L'_c m_c;$$

$$t_r = -1310,1 + 12,4 \cdot 110 + 171,7 \cdot 12 - 0,01111 \cdot 110^2 - 3,5555 \cdot 12^2 - 0,6444 \cdot 110 \cdot 12 = 618 \text{ }^\circ\text{C}$$

Результати розрахунків за формулами (6) і (7) добре узгоджуються з експериментальними даними (див. табл. 2).

Для економії палива та перегріву чавуну в формі повітря підігривають (перегрітий чавун краще заповнює форми). Підігрів повітря до 200 – 250 °С сприяє збільшенню продуктивності вагранки на 10-15% і або зниження витрати коксу на 15-20%, або підвищення температури чавуну на 20-25%. Для зниження витрат коксу на деяких заводах використовують природний газ.

Список літератури

1. Сабірзянов Т.Г. Математичне моделювання технологічних процесів лиття: Навчальний посібник для студентів-ливарників вищих навчальних закладів III – IV рівней акредитації. – Кіровоград: КНТУ, 2007. - 72 с.
2. Рафалес-Ламарка Э.Э., Николаев В.Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. – К.: Наукова думка, 1971. – 119 с.
3. Сабірзянов Т.Г. Анализ теплообмена в зоне подогрева вагранки // Констр. и техн. пр-ва с/х машин. – 1975. – В. 5. – С. 77- 80.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДЛИВКІВ ІЗ СІРОГО ЧАВУНУ ВІД ЇХ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

І.О. Федосова, студ., Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

З метою оперативного втручання в процес плавки чавуну і запобігання браку відливків з механічних властивостей треба мати змогу швидко визначати останні за хімічним складом чавуну. Таку змогу надають математичні моделі, які встановлюють взаємозв'язки між тєю чи іншою властивістю металу і його хімічним складом.

В даній роботі розглядається побудова статистичної математичної моделі

$$y = f([C], [Si], [Mn]), \quad (1)$$

де σ – міцність чавуну на згин, кг/мм²;

[C], [Si], [Mn] – вміст в чавуні вуглецю, кремнію і марганцю, % за масою, шляхом статистичної обробки даних пасивного експерименту при використанні методу ізофакторних розрізів [1].

Дуже часто залежність (1) лінійна. В цьому випадку вона зображається поліномом

$$\sigma = a_0 + a_1[C] + a_2[Si] + a_3[Mn], \quad (2)$$

коефіцієнти якого представляють собою тангенси кутів нахилу гіперплощини, що характеризується рівнянням (2), в напрямку відповідних координатних осей, отже їх можна визначити за нахилом прямих на відповідних ізофакторних розрізах. При цьому лінеаризацію можна здійснювати за допомогою відомих методів, наприклад, методу середніх або МНК [1].

Значення коефіцієнта a_0 можна знайти на підставі природного припущення про те, що гіперплощина (2) проходить через середню точку масиву експериментальних даних. Це означає, що для знаходження a_0 треба у рівняння (2) підставити знайдені раніше значення коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_k , а також значення всіх параметрів середньої точки і розв'язати одержане у такий спосіб рівняння відносно a_0 .

В якості прикладу розглянуто побудову математичної моделі міцності сірого чавуну на згин згідно з первинними даними [2], наведеними в перших п'яти колонках табл. 1.

Таблиця 1 – Дані пасивного експерименту та їх обробка

№ п/п	Вміст, % за масою			σ , кг/мм ²	[C] σ	[C] ²	Дані за виразом			
	[C]	[Si]	[Mn]				(8)		(9)	
							σ_p	($\Delta \sigma$) ²	σ_p	($\Delta \sigma$) ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,40	1,60	0,78	41,6	141,4	11,56	41,5	0,00	42,24	0,41
2	3,40	1,57	0,79	41,0	139,4	11,56	41,6	0,38	42,20	1,43
3	3,48	1,57	0,80	44,1	153,5	12,11	39,7	19,62	40,37	13,91
4	3,56	1,35	0,89	37,0	131,7	12,67	38,2	1,51	38,20	1,44
5	3,56	1,66	0,77	41,3	147,0	12,67	37,6	13,77	38,72	6,66
6	3,56	1,66	0,77	41,3	147,0	12,67	37,6	13,77	38,72	6,66
7	3,40	1,46	0,73	48,0	163,2	11,56	42,9	26,15	42,46	30,74
8	3,32	1,66	0,64	61,0	202,5	11,02	44,4	273,90	44,63	268,08
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

9	3,56	1,41	0,72	32,6	116,1	12,67	39,6	48,90	38,94	40,15
10	3,60	1,41	0,70	33,3	119,9	12,96	38,9	31,05	38,13	23,35
11	3,6	1,42	0,73	33,3	118,8	12,96	38,5	30,34	38,00	25,02
12	3,52	1,32	0,52	38,0	133,8	12,39	43,1	25,85	40,69	7,26
13	3,64	1,56	0,60	33,0	120,1	13,25	38,1	25,06	37,68	21,86
14	3,4	1,42	0,69	32,3	109,8	11,56	43,5	126,15	42,63	106,68
15	3,36	1,38	0,69	45,0	151,2	11,29	44,9	0,01	43,61	1,94
16	3,12	1,20	0,50	47,5	148,2	9,73	53,2	32,95	49,69	4,78
17	3,44	1,70	0,79	39,4	135,5	11,83	39,9	0,27	41,30	3,63
18	3,24	1,80	0,79	36,7	118,9	10,50	43,9	52,38	45,76	82,04
19	3,52	1,73	0,77	38,6	135,9	12,39	38,1	0,26	39,61	1,02
20	3,56	1,20	0,62	37,6	133,9	12,67	41,9	18,18	39,37	3,13
21	3,48	1,66	0,72	39,4	137,1	12,11	39,9	0,30	40,72	1,74
22	3,60	1,64	0,72	39,2	141,1	12,96	37,3	3,04	38,05	1,33
23	3,12	1,43	0,71	49,5	154,4	9,73	49,7	0,05	48,78	0,52
24	3,48	1,71	0,76	38,7	134,7	12,11	39,7	0,29	40,54	3,40
25	3,20	1,51	0,76	45,8	146,6	10,24	46,9	1,21	46,78	0,96
26	3,08	1,46	0,73	42,5	130,9	9,49	50,3	60,44	49,58	50,13
27	3,60	1,58	1,27	40,2	144,7	12,96	32,1	06,07	35,66	20,60
28	3,60	1,82	0,70	40,5	145,8	12,96	36,4	16,65	38,13	5,61
29	3,48	1,60	0,74	42,8	148,9	12,11	40,1	7,29	40,63	4,71
30	3,32	1,08	0,55	58,3	193,6	11,02	48,8	89,62	45,02	176,44
Σ	103,24	45,67	21,85	1239,4	4248,0	356,03	1247,3	994,22	1246,2 7	920,02
Σ/n	3,44	1,52	0,73	41,3	141,6	11,87	41,6	33,14	41,5	30,67
(Σ/n) ^{1/2}	-	-	-	-	-	-	-	5,76	-	5,54

Ізофакторні розрізи (рис. 1) вказують на те, що залежність (1) слід шукати у вигляді лінійного полінома (2).

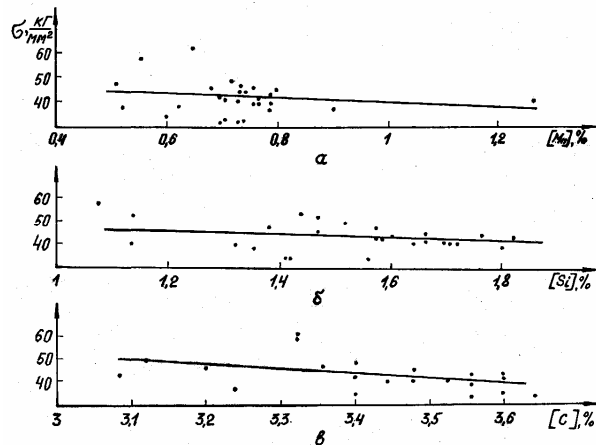


Рисунок 1 – Залежність міцності сірого чавуну на згин від вмісту в ньому марганцю (а), кремнію (б) і вуглецю (в)

Знайдемо коефіцієнт a_1 рівняння (2) методом середніх і МНК на підставі даних другої і п'ятої колонок табл. 1.

Як відомо, метод середніх полягає в тому, що весь масив експериментальних даних розбивається на дві приблизно однакові частини. Для кожної з них знаходять координати середніх точок $[\bar{C}]'$, $\bar{\sigma}'$ і $[\bar{C}]''$, $\bar{\sigma}''$, відповідно (див. табл. 1):

$$[\bar{C}]' = (3,40 + 3,40 + 3,48 + 3,40 + 3,32 + 3,36 + 3,36 + 3,12 + 3,44 + 3,24 + 3,48 + 3,12 + 3,48 + 3,20 + 3,08 + 3,48 + 3,32)/17 = 3,34;$$

$$\bar{\sigma}' = (41,6 + 41,0 + 44,1 + 48,0 + 61,0 + 32,3 + 45,0 + 47,5 + 39,4 + 36,7 + 39,4 + 49,5 + 38,7 + 45,8 + 42,5 + 42,8 + 58,3)/17 = 44,3;$$

$$[\bar{C}]'' = (3,56 + 3,60 + 3,56 + 3,56 + 3,60 + 3,60 + 3,52 + 3,64 + 3,52 + 3,56 + 3,60 + 3,60 + 3,60)/13 = 3,58.$$

$$\bar{\sigma}'' = (37,0 + 41,5 + 41,3 + 32,6 + 33,3 + 33,0 + 38,0 + 33,0 + 38,6 + 37,6 + 39,2 + 40,2 + 40,5)/13 = 37,4.$$

Маючи координати двох середніх точок, знаходимо параметри рівняння прямої

$$\sigma = k[C] + b, \quad (3)$$

що проходить через ці середні точки:

$$k = (\bar{\sigma}' - \bar{\sigma}'') / ([\bar{C}]' - [\bar{C}]'') = (44,3 - 37,4) / (3,34 - 3,58) = -28,75;$$

$$b = \bar{\sigma}' - k[\bar{C}]' = 44,3 + 28,75 \cdot 3,34 = 140,32.$$

Отже, знайдена за методом середніх залежність $\sigma([C])$ має вигляд:

$$\sigma = 140,32 - 28,75[C]. \quad (4)$$

Скориставшись відомими формулами, що відповідають МНК, а також даними табл. 1, знаходимо наступні параметри рівняння (3):

$$k = (\sum[C] \cdot \sum\sigma - n \sum[C] \cdot \bar{\sigma}) / (\sum[C]^2 - n \sum[C]^2) = (103,24 \cdot 1239,4 - 30 \cdot 4248) / (103,24^2 - 30 \cdot 356,03) = -23,02;$$

$$b = \bar{\sigma} - k[\bar{C}] = 41,3 + 23,02 \cdot 3,44 = 120,48.$$

Отже, за методом найменших квадратів знаходимо:

$$\sigma = 120,48 - 23,02[C]. \quad (5)$$

Порівнявши вирази (4) і (5), можна констатувати, що вони є доволі близькими.

Аналогічно рівнянню (5) були знайдені рівняння, які характеризують вплив вмісту кремнію і марганцю на міцність сірого чавуну на згин:

$$\sigma = 50,42 - 5,98[Si]; \quad (6)$$

$$\sigma = 48,70 - 10,15[Mn]. \quad (7)$$

Згідно з рівняннями (6) і (7) кремній і марганець, як і вуглець, негативно впливають на величину σ , тільки в дещо меншій мірі, ніж останній.

Далі знаходимо коефіцієнт a_0 (див. табл. 1):

$$a_0 = \bar{\sigma} - \left(a_1 [\bar{C}] + a_2 [\bar{Si}] + a_3 [\bar{Mn}] \right) = 41,3 - (-23,02 \cdot 3,44 - 5,98 \cdot 1,52 - 10,15 \cdot 0,73) = 136,99.$$

Отже, відшукувана залежність має такий вигляд:

$$\sigma = 136,99 - 23,02[C] - 5,98[Si] - 10,15[Mn] \quad (8)$$

Для порівняння були розраховані коефіцієнти відшуканої математичної моделі в середовищі MathCAD з використанням матричної алгебри, що надало змогу одержати вираз

$$\sigma = 121,31 - 22,26[C] - 0,30[Si] - 4,03[Mn]. \quad (9)$$

Слід зауважити, що рівняння (8) і (9), незважаючи на відмінність їх коефіцієнтів, характеризуються практично однією і тією ж похибкою прогнозування вихідної величини, про що свідчать дані колонок 9 і 11 табл. 1.

Висновок. Одержана адекватна статистична математична модель $y = f([C], [Si], [Mn])$, якою можна користуватись на практиці для прогнозування механічних властивостей сірого чавуну.

Список літератури

1. Сабірязнов Т.Г. Математичне моделювання технологічних процесів лиття. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 74 с.
2. Пельх С.Г., Семесенко М.Г. Оптимизация литейных процессов. – К.: Вища школа, 1977. – 188 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ОХОЛОДЖЕННЯ МЕТАЛУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

Д.М. Біловодський, студ., Т.Г. Сабірязнов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідженню динаміки кристалізації металу в ливарній формі присвячена значна кількість робіт вітчизняних і зарубіжних вчених – Б.Б. Гуляєва, А.Й. Вейника, Е.М. Гольдфарба, Г.Ф. Баландіна, Г.А. Анісовича, С. Шварца, М.І. Хворінова, Б. Чалмерса, Р.У. Раддла і багатьох інших [1].

Підвищена увага до даної проблеми пояснюється тим, що можливість надійно і швидко розраховувати процес охолодження відливка та його окремих вузлів дозволила б удосконалити технологію лиття, скорочувати брак відливоків, більш обґрунтовано вибирати раціональну довжину дільниць охолодження на автоматичних ливарних лініях, а отже більш економно використовувати матеріальні та енергетичні ресурси, зменшувати витрати на капітальне будівництво тощо.

Одержані на даний час результати досліджень теплової взаємодії металу з ливарною формою мають величезне наукове і практичне значення, однак вони не вирішують проблему в повному обсязі, бо теоретичні дослідження через складність задач, виявились громіздкими і торкались, в основному, тіл простої геометричної форми, а практичні рекомендації часто обмежувались так званім законом квадратного кореня, згідно з яким товщина шару металу, що закристалізувався, прямо пропорційна кореню квадратному від часу твердіння. Такі співвідношення були недостатньо зручними для практичного використання через невизначеність в багатьох випадках коефіцієнта пропорційності (коефіцієнта тверднення), який представляє собою по суті звичайний “коефіцієнт незнання” в теоретико-статистичних чи статистичних математичних моделях [2].

Метою даної роботи була подубова теоретичної математичної моделі динаміки охолодження металу в піщаноглинистій формі, яка із задовільною точністю дозволяла б розраховувати теплообмін між будь-яким ливарним сплавом і формою від кінця заливки до моменту вибивки відливка із форми.

Для досягнення цієї мети скористасмося представленим, наприклад, в роботі [3] розв’язком задачі щодо нестационарної теплопровідності крізь напівобмежену плоску стінку при граничних умовах першого роду, характерних для кристалізації чистих металів або евтектичних сплавів в піщаноглинистих формах:

$$\frac{t_n - t}{t_n - t_\phi} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{U_0}^U e^{-U^2} dU, \quad (1)$$

де t_n – стала температура на границі “метал-форма”;

t_ϕ – температура форми перед заливкою;

t – змінна температура форми на відстані x від границі “метал-форма”;

U – безрозмірна комплексна змінна, яка визначається за формулою $U = x/2\sqrt{\tau}$ і в якій τ – час від початку охолодження;

$U_0 = 0$ – значення комплексної змінної U на границі “метал-форма”, де $x = 0$.

Продиференціювавши рівняння (1) по x і підставивши одержаний результат у формулу, яка відображає закон Фур’є

$$q = -\lambda(\partial t / \partial x), \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу форми, одержуємо вираз для розрахунку густини теплового потоку q через поверхню, розташовану на відстані x від границі “метал-форма”:

$$q = \frac{\lambda(t_n - t_\phi)}{\sqrt{\pi a \tau}} \exp\{-x^2/4a\tau\}, \quad (3)$$

де $a = \lambda/c\rho$ – коефіцієнт температуропровідності форми (ρ – густина, c – теплоємність матеріалу форми).

Для розрахунку динаміки охолодження металу в ливарній формі потрібна величина q_n – густина теплового потоку на границі “метал-форма”, вираз для якої знаходимо, підставивши $x = 0$ у формулу (3):

$$q_n = \lambda(t_n - t_\phi) / \sqrt{\pi a \tau}. \quad (4)$$

Скориставшись співвідношенням $a = \lambda/\rho c$, вираз (4) можна представити у вигляді

$$q_n = (t_n - t_\phi) \rho / \sqrt{\pi \tau}, \quad (5)$$

де $b = \sqrt{\lambda \rho c}$ – коефіцієнт термоінерції форми.

В періоди зняття теплоти перегріву і охолодження відливка у формі до моменту вибивки температура на границі “метал-форма” не є константою, вона поступово зменшується, і вираз (5), строго кажучи, не відповідає реальній ситуації. Однак, можна умовно прийняти, що характер взаємозв’язку між параметрами t , x і τ , який встановлюється рівняннями (3)...(5), зберігається також і для цих періодів, тільки під t_n слід розуміти змінну температуру. Тоді з’являється можливість одержати формули для розрахунку тривалості всіх трьох періодів процесу – 1) зняття теплоти перегріву металу, 2) твердіння металу і 3) охолодження відливка у формі до моменту його вибивки.

Склавши і розв’язавши диференціальні рівняння теплообміну між металом і формою для кожного із вищезазначених трьох періодів, одержуємо наступні формули для розрахунку тривалості першого періоду τ_1 , першого і другого періодів τ_2 і всіх трьох періодів τ_3 [3]:

$$\tau_1 = \left(\frac{1}{1,1284b} \rho_p c_p \ln \frac{t_3 - t_\phi}{t_k - t_\phi} \cdot \frac{V}{F} \right)^2; \quad (6)$$

$$\tau_2 = \left[\frac{1}{1,1284b} \left(\rho_p c_p \ln \frac{t_3 - t_\phi}{t_k - t_\phi} + \frac{\rho_\tau l}{t_k - t_\phi} \right) \frac{V}{F} \right]^2; \quad (7)$$

$$\tau_3 = \left[\frac{1}{1,1284b} \left(\rho_p c_p \ln \frac{t_3 - t_\phi}{t_k - t_\phi} + \frac{\rho_\tau l}{t_k - t_\phi} + \rho_p c_p \ln \frac{t_3 - t_\phi}{t_k - t_\phi} \right) \frac{V}{F} \right]^2, \quad (8)$$

де t_3, t_k, t_ϕ і t_b – температури заливки і кристалізації, а також початкова температура форми і температура вибивки;

ρ_p, ρ_τ – густина, а c_p і c_τ – теплоємність рідкого і твердого металу;

l – питома теплота кристалізації металу;

V – об’єм металу в формі;

F – поверхня теплообміну між металом і формою;

V/F – приведена товщина відливка (за Хворіновим).

Зауважимо, що згідно з формулою (7) між приведеною товщиною відливка і коренем квадратним від часу кристалізації існує пряма пропорційна залежність, тобто підтверджується закон квадратного кореня, але із суттєвою різницею: у виразі звичайного закону квадратного кореня коефіцієнт пропорційності, як зазначалось вище, є “коефіцієнтом незнання”, тоді як за формулою (7) він має чіткий фізичний зміст.

Приклад. Розрахувати τ_3 для таких умов: форма піщаноглинста, метал – чавун, $t_3 = 1330$ °C, $\rho_p = 6950$ кг/м³, $c_p = 838$ Дж/кг·К, $b = 1377$ Дж/м²·К·с^{1/2}, $c_\tau = 672$ Дж/кг·К, $t_k = 1200$ °C, $t_b = 500$ °C, $t_\phi = 20$ °C, $l = 215000$ Дж/кг, $\rho_\tau = 7200$ кг/м³, відливок – циліндр діаметром 0,05 м і довжиною $l_{ц} = 0,3$ м, отже $V/F = \pi r^2 l_{ц} / 2\pi r l_{ц} = r/2 = 0,0125$ м.

Розв’язання. Підставляємо приведені дані у формулу (8):

$$\tau_3 = \left[\frac{1}{1,1284 \cdot 1377} \left(6950 \cdot 838 \ln \frac{1330 - 20}{1200 - 20} + \frac{7200 \cdot 215000}{1200 - 20} + 7200 \cdot 672 \ln \frac{1200 - 20}{500 - 20} \right) \cdot 0,0125 \right]^2 =$$

$= 50,5^2 = 2546$ с = 42 хв = 0,71 год, що задовільно узгоджується з експериментальним значенням $\tau_3 = 45$ хв. [4].

Висновок. Одержані теоретичні математичні моделі, які встановлюють функціональну залежність між теплофізичними властивостями металу і піщаноглинстої форми, приведеною товщиною відливка, а також тривалістю періодів зняття теплоти перегріву металу, твердіння металу та подальшого охолодження відливка у формі до моменту вибивки.

Список літератури

1. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. – Ч.І. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
2. Сабірязов Т.Г. Математичне моделювання технологічних процесів лиття. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 74 с.
3. Сабірязов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
4. Сабірязов Т.Г., Телін В.М., Телін М.В. Дослідження теплової взаємодії металу з ливарною формою // 36. наук. праць КІСМу. – К.: ІСДО, 1994. – С. 175. – 178.

ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПІЧНОГО ШЛАКУ ПОБУЗЬКОГО ФЕРОНІКЕЛЕВОГО КОМБІНАТУ

Д.М. Біловодський, студ., Т.Г. Сабірязов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

На Побузькому феронікелевому комбінаті (ПФК) щорічно виробляється понад 700 тис. т електропічного шлаку (ЕПШ), який частково використовується для виготовлення абразивних матеріалів та щебню для будівництва чи ремонту доріг, але значна кількість шлаку, направляється на закладку виробок місцевих нікелевих руд або іде у відвал [1].

Попередні дослідження, проведені кафедрою матеріалознавства та ливарного виробництва КНТУ, показали, що як добавка при виробництві будівельних матеріалів (шлакобетон, стінові панелі, тротуарна плитка тощо) ЕПШ ПФК поступається, наприклад, доменним шлакам через несприятливий хімічний склад ЕПШ – високий вміст MgO і SiO₂ і низький – СаО. Були розроблені рекомендації щодо складу бетонів на основі ЕПШ з добавками цементу і піску.

Також виконані пошукові дослідження щодо магнітної сепарації ЕПШ, які показали, що, всупереч розповсюдженій серед фахівців думці, як ЕПШ, так і нікелева руда за певних умов піддаються магнітній сепарації. Відповідні рекомендації передані ПФК для практичного використання і частково втілені в життя.

З метою підвищення кондиційності ЕПШ та удосконалення технології виробництва феронікелю були проведені теоретичні та експериментальні дослідження теплотехнічних і фізико-хімічних процесів у трубчастих обертових печах (ТОП), в яких одержують напівпродукт – огарок, а також рудно-термічних печах (РТП), призначених для виплавки чорного феронікелю із огарка.

Для отримання достовірної інформації щодо хімічних перетворень в ТОП і РТП були проведені розрахунки термодинамічних характеристик реакцій, що протікають в цих печах. Розрахунки проводились за методикою, розробленою на кафедрі МЛВ КНТУ.

Аналіз одержаних даних дозволив зробити наступні висновки:

1) відновлювальний потенціал ТОП використовується вкрай недостатньо, штиб в них не виконує роль відновлювача, а основна робота по відновленню нікелю і супутних елементів перекадана на РТП;

2) шлак в РТП є типовим кислим шлаком з основністю $B=[(CaO)+(MgO)]/(SiO_2)=0,6$, що обумовлено хімічним складом нікелевої руди, яка використовується на ПФК, і відсутністю коригування хімічного складу шлаку;

3) низька основність і значна окисленість шлаку в РТП створюють несприятливі умови для десульфурзації металу в печі;

4) високий вміст в ЕПШ оксиду магнію ($\approx 30\%$ за масою) і низький вміст CaO ($\approx 1\%$) спричиняють підвищену в'язкість шлаку (3 – 14 пуаз), що гальмує тепло- і масооб'ємні процеси в РТП і сприяє заплутуванню в шлаку «корольків» – дрібних частинок металу, а отже зменшенню виходу нікелю;

5) в РТП панують відновлювальні умови, що має сприяти достатньо глибокому відновленню нікелю і кобальту, однак внаслідок значної неоднорідності і нерівноважності металу і шлаку, а також оборотності реакцій відновлення, останні ідуть не до кінця. Це приводить до помітного вмісту в ЕПШ оксидів нікелю, кобальту та залізу і негативного впливає на розподіл нікелю між металом і шлаком, наслідком чого значний вміст нікелю в ЕПШ – в середньому 0,084% за масою.

На підставі цих висновків були розроблені і передані для впровадження відповідні практичні рекомендації.

Список літератури

1. Сабірязнов Т.Г., Мошнягул В.В., Новіков М.В. Ресурсозберігаючі технології виробництва феронікелю. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 136 с.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

В.В. Мартиненко, студ., Т.Г. Сабірязнов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Розглянемо електропостачання невеликого котеджу в Кіровоградській області. Об'єкт знаходиться в сільській місцевості, відстань до звичайної мережі електропостачання складає 17 км. Географічні координати місця знаходження - 48°30' N, 32°18' E.

Середня потужність навантаження по годинах наступна: 0-8 год. – 2 кВт, 8-10 год. – 10 кВт, 10-18 год. – 5 кВт, 18-20 год. – 10 кВт, 20-22 год. – 5 кВт, 22-24 год. – 2 кВт.

Для електропостачання пропонується встановлення наступного обладнання: бензинового генератора, сонячних монокристалічних електричних панелей, вітрового генератора, акумуляторних батарей та інвертора-випрямляча.

Бензиновий генератор HONDA ECT7000 має потужність 6,5 кВА, витрату палива при номінальному навантаженні 2 л/год, вартість 2000 \$ [1].

Сонячні монокристалічні панелі MSP 80 W потужністю 80 Вт при стандартних умовах (інтенсивність сонячного випромінювання 1000 Вт/м²), вартість 3000 \$ за 1 кВт [2].

Вітровий генератор GE S-1000 вартістю 2000 \$ разом з мачтою. Вартість заміни самого генератора складає 1500 \$[3].

Акумуляторні батареї типу AGM (не обслуговувані, із зв'язаним електролітом) 200 А·год, 12 В, вартість батареї та її заміни складає 430 \$.

Перетворювач (конвертор) вважаємо загальним для перетворення постійного струму вітрогенератора і сонячної батареї у змінний струм. Вважаємо також, що він здатний працювати і у зворотному напрямку – перетворювати змінний струму бензинового генератора у постійний струм для заряду батареї. Питома вартість конвертора складає 225 \$ за 1 кВт встановленої потужності.

У якості альтернативи електропостачання розглядається варіант спорудження лінії електропередачі із питомою вартістю 8000 \$/км.

У першому наближенні вартістю проектних робіт і монтажу нехтуємо.

З допомогою програми HOMER ENERGY виконуємо розрахунок варіантів електропостачання котеджу від комбінованої системи та порівнюємо його із випадком спорудження лінії електропередачі.

Для цього вводимо технічні дані про обладнання та його питому вартість (на одиницю потужності). Програма надає можливість апроксимувати значення введених потужностей та відповідну ціну установок. Таким чином є можливість дискретно варіювати потужність установок у певному діапазоні:

- бензиновий генератор 0 – 10 кВт з кроком 2 кВт;
- вітровий генератор 0 – 20 кВт з кроком 2 кВт;
- сонячна панель 0 – 20 кВт з кроком 2 кВт;
- інвертор 0 – 10 кВт з кроком 2 кВт;
- акумуляторна батарея 25 – 200 шт. з кроком 25 шт.

Додатково необхідно задати дані про сонячне випромінювання, вітровий режим та ціну палива для генератора.

Ціну на паливо приймаємо у розмірі 1,25 \$/л.

Середні швидкості вітру для кожного місяця в умовах Кіровограда наступні: 1 – 5,280 м/с, 2 – 5,440 м/с, 3 – 5,350 м/с, 4 – 4,690 м/с, 5 – 4,560 м/с, 6 – 4,020 м/с, 7 – 3,580 м/с, 8 – 3,710 м/с, 9 – 3,960 м/с, 10 – 3,920 м/с, 11 – 4,560 м/с, 12 – 4,610 м/с [4].

Дані про сонячне випромінювання можливо використати із [5]. При цьому середня потужність сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню за координатами об'єкту складає помісячно: 1 – 1,2 Вт/м², 2 – 1,95 Вт/м², 3 – 2,96 Вт/м², 4 – 4,07 Вт/м², 5 – 5,47 Вт/м², 6 – 5,49 Вт/м², 7 – 5,57 Вт/м², 8 – 4,92 Вт/м², 9 – 3,57 Вт/м², 10 – 2,24 Вт/м², 11 – 1,15 Вт/м², 12 – 0,96 Вт/м².

При розрахунку прийемо ставку дисконтування у розмірі 15%, а термін експлуатації реалізації усього проекту – 25 років.

Створена модель для аналізу у HOMER ENERGY має вигляд рис. 1.

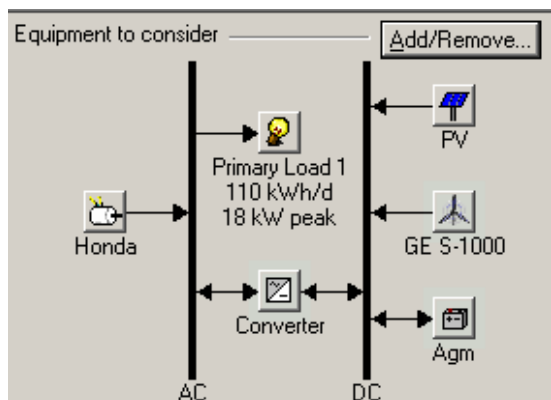


Рисунок 1 – Модель комбінованої енергосистеми в HOMER ENERGY

Після моделювання роботи системи та порівняння усіх можливих варіантів складу отримаємо варіанти систем електропостачання, які найбільш вигідні у своїх категоріях - табл. 1. Показники варіантів приведені у табл. 2.

Як видно із табл. 2 найменша дисконтована вартість у варіанті №1, тому його і слід приймати до подальшого розгляду.

На рис. 2 приведений графік, де порівнюється дисконтовані вартості комбінованої системи енергопостачання і будівництва лінії електропередачі від традиційної енергосистеми. З рис. 2 видно, що при необхідності будівництва лінії довжиною 15,8 км два варіанти електропостачання зрівнюються по приведеній вартості.

Таблиця 1 – Категорії систем електропостачання та їх показники

№	Встановлена потужність, кВт				Кількість батарей
	фотобатарей	вітрогенератора	генератора	конвертора	
1	8	12	6	8	50
2	-	12	8	6	50
3	8	-	6	8	75
4	-	-	8	6	75
5	14	20	10	10	-

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники варіантів електропостачання

№	Кап. вклад., \$	Поточні витрати, \$/рік	Дисконтована вартість, \$	Собівартість, \$/кВт·год	Коеф. заміщ., в.о.	Витрата палива, л	Час роботи генер., год
1	73146	14731	168372	0,65	0,51	8102	4205
2	49312	18632	169753	0,656	0,34	11299	4821
3	59896	21248	197249	0,762	0,12	14453	7476
4	36062	26321	206201	0,797	0	18496	7839
5	87327	20991	223018	0,867	0,43	11845	5989

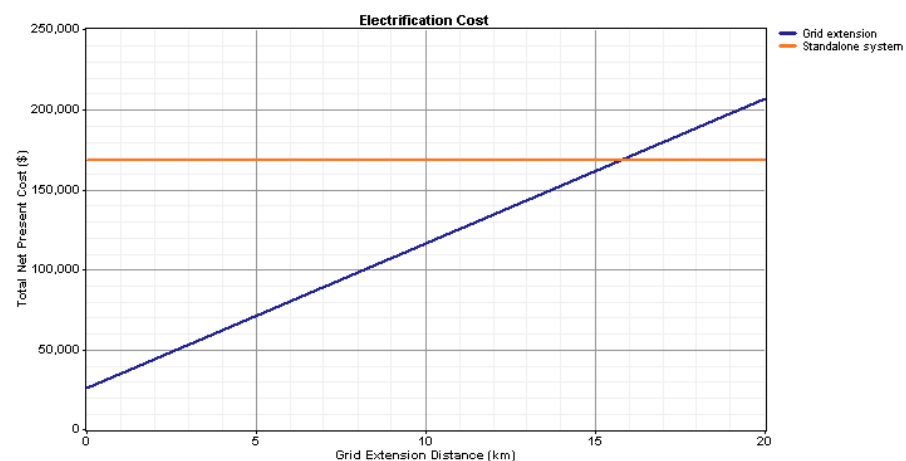


Рисунок 2 – Приведена вартість комбінованої системи енергопостачання (пряма лінія) та будівництва лінії електропередачі (похила лінія)

Оцінимо, як буде впливати на якісний склад системи середньорічна швидкість вітру і вартість палива. Для цього проведемо аналіз чутливості до цих параметрів. Задамо варіації наступних величин:

- середня швидкість вітру 3 – 5 м/с з кроком 0,5 м/с;
- вартість палива 1 – 1,5 \$/л з кроком 0,25 \$/л.

В результаті аналізу отримаємо діаграму рис. 3.

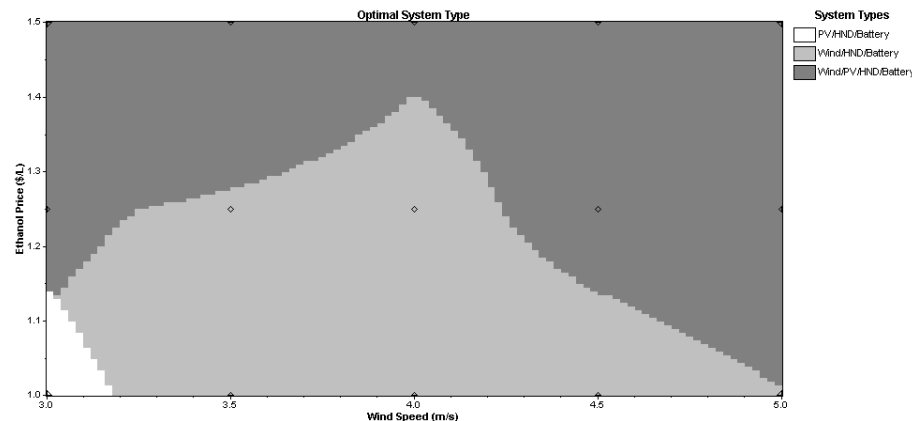


Рисунок 3 – Діаграма чутливості складу енергосистеми до швидкості вітру та вартості палива

На рис. 3 видно три області, які відповідають різному якісному складу систем електропостачання в залежності від середньої середньо-кубічної швидкості вітру і вартості палива для генератора:

- верхня область – вітрогенератор, фотоустановка, бензогенератор, батарея;
- середня область – вітрогенератор, бензогенератор, батарея;

– нижня область (зліва у куті) –фотоустановка, бензогенератор, батареї.

Таким чином, застосування комбінованих енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії в певних умовах дає економічний ефект. Цей ефект залежить в першу чергу від кон'юнктури на енергетичному ринку: динаміки тарифу на електричну енергію, вартість обладнання відновлюваної енергетики та ін. і, що дуже важливо, може істотно змінюватись. Для аналізу доцільності побудови таких систем доцільно використовувати прикладне програмне забезпечення, наприклад HOMER ENERGY. Дана програма дозволяє не лише визначити техніко-економічні показники різних варіантів комбінованого енергопостачання, але і дослідити вплив вхідних змінних на структурний склад та показники систем. Це є дуже зручним інструментом у руках інженерів та студентів, які займаються проектуванням такого роду систем.

Список літератури

1. www.vetrogenerator.org.ua
2. www.solnechnie-batarei.com.ua
3. www.autonomenergo.com.ua
4. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III. Ветер. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – 690 с.
5. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

де x_i, x_j – фактори; i, j – номери факторів; a_i, a_{ij}, a_{ii} – коефіцієнти полінома, які підлягають визначенню внаслідок проведення експерименту і обробки його даних.

За основу плану береться матриця ПФЕ (рис. 1, точки 1,2,3 і 4), яка в даному випадку називається ядром композиційного плану.

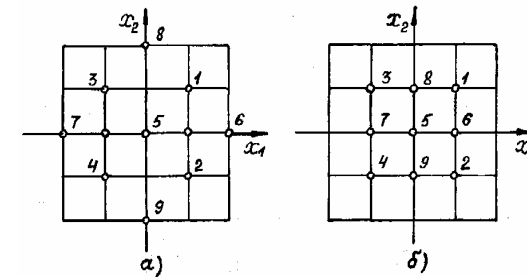


Рисунок 1 – Розташування дослідних точок при рівномірному (а) і центральному (б) варіантах плану на 9 точок при $k = 2$

Поряд з дослідями ядра плану в експерименті передбачаються додаткові досліді: в нульовій точці 5, а також в так званих зіркових точках 6, 7, 8 і 9 (див. рис. 1). Усього, таким чином, при $k = 2$ буде дев'ять дослідів замість чотирьох при ПФЕ.

План експерименту, представлений на рис. 1. а, можна записати у вигляді наступної матриці (табл.1) :

Таблиця 1 – План експерименту у вигляді матриці

№ досліді	x_1	x_2
1	1	1
2	1	-1
3	-1	1
4	-1	-1
5	0	0
6	2	0
7	-2	0
8	0	2
9	0	-2

Як видно із наведеної табл. 1, а також із рис. 1 а, зіркові точки знаходяться від центра плану на відстані у два інтервали варіювання.

Після визначення параметра оптимізації у кожному досліді приступають до розрахунку коефіцієнтів полінома за наступною загальною формулою [1, 2]:

$$a_j = (1/c_j) \sum_{i=1}^N y_i b_{ij}, \tag{2}$$

де y_i – значення параметра оптимізації у i -му досліді ($i = 1, 2, \dots, N$), N – кількість дослідів у експерименті, b_{ij} і c_j – константи, чисельні значення яких для рівномірного плану 32 (див. рис. 1 а) представлені у табл. 2.

ПОБУДОВА І АНАЛІЗ ПОВНОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ ЗАЛЕЖНОСТІ $g_c = f(L'_\alpha, m_c)$ ДЛЯ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ

О.О. Гоманюк, студ., Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук
 Кіровоградський національний технічний університет

Застосування методів активного експерименту дозволяє отримувати математичні моделі, що описують властивості широкого класу об'єктів дослідження. Отримання математичної моделі забезпечується чітким виконанням алгоритму досліджень і надійним визначенням функції відгуку.

Планування експерименту - це оптимальне управління ходом експерименту з метою отримання максимально можливої інформації на основі мінімальної кількості дослідних даних.

При найпростішому дворівневому плануванні типу $2k$ можна одержати повний поліном першого степеня або неповний поліном другого степеня, в якому відсутні доданки a_{iix^2} . Проте трапляються випадки, коли треба мати математичну модель у вигляді повного полінома другого степеня, для чого використовують композиційні плани.

Повний поліном другого степеня (квадрика) для k факторів має такий вигляд:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2, \tag{1}$$

Таблиця 2 – Значення констант b_{ij} і c_j двофакторної квадратики для рівномірного варіанту плану 32

№ досл.	c_j						y_i
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	1	1	-2	-2	-1	y_1
2	2	1	-1	-2	-2	-1	y_2
3	2	-1	1	-2	-2	-1	y_3
4	2	-1	-1	-2	-2	1	y_4
5	5	0	0	-8	-8	0	y_5
6	-1	2	0	7	1	0	y_6
7	-1	-2	0	7	1	0	y_7
8	-1	0	2	1	7	0	y_8
9	-1	0	-2	1	7	0	y_9

В даній роботі розглядається побудова двофакторної квадратики для залежності питомої продуктивності вагранки $g_ч$, т/м²·год, від питомої витрати повітря $L'_а$, м³/м²·хв, і відносною витрати вуглецю коксу m_c , % від витрати металозавалки, згідно з експериментальними даними, представленими на номограмі Патерсона (рис. 2) і в табл.3

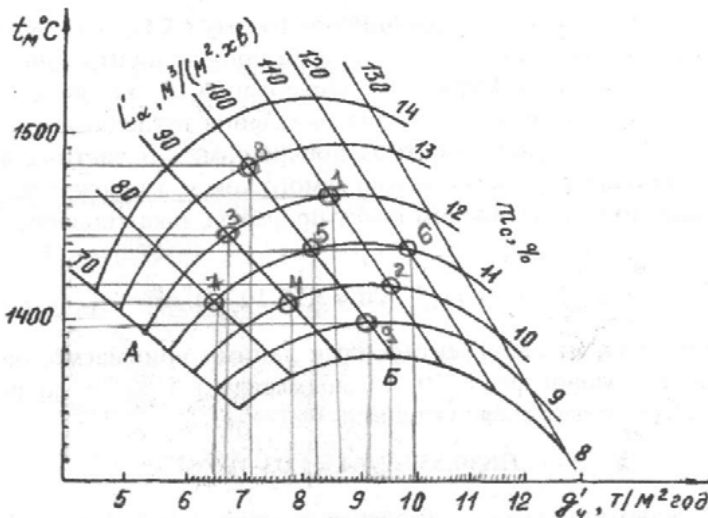


Рисунок 2 – Номограма Патерсона

Таблиця 3 – Залежність $g_ч$, $t_ч$ і tr від i та m_c

№ досл.	x_1	x_2	$L'_а$, м ³ /м ² ·хв	m_c , % від маси металозавалки	α	$g_ч$, т/м ² ·хв	
						експ	розр
1	1	1	110	12	0,75	8,6	8,47
2	1	-1	110	10	0,78	9,5	9,13
3	-1	1	90	12	0,75	6,7	7,2
4	-1	-1	90	10	0,78	7,8	7,9
5	0	0	100	11	0,76	8,2	8,2
6	2	0	120	11	0,76	9,9	9,4
7	-2	0	80	11	0,76	6,5	6,7
8	0	2	100	13	0,73	7,1	7,5
9	0	-2	100	9	0,80	9,1	8,8

Визначаємо коефіцієнти квадратики $g_ч = f(L'_а, m_c)$:

$$a_0 = (8,6 \cdot 2 + 9,5 \cdot 2 + 6,7 \cdot 2 + 7,8 \cdot 2 + 8,2 \cdot 5 - 9,9 \cdot 1 - 6,5 \cdot 1 - 7,1 \cdot 1 - 9,1 \cdot 1) / 9 = 8,2;$$

$$a_1 = (8,6 \cdot 1 + 9,5 \cdot 1 - 6,7 \cdot 1 - 7,8 \cdot 1 + 8,2 \cdot 0 + 9,9 \cdot 2 - 6,5 \cdot 2 + 7,1 \cdot 0 + 9,1 \cdot 0) / 12 = 0,87$$

$$a_2 = (8,6 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1 + 6,7 \cdot 1 - 7,8 \cdot 1 + 8,2 \cdot 0 + 9,9 \cdot 0 + 6,5 \cdot 0 + 7,1 \cdot 2 - 9,1 \cdot 2) / 12 = -0,5$$

$$a_{11} = (-8,6 \cdot 2 - 9,5 \cdot 2 - 6,7 \cdot 2 - 7,8 \cdot 2 - 8,2 \cdot 8 + 9,9 \cdot 7 + 6,5 \cdot 7 + 7,1 \cdot 1 + 9,1 \cdot 1) / 48 = 4,17 \cdot 10^{-3}$$

$$a_{22} = (-8,6 \cdot 2 - 9,5 \cdot 2 - 6,7 \cdot 2 - 7,8 \cdot 2 - 8,2 \cdot 8 + 9,9 \cdot 1 + 6,5 \cdot 1 + 7,1 \cdot 7 + 9,1 \cdot 7) / 48 = -0,02$$

$$a_{12} = (8,6 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1 - 6,7 \cdot 1 + 7,8 \cdot 1 + 8,2 \cdot 0 + 9,9 \cdot 0 + 6,5 \cdot 0 + 7,1 \cdot 0 + 9,1 \cdot 0) / 4 = 0,05$$

Знайдена за розглянутою методикою залежність має такий вигляд:

$$g_ч = 8,2 + 0,87x_1 - 0,5x_2 + 0,05x_1x_2 + 0,00417x_1^2 - 0,02x_2^2, \quad (3)$$

де $x_1 = (L'_а - 100) / 15$ і $x_2 = (m_c - 11) / 1,5$ – кодовані значення факторів.

Одержані за формулою (3) значення $g_ч$ представлені в табл. 3, звідки видно, що розрахункові дані добре узгоджуються з експериментальними.

Таким чином, вперше одержана квадратики, яка характеризує залежність продуктивності вагранки $g_ч$ від відносною витрати повітря $L'_а$ і відносною витрати вуглецю коксу m_c .

Список літератури

1. Сабірзянов Т.Г. Математичне моделювання технологічних процесів лиття: Навчальний посібник для студентів-ливарників вищих навчальних закладів III – IV рівнів акредитації. – Кіровоград: КНТУ, 2007. - 72 с.
2. Рафалес-Ламарка Э.Э., Николаев В.Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. – К.: Наукова думка, 1971. – 119 с.

ТЕРМОДИНАМІКА РЕАКЦІЇ НЕПРЯМОГО ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДУ НІКЕЛЮ

О.Р. Микитін, студ.,
Т.Г. Сабірянов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Реакція непрямого відновлення оксиду нікелю



має велике значення при виробництві феронікелю, наприклад, із руд с.м.т. Побузьке Кіровоградської області.

З метою визначення оптимальних умов виробництва феронікелю на Побузькому феронікелевому комбінаті доцільно провести термодинамічний аналіз реакції (1) на підставі розрахункових даних щодо змін ентальпії ΔH_0 , ентропії ΔS_0 , ізобарно-ізотермічного потенціалу ΔG_0 , а також константи рівноваги реакції K_p .

Розрахунок зазначених величин проводили у відповідності з комп'ютерною програмою, розробленою на кафедрі матеріалознавства та ливарного виробництва КНТУ.

Початкові дані для розрахунку термодинамічних характеристик реакції наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Початкові дані для розрахунку термодинамічних характеристик реакції $\text{NiO} + \text{CO} = \text{Ni} + \text{CO}_2$

Реагенти	$\Delta H_{утв}^0$, кДж/моль	S^0 , Дж/моль К	Тпр, К	Лпр, К	Коефіцієнти рівняння $c_p = a + b \cdot 10^{-3}T + c \cdot 10^5 T^{-2}$, Кдж/моль к		
					a	b	c
Ni α	0	29,89	626	0,385	16,99	29,48	0
Ni β	-	-	1728	17,62	28,47	0	-
NiO γ	-242,83	38,60	2230	50,66	57,32	3,47	-242,83
CO γ	-110,6	198,04	-	-	27,63	5,0	-110,6
CO $2,\gamma$	-393,78	213,8	-	-	32,34	22,2	-3,48

Результати розрахунків термодинамічних характеристик реакції представлені на рис. 1 - 4.

Згідно з наведеними даними реакція $\text{NiO} + \text{CO} = \text{Ni} + \text{CO}_2$ на всьому дослідженому інтервалі 298-3257 К є екзотермічною, тобто вона супроводжується виділенням теплоти, на що вказує від'ємна величина ΔH_0 , що видно на рис. 1.

На рис. 2 видно, що величина ΔS_0 має як додатні, так і від'ємні значення.

Згідно з рис.3 на всьому температурному інтервалі $\Delta G_0 < 0$, це означає що із початкового стандартного стану (активності всіх реагентів $a_i=1$) дана реакція завжди іде вправо.

При зростанні температури константа рівноваги зменшується, що вказує на зміщення рівноваги вліво, у повній відповідності з принципом Потиліцина – Ле-Шательє – Брауна.

Розчинення нікелю в залізі сприяє зміщенню рівноваги даної реакції вправо, тобто в бажаному напрямку.

На графіках $\Delta H_0(T)$ і $\Delta S_0(T)$ при температурах фазових перетворень, як і має бути, спостерігаються стрибки, а на кривих $\Delta G_0(T)$ і $\ln K_p(T)$ – злами.

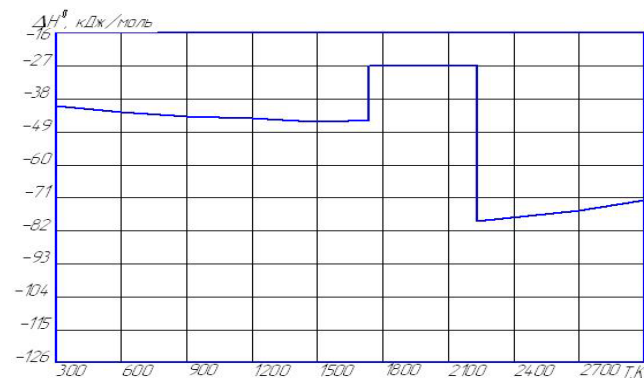


Рисунок 1 – Залежність ентальпії реакції від температури

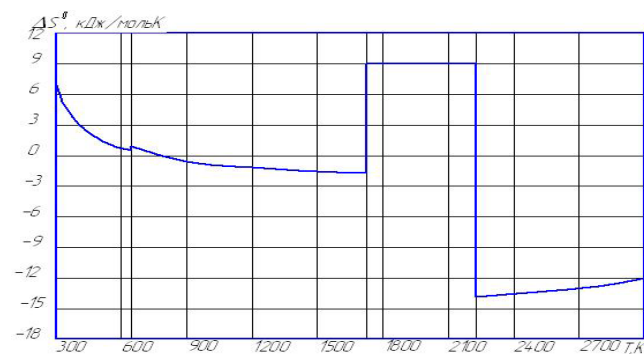


Рисунок 2 – Залежність ентропії реакції від температури

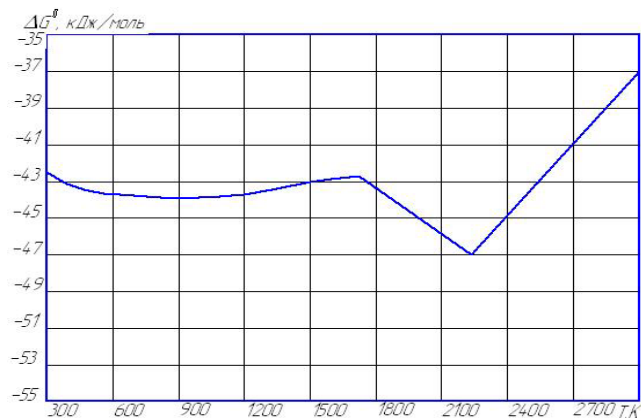


Рисунок 3 – Залежність вільної енергії Гібса реакції від температури

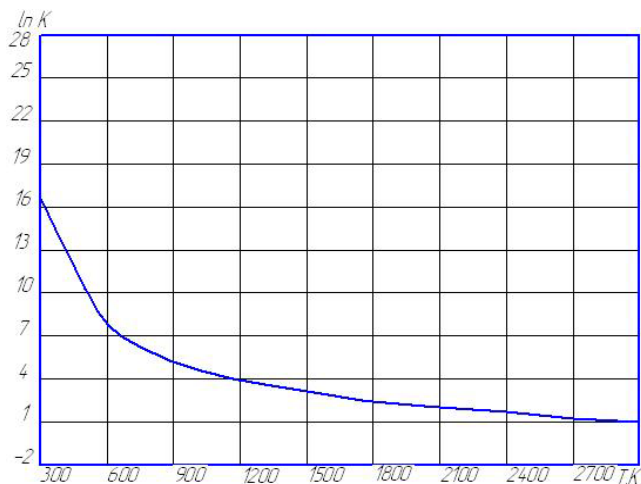


Рисунок 4 – Вплив температури на константу рівноваги реакції непрямого відновлення нікелю

Таким чином, в даній роботі при використанні методично точних формул розраховані термодинамічні характеристики реакції непрямого відновлення оксиду нікелю NiO. На підставі аналізу одержаних даних сформульовані умови найбільш ефективного проведення технологічного процесу виробництва феронікелю.

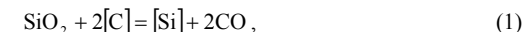
Список літератури

1. Ресурсозберігаючі технології виробництва феронікелю / Т.Г.Сабірязнов, В.В. Мошнягул, М.В.Новіков.- Кіровоград:КНТУ. – 2012. – 136 с.

ТЕРМОДИНАМІКА “ТИГЕЛЬНОЇ” РЕАКЦІЇ

І.М. Гайворонський, студ.,
Т.Г. Сабірязнов, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

“Тигельна” реакція має наступний вигляд



де SiO_2 – оксид кремнію, який може входити до складу шлаку чи заплутаного в метали неметалевого включення або знаходитися у футеровці робочого простору печі, наприклад, бути присутнім у тиглі індукційної печі; $[\text{C}]$ і $[\text{Si}]$ – розчинені в металі вуглець і кремній.

Дана реакція може протікати в сталевих та чавуноплавильних печах з кислотофутеровкою – в кислих маргенівських печах, в індукційних тигельних печах, а також у руднотермічних феросплавних печах, які використовуються, наприклад, для виплавки чорного феронікелю, тощо.

Особливості “тигельної” реакції полягають у тому, що вона є оборотною, причому напрямком її протікання, в залежності від умов, може змінюватись при температурах 1200-1500 °С, характерних для плавки чавуну та сталі. Ця реакція є ендотермічною і суттєво впливає на зміну хімічного складу металу в процесі плавки. Нарешті, вона супроводжується утворенням і виділенням чадного газу у вигляді пухирців, які зароджуються на границях між рідким металом і футеровкою чи неметалевими включеннями, відриваються і спливають, що сприяє інтенсивному перемішуванню металу і очищенню його від неметалевих включень, а також прискоренню всіх тепло- і масообмінних процесів плавки.

Великі можливості для керування процесом плавки надає термодинамічний аналіз хімічних реакцій, що протікають при плавці металу. Для тієї чи іншої реакції він полягає у розрахунку всіх її термодинамічних характеристик, а саме – змін ентальпії ΔH^0 , ентропії ΔS^0 і ізобарно-ізотермічного потенціалу ΔG^0 , а також константи рівноваги K_p .

Метою даної роботи був термодинамічний аналіз “тигельної” реакції за методикою, викладеною в навчальному посібнику [1]. Розрахунки проводились за комп'ютерними програмами, розробленими на кафедрі матеріалознавства та ливарного виробництва КНТУ при використанні методично точних формул.

Для реакції (1) комбінуванням одержаних розрахункових даних з узятимися із літератури термодинамічними характеристиками процесів розчинення в рідкому залізі вуглецю і кремнію одержано:

$$\Delta G^0 = 501950 - 280,2T \text{ Дж/моль}, \quad (2)$$

що задовільно узгоджується з відповідними літературними даними.

Скориставшись виразом (2) і відомими рівняннями

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_p; \quad (3)$$

$$K_p = \frac{a_{[\text{Si}]} \cdot p_{\text{CO}}^2}{a_{\text{SiO}_2} \cdot a_{[\text{C}]^2}}, \quad (4)$$

розрахували рівноважні температури для реакції (1) при різних значеннях $[\text{C}]$ і $[\text{Si}]$. Одержані дані представлені у вигляді номограми, зручної для практичного використання.

Висновок. За методично точними формулами розраховані термодинамічні характеристики “тигельної” реакції $\text{SiO}_2 + 2[\text{C}] = [\text{Si}] + 2\text{CO}$, а також рівноважні температури для різних значень $[\text{C}]$ і $[\text{Si}]$ в метали. Проаналізовані одержані результати і сформульовані практичні рекомендації.

Список літератури

1. Сабірянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.

ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ В ЛИВАРНІЙ ВИРОБНИЦТВІ

В.В. Ніколасва, студ., Г.М. Засінець, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Однією з найважливіших проблем цивілізації є утилізація відходів виробництва, кількість яких безперервно збільшується. Особливо важливою є така утилізація, яка не тільки знешкоджує відходи виробництва, а дає можливість виготовляти із них корисні для суспільства вироби.

Серед таких проблем дуже важливою проблемою є використання відходів металургійного і ливарного виробництва у вигляді шлаків, відпрацьованої формівної суміші, які накопичені в кількості сотень мільйонів тонн, що призводить до захащення і отруєння природного середовища.

В світі накопичено багато методів по використанню шлаків металургійного виробництва як заповнювачів замість щебеню із горних порід при виготовленні виробів із бетону і навіть як в'язучих речовин з частковою чи повною заміною цементу у виробках, а також інших виробів.

Але, як показали дослідження, вагранковий шлак і відпрацьована формівна суміш ливарного виробництва мало використовується і їх продовжують викидати у відвали. Так, відходи ливарного виробництва з КЛЗ вивозили до Катеринівського кар'єру, де вони знаходяться і зараз.

Відомо, що металургійна промисловість є одним із головних джерел забруднення біосфери (атмосфери, літосфери, гідросфери), ливарне виробництво також є джерелом забруднення. За оцінками спеціалістів на ливарні цехи припадає від 5 до 70% шкідливих викидів та зросів, стоків, відвалів машинобудівельного виробництва, а у загальних викидах до атмосфери на долю ливарного виробництва припадає 3% пилу і 0,5% чадного газу.

Щорічно в Україні утворюється близько 1 млрд. тонн техногенних відходів, з яких лише 10 - 15% використовуються, як вторинні матеріали, інші надходять у різні сховища (відвали, шламонакопичувачі, терикони). У рішенні проблеми широкого охолодження відходів у процесі утилізації, його ефективності й економічності важливим і доцільним є комплексний підхід у її реалізації, що полягає в розгляді питань уловлювання, транспортування, нагромадження й утилізації відходів, як єдиного цілого.

В першу чергу, актуальне питання з очистки викидів, що здійснюють ливарні цехи, а також питання про відходи, які утворюються у результаті роботи ливарних цехів. Деяка

частина відходів є шкідливою, та просте складування її на полігонах буде тільки наносити шкоду навколишньому середовищу. Тому особливою і раціональною є така утилізація, яка не тільки знешкоджує відходи, а й дає можливість виготовити із них корисні для суспільства вироби.

В даній роботі пропонується використовувати відходи ливарного виробництва, а це вагранковий шлак, пил вагранковий, шлак газовідчисних приладів, недоливі слитки та металева стружка, бій огнеупорів, футеровка від печей, відпрацьовані формівні суміші та горіла земля. Все це є вторинною цінною сировиною, і може повторно використовуватися у ливарному виробництві чи у металургійному виробництві.

Наукова новизна даної роботи полягає у тому, що пропонується ресурсозберігаюча технологія в ливарному виробництві - використовувати відходи, у якості рециклінгу - оборотного продукту, тим самим ми зберігаємо наші природні ресурси.

Практична цінність роботи полягає в тому, що переробка та використання шлаків, не тільки розширює сировинну базу виробництва будівельних матеріалів, але і економить фюси при виробництві чорних металів. При цьому підвищуються техніко-економічні показники металургійних процесів, а також значно економляться природні мінеральні ресурси.

В свій час, коли працював Кіровоградський ливарний завод (КЛЗ), кафедрою ливарного виробництва КНТУ була проведена госпдоговірна робота „Дослідження можливості використання відходів ливарного виробництва для виготовлення будівельних виробів”, яку беремо за основу при підготовці даної тематики.

На підставі лабораторних досліджень, проведених в КНТУ кафедрою „Матеріалознавство та ливарне виробництво” та у Випробувальній лабораторії КП „Кіровоградського наукового технічно-лабораторного центру спеціальних видів робіт у будівництві” були проведені дослідження по впровадженню у виробництво шлакоблоків та пульпи (суміш води і ґрунту або гірської породи, що отримується при земляних і гірничих роботах гідравлічним способом) з використанням електропічних шлаків Побужського феронікелевого комбінату (як сировина для виготовлення різноманітних будівельних виробів).

Метою дослідження була розробка технологій виготовлення шлакоблоків, стінових панелей, тротуарної плитки, шлакобетону і шлаковати з використанням електропічного шлаку ПФК, а також розробка рекомендацій щодо збільшення виходу нікелю при виробництві Fe-Ni.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що електропічні шлаки ПФК за своїм хімічним складом і властивостями, як складова добавки при виготовленні шлакобетонів, уступають доменним шлакам. В той же час вони можуть бути з успіхом використані при виготовленні шлакоблоків, стінових панелей тощо.

Дослідженнями встановлена перспективність магнітної сепарації як електропічних шлаків, так і нікелевої руди місцевих та меланезійських родовищ. Що стосується шлаковати, то там електропічний шлак має дуже низький вміст CaO та Al_2O_3 .

В світі накопичено багато методів по використанню шлаків металургійного виробництва як заповнювачів замість щебеню із горних порід при виготовленні виробів із бетону і навіть як в'язучих речовин з частковою чи повною заміною цементу у виробках, а також інших виробів. Але, як показали дослідження – вагранковий шлак і відпрацьована формівна суміш ливарного виробництва не використовуються і їх продовжують викидати у відвали.

Причинами, через які ливарний шлак мало використовується:

- мала кількість шлаку через невелику потужність ливарних цехів;
- великі куски шлаку при достатньо високій міцності, що вимагає значних зусиль для подрібнення;

- забрудненість різними іншими відходами (формівною сумішшю, кусками металу, коксу, вогнетривів та ін.), із-зі недосконалості способів видалення шлаку від вагранок;
- відмінність хімічного складу ливарного шлаку від металургійного, зокрема основного доменного і цементного клінкера.

Тому задача використання ливарного шлаку навіть не ставиться і увесь шлак вивозять у відвали.

У газах, що видаляються від ливарного устаткування і викидаються в атмосферу, знаходиться пил, що складається в основному з дрібнодисперсних часточок, зміст вільного оксиду кремнію (IV) у яких досягає 60 %. Тому найбільш небезпечними є саме пил і гази в зв'язку з труднощами їхнього уловлювання, знешкодження і видалення. Крім того, виділяється ряд інших шкідливих газів, таких як фенол, формальдегід, фурфурол, ацетон, бензол і ін., загальна кількість яких хоча і невелика, однак становить небезпеку через їхню токсичність. Існуючі способи знешкодження газів засновані на хімічному зв'язуванні шкідливих речовин, їхньої адсорбції, абсорбції і т.п.

Для утилізації відходів пропонувалися різні методи.

Відпрацьована формівна суміш (основний компонент – горілий пісок), що утворюється при вибивці лиття й опок на вибивних ґратах, використовується як інертний наповнювач при вирівнюванні поверхні землі в будівництві доріг і засипанню котлованів при рекультивції родючих земель.

Уловлений пил пиловловлюючими апаратами, установленими за основними технологічними агрегатами, а також абразивні залишки, використовуються за аналогією з відходами відпрацьованої формівної суміші. Шлак від плавильних печей, який утворився в процесі виплавки чавуну використовується в будівельній промисловості, а також при будівництві автомобільних доріг.

Відходи металобрухту, що утворюються при виробництві відливків з ливарного чавуна, використовують як шихту для вагранок. Великогабаритний брухт чорних металів і брухт легованих металів використовують у якості рециклінгу з метою наступного використання їх у плавильних агрегатах.

Будівельні відходи використовуються на полігонах як матеріал для санітарного засипання місць складування побутових відходів.

Вогнетривкий брухт шамотної і динасової цегли, що утворюється при капітальних ремонтах вагранок, електропечей і котелених установок, підлягає сортуванню його по видах і відправленню на вогнетривкі заводи для використання як добавки при виготовленні нових вогнетривких виробів. Вогнетривкий брухт може також використовуватися при виробництві порошоків і мас різного походження, а також виробів будівельної кераміки і бетону.

Грануляція шлаку – це процес перетворення рідкого шлаку в тверді зерна – гранули шляхом роздрібнення і швидкого охолодження водою, повітрям або водо-повітряною сумішшю.

Щебень із доменних шлаків використовують також як інертний заповнювач при виготовленні звичайних і жароміцних бетонів.

Завдяки утилізації відходів ливарного виробництва ми можемо одержувати економічний ефект від використання вторинних ресурсів, а також зменшувати кількість заскладованих відходів на смітниках.

Можна зробити такі висновки і пропозиції:

1. Відпрацьовану формівну суміш ливарних цехів і вагранковий шлак, які викидають у відвали, забруднюючи навколишнє середовище, можна використовувати як заповнювач при виготовленні виробів із бетону замість гравію, який виготовляють із гірничих порід, що дорого коштує.

2. Розроблені бетонні суміші із наповнювачів вагранкового шлаку або відпрацьованої (горілої) формівної суміші з цементом дають можливість одержати бетон міцністю при стисненні від 0,25 до 15 і більше МПа.

3. Молотий вагранковий шлак з добавкою деяких речовин – лугу, вапна, цементу (не більше 5%) можна використовувати для виготовлення бетону міцністю при стисненні до 20 МПа і більше.

4. Використання гранульованого вагранкового шлаку і горілої формівної суміші ливарних цехів як наповнювачів, замість гравію, при виготовленні бетону безумовно можливе.

5. Основними виробами із різних відходів (доменного шлаку, золи і інш.) є камені будівельні (бетонні стінові).

Список літератури

1. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1978. – 432с.
2. Иванов Б.С. Охрана труда в литейном и термическом производстве. – М.: Металлургия, 1990. – 222с.
3. Розенгарт Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы чёрной металлургии и их использование. – М.: Высшая школа, 1988. – 327с.
4. Денисов С.И. Управление и утилизация пыли и газов. – М.: Металлургия, 1991. – 300с.

ТЕРМОМЕХАНІЧНА ОБРОБКА ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ СТАЛЕЙ

О.Г. Коваленко, студ.,

А.В. Галико, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Термомеханічною обробкою (ТМО) слід розуміти сукупність операцій, що складаються з нагріву, деформації і охолодження (у різній послідовності), в результаті яких остаточною структурою металевого сплаву, а отже і його властивості, формуються в умовах підвищеної щільності недосконалості будови, створеної пластичною деформацією.

У промисловості використовуються різні види ТМО. Найбільш поширені для сталі наступні (рис 1):

1) низькотемпературна (НТМО), яка полягає в деформації аустеніту, переохолодження нижче температури рекристалізації і критичних точок А1 з подальшим швидким охолодженням для отримання мартенситної структури;

2) високотемпературна (ВТМО), яка складається з деформованого аустеніту вище за критичні точки і швидке охолодження для фіксації мартенситної структури;

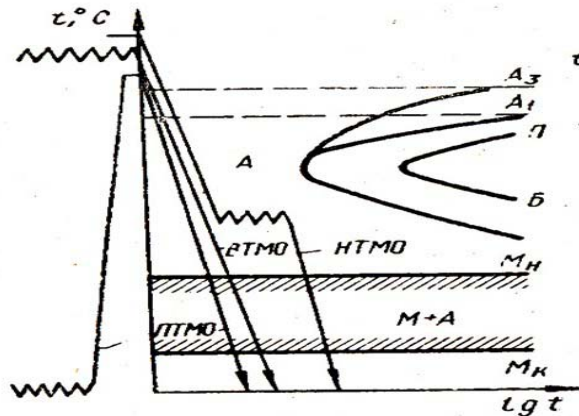


Рисунок 1 – Види термомеханічної обробки сталі

3) попередня (ПТМО), полягає в наклепці сталі до термічної обробки, подальшому швидкому нагріву до аустенітного стану і загартування. В результаті такої обробки мартенсит, що утворився, наслідують тонку структуру, отриману при попередній пластичній деформації.

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) конструкційних сталей полягає в нагріві до аустенітного стану, переохолодженні її до області стійкого аустеніту (500-350 С), деформації при цій температурі з подальшим швидким охолодженням. Після загартування сталь піддається відпустці при температурі 200-220 С. Оскільки пластична деформація відбувається при температурі нижче температури рекристалізації аустеніту, то в ньому створюється висока щільність дислокацій і може виникати комірчаста структура. Зменшуються розміри зерен і блоків. Виникає тонка структура, яка наслідують мартенситом. Наслідком цього є одночасне підвищення міцності і пластичності сталі, в порівнянні з властивостями сталі після звичайного загартування. Збільшується опір поширенню тріщин. Підвищення крихкої міцності і опору поширенню тріщин є наслідком зміни розміру зерен і утворення комірчастої структури, межі якої мають те ж значення, що і межі зерен.

Ймовірною причиною зміцнення сталей при НТМО є зміни дислокаційної структури аустеніту при його деформації і подальшій «передачі» цих змін мартенситу, а також процеси виділення або перерозподілу атомів вуглецю карбідів при додатковій відпустці. Велике значення має підвищення крихкої міцності мартенситу і зменшення розміру мартенситних кристалів. Низькотемпературна термомеханічна обробка може застосовуватися для тих сталей, у яких є область стійкості аустеніту при температурі 500-400 С.

Застосування НТМО обмежується необхідністю застосування великих зусиль при деформації і у зв'язку з цим швидким зносом обладнання і інструментів. Найпростіше НТМО можна здійснювати при плющенні і штампуванні виробів простої форми.

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) сталей складається з пластичної деформації сталі в аустенітному стані і подальшого загартування. Дрібне зерно, що утворюється при деформації, підвищена щільність дислокацій наслідують мартенситною структурою (чи іншими продуктами розпаду аустеніту). Це призводить до підвищення механічних властивостей (опору відриву, опору поширенню тріщин). ВТМО-більше універсальна обробка і може бути застосована для найрізноманітніших металів і сплавів на існуючому обладнанні. Обмеженість ВТМО полягає в тому, що у більшості

випадків в результаті загартування і відпустки сталь має підвищену твердість і не піддається механічній обробці (окрім шліфовки). Тому за допомогою ВТМО виготовляють деталі простої форми.

Попередня термомеханічна обробка (ПТМО) дуже перспективна. Деталі у вигляді заготовок піддаються спочатку пластичній деформації, потім високотемпературній відпустці, механічній обробці і подальшому загартуванню після швидкого нагріву до аустенітного стану. За вказаних умов тонка структура, що виникає при попередній пластичній деформації, зберігається і метали отримують високу міцність. Збереження тонкої структури, що виникає при пластичній деформації, можливо лише при швидкісному нагріванні під відпал і загартування. Повільний нагрів і тривала витримка призводять до огрублення тонкої структури (зниження щільності дислокацій, збільшення розмірів блоків, ріст зерен аустеніту), тому сталь не отримує додаткового зміцнення.

При ПТМО холодна пластична деформація передують термічній обробці і за часом може бути віддалена від останньої. Холодній деформації піддається сталь із структурою ферритно-карбідної суміші, у пластичному стані. Режим подальшої термічної обробки підбирається так, щоб зміни, викликані в структурі стали холодним наклепанням, були можливо повніше збережені або оптимально видозмінені. Між холодною деформацією і остаточною термічною обробкою можна ввести додаткову термічну обробку у вигляді відпустки для полегшення оброблюваності різанням. При холодній деформації підвищується щільність дислокацій у ферритній матриці. Якщо цементит знаходиться у вигляді пластинок, відбувається їх дроблення, стоншування, зменшення міжпластинової відстані, відбувається накопичення дефектів усередині пластинок цементита. При зернистій формі цементита деформація сталі не викликає зміни їх форми, розмірів і відстані між ними. Відповідно до цього міра зміцнення при деформації і розвитку субструктури значно більше в сталі із структурою зернистого цементита.

Після термомеханічної обробки міцність сталей в порівнянні з звичайною термічною обробкою підвищується на 20-25 %, а ударна в'язкість у 2-3 рази.

Застосування термомеханічної обробки дає міцність зменшити витрати металу. При виготовленні деталей машин та конструкцій, підвищити їх надійність та робочий ресурс.

Список літератури

1. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов.-Т. 1. т. 2.-М.: Металлургия, 1968.-1171 с.
2. Вишняков Д.Я., Ростовцев Г.Н., Неуструев А.А. Оборудование, механизация и автоматизация в термических цехах. -М.: Металлург издат, 1964.-467 с.
3. Рабинович Н.Х. Термомеханическая обработка алюминиевых сплавов.-М.: Машиностроение, 1973.-160 с.

ТЕХНОЛОГІЧНА МОЖЛИВІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ СТЕРЖНІВ COLD-BOX-AMIN-ПРОЦЕСОМ НА ДІЮЧИХ СТЕРЖНЕВИХ МАШИНАХ

О.О. Гоманюк, студ., Г.М. Засінець, ст. викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Одним із сучасних способів отримання стержнів і форм є використання холоднотвердіючих сумішей (ХТС), тому розробка нових екологічно чистих їх складів – актуальна задача ливарного виробництва.

З усіх ХТС найбільш поширеними є формувальні суміші з рідким склом та синтетичними смолами. Використання ХТС дозволяє суттєво скоротити технологічний цикл за рахунок ліквідації об'ємної чи поверхневої сушки форм, підвищити продуктивність праці, зменшити вартість обладнання шляхом заміни комбінованих методів ущільнення віброущільнювачем.

В наш час великого поширення набули ХТС з синтетичними смолами, що пояснюється, перш за все, їх високою міцністю, невеликою витратою, можливістю регулювати міцності і швидкості затвердіння в великому діапазоні. При застосуванні ХТС зі смолами в кілька разів скорочується цикл виготовлення стержнів, покращується чистота поверхні відливки, знижується можливість браку.

Cold-box-amin-процес розроблений в США в 1968 р. фірмою Ashland. Стержнева суміш містить кварцовий пісок, 0,6 ... 0,8% фенольної смоли, 0,6 ... 0,8% поліізоціанати. Після ущільнення суміші в ящику піскодувним або піскострельним способом стержень продувається сумішшю парів третинного аміну з повітрям, і стержень набуває початкову міцність, яка становить 60% її кінцевого значення. Час продувки 2 .. 5 с, далі 10 ... 20 с стержень продувають повітрям для його очищення від парів аміну. В результаті взаємодії компонентів зв'язуючого в присутності каталізатора утворюється твердий полімер - поліуретан, який і забезпечує високу міцність стержня. Суміш аміну з повітрям, після проходження через стержневий ящик, прямує в нейтралізатор, де повністю нейтралізується розбавленою сірчаною кислотою з утворенням водорозчинної солі - сульфату амонію. Ступінь очищення повітря в цій системі близька до 100%. Таким чином, весь тракт подачі аміну повністю герметизований, що забезпечує безпеку процесу.

У відповідності з умовами формування міцності стержнів системи Cold-box-amin розроблені наступні рекомендації щодо застосування даної технології:

Конструктивні особливості обладнання:

1. Конструкція обладнання для приготування суміші повинна забезпечувати швидке і без істотних втрат випарника приготування суміші. Змішувачі повинні оснащуватися кришками; рекомендований принцип змішування вихровий або вібраційний.

2. Для уникнення втрат розчинника зв'язуючого внаслідок багаторазового проходження повітря крізь шар стержневої суміші в піскодувному резервуарі при машинному виготовленні стержнів необхідне використання систем контролю кількості суміші в піскодувному резервуарі.

3. Схема виробничого технологічного комплексу виготовлення стержнів методом Cold-box-amin повинна виключити тривале зберігання готової стержневої суміші з причин недопущення надмірного випаровування розчинника.

Технологічні особливості процесу:

1. Кварцовий пісок, який застосовується для виготовлення стержнів, повинен бути збагаченим (позбавленим шкідливих домішок, що знижують живучість суміші).

2. Необхідний жорсткий контроль за вологістю піску і стисненого повітря, що застосовується для продування стержнів.

3. Оптимальний температурний режим ливарної стержневої ділянки та вихідних стержневих матеріалів знаходиться в діапазоні 15-25 ° С. При експлуатації процесу в умовах знижених температур для збільшення кінцевої міцності стержнів бажано проводити їх підсушування.

4. Рекомендовані режими продувки: температура продувки повітрям: 100-150 ° С; тиск газациї: 0,5-1,5 МПа; тиск продувки повітрям: 2 - 5 МПа. Час продувки повітрям, витрата каталізатора встановлюються в залежності від геометрії і маси стержня.

5. Стержні, виготовлені за способом Cold-box-amin схильні до шкідливого впливу вологи. Зберігання таких стержнів при підвищеній вологості неприпустимо.

В наш час ливарні компанії проводять модернізацію своїх потужностей, закуповують сучасне імпортне обладнання і технології, виходять з своєю продукцією на європейський ринок. Один з лідерів в постачанні обладнання для формовки і регенерації – англійська компанія Omega.

Світова економічна криза призупинила активне освоєння нового обладнання і технології в галузі, але після виходу з неї очікується відновлення докризової тенденції. Ливарні компанії активно інвестували свої кошти в купівлю самого сучасного обладнання для ХТС- процесів: змішувачів, маніпуляторів, стендів для фарбування форм, систем регенерації і пневмотранспорту, стержневих автоматів. Малі підприємства здебільшого обходяться придбанням змішувача, вібростола і компактної системи регенерації. Більш великі підприємства з широкою номенклатурою продукції і великим річним обсягом випуску закуповують комплектні формовочні лінії з максимальною автоматизацією.

Загальновідомі переваги процесу «по холодним ящикам» перед гарячим процесом пов'язані, в першу чергу, з можливістю отримання більш точних і складних по конфігурації стержнів, що забезпечується відсутністю викривлення оснащення і стержнів в процесі виготовлення, а також більш високою міцністю повністю отверділого стержня на момент вилучення його з ящика.

Однак, відсутність коштів не дозволяє підприємствам проводити масову заміну стержневих машин на нове обладнання, що працює «по холодним ящикам».

Перехід на ХТС в свій час був викликаний економічними проблемами: через енергетичну кризу вартість енергоносіїв різко зросла. В наш час в технологічному процесі виготовлення ливарних піщаних стержнів першочерговими є екологічні і технологічні аспекти. "Холодні" процеси мають наступні переваги:

- можливість застосування для виготовлення будь-яких стержнів, ажурних і масивних;
- підвищення точності стержнів і відливок внаслідок відсутності термічних напружень, деформацій і викривлення стержнів при їх вилученні з оснащення;
- можливість застосування для стержнів складної конфігурації з тонкими ажурними перерізами, в тому числі для виготовлення моноблоків стержнів;
- висока якість литих поверхонь;
- полегшення умов праці в стержневих відділеннях, поліпшення екологічної ситуації в ливарних цехах і навколо них;
- зменшення витрат в ливарному виробництві за рахунок зниження браку стержнів, зниження витрат енергоносіїв, підвищення продуктивності стержневих машин.

Для переводу на «холодні ящики» діючу стержневу машину, що працює «за гарячими ящиками», необхідно доповнити пристроєм вводу-виводу продувочної плити, до якої підводиться газ-затверджувач, а також установкою для приготування і дозування газу-затверджувача. Крім того, необхідно встановити нейтралізатор відпрацьованого газу-затверджувача.

Від переробленої машини суміш відпрацьованого газу-затверджувача з повітрям, зазвичай, відсмоктують безпосередньо від стержневих ящиків. Відсмоктування ведеться від

нижньої частини ящика з нижньої і бічних сторін, а від верхньої частини ящика тільки з бічних сторін. Стержнева машина залишається відкритою і доступною для обслуговування. При цьому методі стержневі ящики повинні складатись з двох частин, а відокремлені вставки повинні бути невеликими.

З метою переведення на «холодні ящики» наявних в ливарних цехах стержневих машин, що працюють за гарячим процесом, АТ «Літаформ» розробило принципи такої модернізації. Одночасно з цим розроблена технічна документація і виготовляється допоміжне обладнання.

До складу допоміжного обладнання входять:

1. Газова станція, що забезпечує підготовку газу-затверджувача і дозування його для кожного циклу виготовлення стержнів. Сучасна газова станція складається з:

1) блоку підігріву повітря до початкової температури продувки близько 120 ° С;

2) блоку підготовки газу-затверджувача для продувки стержневої суміші, яка заповнила ящик;

3) системи управління та контролю процесом продувки.

2. Станція роздачі газу-затверджувача (звичай, в зрідженому вигляді) по газовим станціям, встановленим біля стержневих машин, складається з:

1) двох пожежобезпечних камер (контейнерів), в кожній з яких розташована одна 200-літрово бочка з рідким газом-затверджувачем, що дозволяє замінювати пусті бочки на повні без зупинки виробництва;

2) насосного блоку, бажано по одному на кожну камеру;

3) трубопроводів роздачі скрапленого газу-затверджувача по газовим станціям, встановленим біля стержневих машин.

3. Нейтралізатор відсмоктує від стержневих машин газ-затверджувач в суміші з повітрям. В комплект нейтралізатора входить власне нейтралізатор, краплеуловлювач, вентилятори, смінь для нейтралізації відпрацьованих розчинів.

У країнах Європи і в США існують спеціалізовані фірми, які виробляють і постачають вищеперелічене обладнання для стержневих машин, що виготовляють стержні «по холодним ящикам». Це обладнання купують як фірми-виробники стержневих машин, так і підприємства, що модернізують свої машини. У США подібна комплектація стержневих машин допоміжним обладнанням є повсюдною практикою, а в Європі ряд фірм-виробників стержневих машин виробляє для них допоміжне обладнання за винятком нейтралізаторів.

Список літератури

1. Трещалин А.В. Высокоэффективное оборудование для ХТС- процессов/ А.В Трещалин // Литейное производство. – 2010. - №4. – С. 17-20.
2. Формовочные смеси с новым смоляным связующим / Каратеев А.М., Пономаренко О.И., Євтушенко Н.С., [та ін.] // Литейное производство. — 2010. — № 1. — С. 31—34.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПЛАВЛЕННЯ ДРІБНОЇ АЛЮМІНІЄВОЇ ШИХТИ В МГД-УСТАНОВЦІ

В.Я. Сухарський, студ.,

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Переробка промислових та побутових відходів є вельми актуальною проблемою сьогодення, яка пов'язана з енергозбереженням, економією природних ресурсів та охороною довкілля. При цьому значну і постійно зростаючу частку таких відходів складають тонкостінні відходи з алюмінію та його сплавів (зокрема, металеві банки з-під різноманітних напоїв, відходи металообробки у вигляді стружки тощо).

Найбільш ефективними сучасними технологіями переробки тонкостінних відходів алюмінієвих сплавів є процеси, що виключають пряме нагрівання шихти з метою усунення небезпеки її угоряння і, відповідно, для забезпечення таким чином високих значень виходу придатного металу відносно обсягів перероблюваних відходів. При цьому переплав шихти здійснюється в потоці розплаву за рахунок тепла рідкого металу, хімічний склад якого наближений до хімічного складу шихти. Створення такого керованого потоку перегрітого рідкого металу відбувається за допомогою електромагнітних насосів, які є у складі сучасних переплавних комплексів.

У КНТУ розроблено магнітогідродинамічний (МГД) циркуляційний контур для переплаву тонкостінних алюмінієвих відходів з розвиненою поверхнею. Головним елементом створеного контуру є магнітодинамічний насос, який забезпечує керовану циркуляцію розплаву в системі та здатен, на відміну від переважної більшості застосовуваних електромагнітних насосів, здійснювати регульований індукційний підігрів металу. Це дає змогу реалізувати ефективну передачу теплової енергії від рідкого металу, що у даному разі є джерелом нагріву, до тонкостінної шихти, яка є об'єктом нагріву, за рахунок контрольованого примусового конвективного тепломасопереносу. Відпрацювання технологічних режимів процесу переплаву алюмінієвих відходів у створеному МГД-циркуляційному контурі перш за все передбачало встановлення раціональних співвідношень між тепловими і гідродинамічними параметрами процесу, зокрема: а) температурою розплаву та шихти; б) масовою швидкістю циркуляції рідкого металу у системі; в) масовою швидкістю і періодичністю подачі шихти до контуру на переплав; г) масовою швидкістю та періодичністю відбору наплавленого металу з контуру.

Для вирішення поставленої задачі було застосовано методи математичного моделювання, що ґрунтуються на фундаментальних закономірностях класичної теплофізики і гідродинаміки. При цьому головною метою було встановлення поліноміальної залежності для розрахунку коефіцієнту теплообміну між середовищем (рідким металом) та тілом, що нагрівається (алюмінієва шихта з побутових та промислових відходів).

Проведений чисельний розрахунок та натурні експерименти на лабораторному МГД-циркуляційному контурі дозволили встановити раціональні теплові та гідродинамічні параметри процесу переплаву тонкостінних алюмінієвих відходів з розвиненою поверхнею та забезпечити вихід придатного металу після такого переплаву на рівні 80-85% від маси поданої на переробку шихти, що значно перевищує середні показники при традиційних способах переробки відходів шляхом їх прямого нагріву у печах (вихід придатного металу в такому разі в середньому складає 45-60%).

ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ ПІДЖИВЛЮВАЧА ВІДЛИВКІВ КОРПУСНОЇ ГРУПИ ПАТ «ГІДРОСИЛА» ШЛЯХОМ ПРЕСУВАННЯ РІДКОГО МЕТАЛУ В ПІДЖИВЛЮЮЧІЙ ЧАСТИНІ КОКІЛЯ

О.С. Карпуцев, студ., С.В. Конончук, ст. викл.
Кіровоградський національний технічний університет

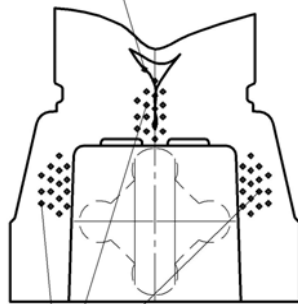
Найпоширенішим методом компенсації усадки відливків при кристалізації є використання підживлювачів, на які при литті алюмінієвих сплавів витрачається до 40 – 50 % рідкого металу. В той же час, об'єм усадки становить не більше 4 – 6 %. Зменшення різниці між витратами металу на підживлювачі від 40 – 50 %, що витрачається в існуючій технології лиття, до 4 – 6 % розплаву, необхідного для живлення відливка є величезним резервом ресурсозбереження і підвищення економічних показників виробництва.

Однією з причин неекономічного використання металу підживлювачів є те, що після утворення в їхньому об'ємі суцільного кристалічного каркаса капілярні сили утримують між дендритами значну кількість металу рідкої фази (до 50 – 80%). З метою раціонального використання матеріалу підживлювача для повноцінного живлення відливка пропонується розробити технологію, що передбачає пресування периферійних ділянок твердо-рідкого підживлювача з видавлюванням легкоплавкої міждендритної рідини в тіло відливка.

В існуючій технології виготовлення відливків корпусної групи на ПАТ «Гідросила» при недостатньому живленні відливка (підживлювач не повністю заповнений металом або підживлювач не достатньо утеплений) можуть утворюватись дефекти усадкового характеру (рис. 1).

Для усунення вказаних дефектів та з метою зменшення витрат металу на підживлювач пропонується на кокільний верстат встановити поршень для пресування металу в підживлюючій частині кокилю (рис. 2).

Усадкова раковина



Усадкова пористість

Рисунок 1 – Дефекти усадкового характеру у відливках корпусної групи

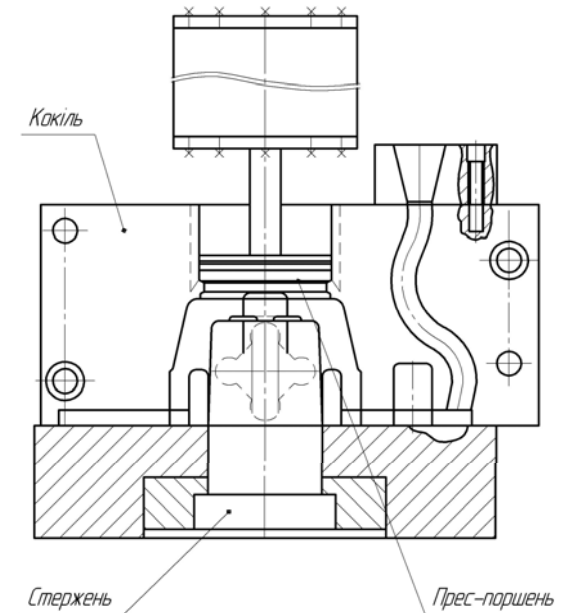


Рисунок 2 – Схема пресування рідкого металу в підживлюючій частині кокиля

Таким чином, пресування рідкого металу забезпечить використання для живлення відливка легкоплавкої міждендритної рідини підживлювача, дозволить в 2-3 рази скоротити масу підживлювачів, забезпечуючи при цьому отримання якісних відливків без дефектів усадкового характеру і тим самим підвищити економічні показники виробництва.

Список літератури

1. Котлярский Ф. М. Малоотходное литье алюминиевых сплавов / Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов. – К.: Наукова думка, 2007. – 160 с.
2. Котлярский Ф. М. Снижение непроизводственных расходов жидких алюминиевых сплавов / Ф. М. Котлярский, В. И. Белик, Г. П. Борисов // Материалы Международной научно-практической конференции-выставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология». – Киев: ФТИМС, 2011. – С. 148-151.