

УДК 669.184

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ЛІГАТУР І ШИХТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ІЗ РУДНИХ МАТЕРІАЛІВ І МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАМІВ¹

М. В. Луценко

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Розглянута технологія отримання лігатур і шихтової заготовки із рудних матеріалів, шлаків і шламів доменного, сталеплавильного, ферросплавного і гальванічного виробництв на базі рідкофазної відновлювальної плавки.

Рассмотрена технология получения лигатур и шихтовой заготовки из рудных материалов, шлаков и шламов доменного, сталеплавильного, ферросплавного и гальванического производства на базе жидкофазной восстановительной плавки.

The technology for ligatures and charge billets from ore materials, slag and sludge blast-furnace steelmaking, ferroalloy and galvanic production based on liquid-phase reduction smelting are considered.

Вступ

Проблеми охорони навколишнього середовища і економного використання ресурсів, що існували довгий час роздільно, вимагають комплексного, сумісного розгляду.

Як відомо, у металургії утворюється велика кількість металовмістких відходів у вигляді мілкодисперсних пилу й шламів. Тому проблема утилізації таких відходів висувається на передній план. Це обумовлено, з одного боку, величезними ресурсами цього виду вторинної сировини, з іншого боку – науково-технічними розробками, що з'явилися за останні роки [1 – 4].

Сучасна концепція утилізації відходів на металургійних підприємствах припускає багатократне використання вторинних ресурсоцінних матеріалів для власних потреб підприємства або за його межами за умови їх переробки.

Робота виконана під керівництвом:

Доктора технічних наук, професора В.М.Костякова, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України;

Доктора технічних наук, професора В.С.Богушевського, НТУУ „КПІ”

Аналіз наявних даних про застосування оксидовмістких матеріалів у вигляді рудної сировини, пилу сталеплавильного виробництва, шламів доменного, сталеплавильного, прокатного й гальванічного виробництв для виплавки чавуну і сталі показує, що застосування цього виду сировини перспективно й економічно виправдано. Це визначає актуальність напрямку досліджень.

Найбільше ефективно процес відновлення оксидів металів реалізується в умовах рідкофазної відновлювальної плавки в плавильних агрегатах, широко застосовуваних у металургії. Але дослідженню характеристик виплавлених лігатур і шихтової заготовки приділено недостатньо уваги.

Постановка задачі

Робота присвячена дослідженню основних характеристик лігатур і шихтової заготовки, що виплавлені за технологією рідкофазної відновної плавки вторинних ресурсоцінних оксидовмістких матеріалів, наведеної нами в [5].

Методика проведення експериментів

Плавки проводилися в лабораторній дуговій електропечі постійного струму з кислотою і основною футерівкою. Плавку лігатур і шихтової заготовки проводили на рудних матеріалах, шлаках і шламах доменного, сталеплавильного, феросплавного і гальванічного виробництв. Виплавка сплавів марочного складу проводилася скрап-процесом.

При виплавці лігатур і шихтової заготовки як відновник застосовувався вуглець у вигляді електродної стружки і коксу. Розрахунок відновника визначався з рівняння:

$$G_g = \frac{G_w \cdot (K_1 \cdot M_1 + K_2 \cdot M_2 + K_3 \cdot M_3 + K_n \cdot M_n)}{C_g} \cdot m, \quad (1)$$

де G_g – необхідна витрата відновника, кг; G_w – кількість руди, шламу або шлаку в шихті, кг; $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$ – вміст в шихті відновлюваних елементів, кг; $K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ – коефіцієнти, що враховують стехіометрично необхідну кількість вуглецю для відновлення вказаних елементів; C_g – процентний вміст вуглецю у відновнику; m – коефіцієнт, що враховує необхідний надмірний вміст відновника в шихті.

Плавки проводилися на підготовленій шихті. При плавці дрібнодисперсних матеріалів (залізорудний концентрат, шлами доменного, сталеплавильного, феросплавного і гальванічного виробництв) підготовка

шихти включала наступні технологічні операції: попередню сушку початкових матеріалів, вагове дозування компонентів шихти і їх перемішування, грануляцію підготовленої суміші і зміцнюючу сушку гранул. Як відновник використовувався електродний бій, який входив до складу гранульованої суміші.

Виплавка лігатур і шихтових заготовок проводилася за двома технологічними схемами. Технологія проведення плавки з попереднім частковим наплавленням рідкої ванни полягала в наступному. Вхідний до складу шихти металевий лом (чавун) завантажували в піч, розплавляли і перегрівали до температури 1623 – 1653 К (період розплавлення металошихти). Після розплавлення і перегріву чавуну шлак, що утворився в процесі плавки, видаляли з печі, а потім на поверхню рідкої ванни періодично окремими порціями завантажували підготовлену шихту і розплавляли її (відновний період плавки).

Плавки без попереднього наведення рідкої ванни проводили таким чином. У тигель печі завантажували частину відновника і шихти. Після розплавлення проводили періодичне довантаження і розплавлення решти шихти.

Після розплавлення останньої порції завантаженої шихти і нагріву металу і шлаку (період витримки) піч відключали, вимірювали температуру і проводили злив металу і шлаку в заздалегідь нагріту до 453 – 473 К графітову виливницю. Після охолодження продуктів плавки проводилося їх оброблення, зважування і відбір проб металу і шлаку для визначення їх хімічного складу і дослідження якісних характеристик литого металу.

При проведенні досвідчених плавки контролювалися їх часові і електричні параметри: загальна тривалість плавки, тривалість окремих її періодів, струм і напруга дуги.

Температура металу і шлаку вимірювалася вольфрам-ренієвою термопарою ВР 20/5, показання якої реєструвалися переносним мілівольтметром М1109. Загальна тривалість плавки, а також тривалість окремих її періодів вимірювалися секундоміром. Реєстрація електричних параметрів плавки проводилася амперметром і вольтметром.

Хімічний склад виплавлених сплавів визначався на растровому електронному мікроскопі GSM840 методом енергетичної дисперсії і хімічним аналізом по ГОСТ 12344, ГОСТ 12345 і ГОСТ 12347, хімічний склад фаз сплавів – на приладі мікроспектрального аналізу REMMA-102.

Міцнісні і пластичні характеристики визначалися у відповідності ГОСТ 14019, ГОСТ 14970 і ГОСТ 9012. Випробування на згиб проводили на зразках діаметром 30 мм при відстані між опорами 300 мм, випробування на розтягування – на литих механічно оброблених

пропорційних циліндрових зразках з початковим діаметром зразка 10 мм. Вимірювання твердості по Брінеллю проводили на циліндровому зразку діаметром і висотою 20 мм.

Загальний вміст неметалічних включення, а також характер розподілу їх по розмірних групах встановлювали на мікроскопі – „Квантимет 720”.

Вміст газових домішок визначали методом плавлення досліджуваних зразків у вакуумі і потоці гелію на установці фірми „ЛЕКО”.

Проведення досліджень і результати

В процесі досліджень проведено 14 плавок, склад шихти і хімічний склад виплавленого чавуну яких наведено в таблиці [5].

Якість, структура і властивості ливарних чавунів, виплавлених за вищеписаною технологією, досліджені на литих зразках. Дослідження вмісту газів і неметалічних включення на зразках плавок № 12 і 13. Дані досліджень приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вміст газів, неметалічних включення і характер їх розподілу по розмірних групах в зразках.

№ плавки	Вміст газів, %		Вміст включень, %	Тип включень	Кількість включень, % і їх розмір, мкм						
	[O]	[N]			<1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	>3,5
12	0,03	0,0029	0,040	сульфіди	50,1	40,0	6,1	2,4	0,8	0,3	0,3
			0,059	оксиди	28,3	21,9	11,3	8,4	9,1	12,3	8,7
13	0,028	0,0024	0,037	сульфіди	46,4	8,9	7,5	3,2	1,20	0,80	1,0
			0,056	оксиди	30,3	24,1	5,3	10,0	8,4	11,8	10,1

З приведених даних виходить, що вміст газів у виплавленому чавуні з окатків і доменного шламу знаходиться на рівні вагранкового чавуну. У виплавленому чавуні спостерігається не дуже високий вміст неметалічних включення.

Неметалічні включення у виплавленому чавуні присутні у вигляді сульфідів і оксидів. Аналіз отриманих даних показує, що сульфідів і оксидів містяться в металі, в основному, невеликих розмірів. Кількість оксидних включень крупних розмірів понад 3,5 мкм для чавуну плавки № 12 і 13 знаходиться в межах 8,7-10,1 %. Мабуть, утворення неметалічних включення невеликих розмірів можна пояснити особливостями відновних процесів, які мають місце при рідкофазній відновній плавці.

Слід вважати, що аналогічна картина з поведінкою розчинних газових домішок і неметалічних включення спостерігатиметься при

виплавці чавуну із залізорудного концентрату. Нижче приведені дані вивчення структури і властивостей чавуну, виплавленого із залізорудної сировини, яким є окатки, залізорудний концентрат і шлам доменної печі.

Відомо, що структура чавуну в більшості випадків визначає його властивості. Загально визнано, що графіт і силіцій, що присутні в чавуні в певних кількостях, роблять вирішальний вплив на структуру і властивості конструкційних чавунів, наприклад, сірих. Значний вплив роблять також склад і природа шихти, умови плавки і позапічної обробки.

Виплавлені чавуни з оксидовмістких матеріалів по своєму хімічному складу відносяться до класу сірих чавунів.

Розглянемо, як впливає вид шихти на структуру виплавлених сплавів. Слід зазначити, що структури всіх сплавів досліджені на литих нетермооброблених зразках.

Сплав плавки № 4 по своєму хімічному складу близький до вуглецевої сталі 80. Структура сплаву показана на рис. 1.

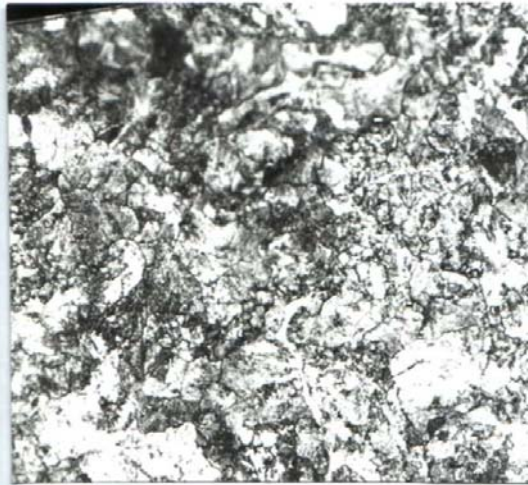


Рис 1. Структура металу плавки № 4, x 400

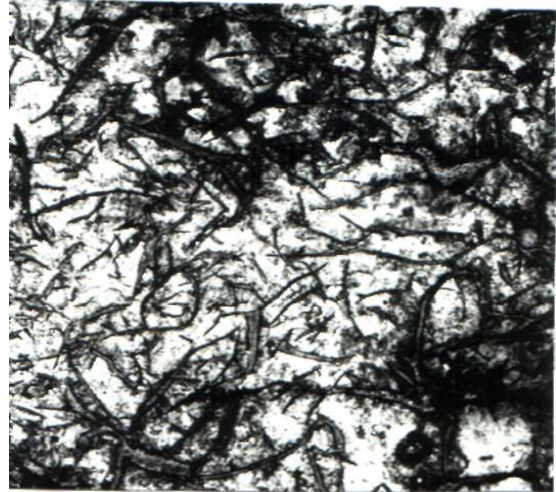


Рис 2. Структура металу плавки № 7, x 200

Виділення вільного графіту відсутні. Спостерігається тільки початкова стадія його виділення на поверхні неметалічних включень, які представлені, ймовірно, оксидо-сульфідами марганцю (до 0,5 – 1,0 % площі шліфа). Металева основа (матриця) складається, переважно, з дрібного сорбітоподібного перліту і троститу.

У чавуні плавки № 7 (рис. 2) графіт, що виділився, має крупну форму, розподілений рівномірно по матриці зразка і займає до 10 % поверхні шліфа. Матриця чавуну складається з перліту, а потрійна фосфідна евтектика займає до 1 % шліфа.

У зразку плавки № 8 (рис. 3) графіт також має пластинчасту форму, але розмір пластин графіту значно менший. Він розподілений рівномірно, спостерігаються виділення міждендритного точкового і міждендритного пластинчастого графіту. Графіт, що виділився, займає площу менше 6 % площі шліфа. Будова матриці така ж, як і в чавуні плавки №7.

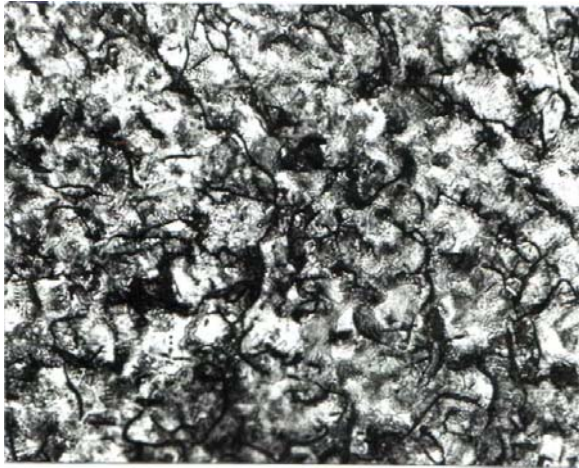


Рис.3. Структура металу плавки № 8 * 200

Аналіз структур чавунів плавки № 4, 7 і 8 показав, що при зменшенні вмісту в шихті залізородного концентрату (з 50 до 30 %) зменшується вміст і розмір графіту у виплавленому сплаві. Склад шихти на матрицю чавуну істотного впливу не надає, і вона складається, в основному, з перліту. Потрійна фосфідна евтектика дрібнозерниста займає до 1 % площі шліфа.

У сплаві плавки № 12 (рис. 4) основна форма графіту, що виділився, – завихрена пластинчаста. Розподіл графіту в матриці чавуну

нерівномірний і класифікується двома типами: колонії пластинчастого графіту і розетковий графіт. Велика кількість включень графіту дрібнодисперсні, довжиною 15, але зустрічаються і завдовжки до 90 мкм.

У окремих місцях присутні одиничні пластинки графіту довжиною 180 мкм і ізольовані одиничні включення графіту вермікулярного типу (рис. 5). Графіт, що виділився, займає не більше 12 % площі шліфа.

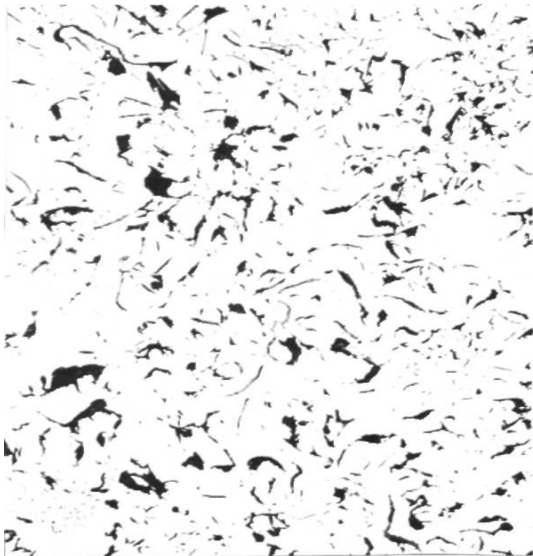


Рис. 4. Форми графіту в чавуні плавки № 12, x 100

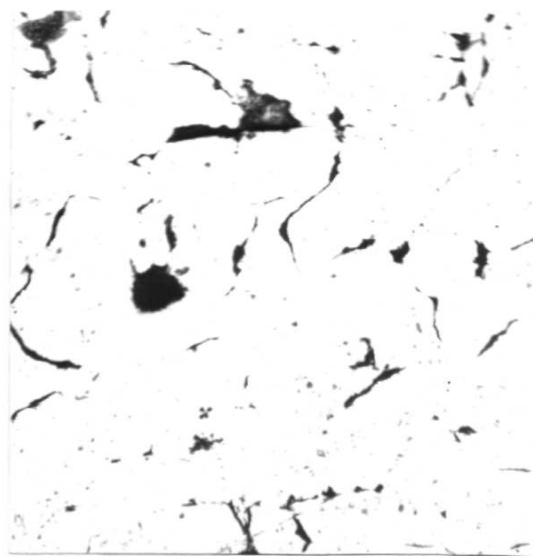


Рис. 5. Вермікулярний графіт чавуні плавки № 12, x 400

Металева основа дослідного чавуну складається, переважно, з перліту, невеликої кількості фериту, окремих ділянок стедиту і фосфідної евтектики (рис. 6).

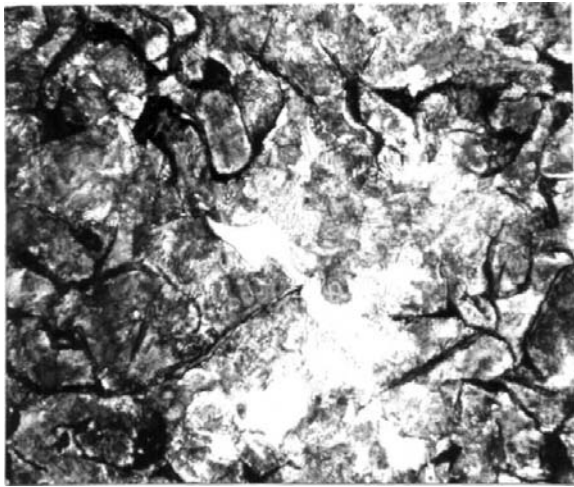


Рис. 6. Мікроструктури чавуну плавки № 8 x 400

частого графіту.

Розмір включень графіту складає, в основному, 180 мкм, але є також включення меншої довжини (90 мкм). Кількість включень графіту – 10 % площі шліфа.

Металева основа виплавленого чавуну складається з дрібнодисперсного сорбітоутвореного перліту (П100) (рис. 8).



Рис. 7. Форма графіту у чавуні плавки №13 x 100.

Дисперсність перліту коливається від сорбітоутвореного дрібнодисперсного до ПД0,3-ПД1,0

Потрійна фосфідна евтектика розташовується, в основному, у феритній фазі або по її межі. Неметалічні включення зустрічаються рідко, мають округлу або неправильну форму типу сульфиду мангану або заліза (FeS, MnS).

Форма графіту в чавуні плавки № 13 (рис. 7) – завихрена пластинчаста. Розподілення графіту в матриці чавуну рівномірне й класифікується як колонії пластин-



Рис. 8. Мікроструктури чавуну плавки № 13 x 500.

Дисперсність перліту від ПД0,3 до ПД1,0, але є ділянки матриці з ПД1,4.

У таблиці 2 приведені фізико-механічні властивості чавуну, виплавленого з доменного і сталеплавильного шламу і металізованих окатків.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості чавуну

№ плавки	Механічні властивості			Твердість НВ
	σ_{ϵ} , МПа	$\sigma_{\text{цз}}$, МПа	f, мм	
12	225	307	2,1	230
	211	301	1,9	221
	207	303	2,0	229
13	273	429		263
	281	436		269
	269	416		260

З цих даних виходить, що фізико-механічні властивості чавуну плавки № 13 дещо вищі в порівнянні з плавкою № 12. Це пояснюється особливостями фазового складу чавуну, виплавленого з металізованих окатків.

Висновки

Таким чином, результати виконаних досліджень показали, що для виплавки ливарного чавуну успішно можуть бути використані відходи металургійного виробництва у вигляді шлаків і шламів, окатки і залізорудна сировина. Застосування таких матеріалів дозволяє отримувати задану структуру і властивості чавуну.

Крім того, це дозволяє вирішити проблему дефіциту шихтових матеріалів і активно впливати на собівартість металопродукції.

Література

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін.: За ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я.Готвянського – К.: Вища школа, 2006 – 503 с.
2. Оксидосодержащие стали и чугуны / В.Н.Костяков, В.Л.Найдек, Е.Б. Полетаев и др. // Процессы литья. – 2001. – № 2. – С. 3 – 5.
3. Пат. № 405054 Австрия, МКІ⁶, С 21 В 11/10, Способ и установка для получения расплава железа с использованием Fe-содержащих отходов металлургического производства.
4. Механизм восстановительной плавки // В.Н.Костяков, В.Л.Найдек, Н.И.Тарасович и др. // Процессы литья – 2005. – № 2. – С. 3 – 10.
5. Луценко М.В. Технологія отримання чавуну з рудних концентратів і металургійних шлаків/Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: Збірник праць співробітників і студентів кафедри „Фізико-хімічні основи технології металів”. – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. – С. 138 – 144.