

СІГАРЬОВ Є.М., д.т.н., професор  
ПОЛЄТАЄВ В.П., к.т.н., доцент  
ВОВК О.А., студентка  
СІГАРЬОВ М.К., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ЦІННОСТІ ОКУСКОВАНИХ ВІДХОДІВ

**Вступ.** Отримання високотехнологічної та якісної продукції можливе тільки з чистого металу, що може бути забезпечене, в основному, на етапах виплавки та доведення сталі. Конвертерне виробництво сталі базується на двох основних видах металошихти: чавуні та металевому ломі або його заміниках. Витрати на металошихту складають до 80% собівартості сталі.

Зміна ситуації з забезпеченням металевим ломом металургійних підприємств, що склалася на сьогодні в Україні та світі, свідчить не стільки про зростання його дефіциту, скільки про дефіцит у його якісному сегменті. У зв'язку із дефіцитом якісного брухту використовуються не тільки залізорудні матеріали з невеликим вмістом заліза [1], а і металодобавки у вигляді окускованих пилу, шламів та відходів машинобудівельних підприємств, а й розглядається навіть можливість рециклінгу радіоактивного брухту [2].

**Постановка задачі.** У якості ресурсозберігаючої сировини у складі металошихти для сталеплавильної переробки на сьогодні можна вважати брикети з відходів металургійної та машинобудівної промисловості, у тому числі з чавунної та сталеві стружки. Брикет відноситься до шихтових матеріалів, скомпонованих у вигляді міцних кусків визначених розмірів та форми.

Виготовлення брикетів зі щільністю на рівні 5000-5500 кг/м<sup>3</sup> є нескладною операцією, в той же час суттєвим баластом для шлакового режиму конвертерної плавки можуть стати шлак та домішки брикету. Сталева стружка відрізняється від інших видів легковагового брухту великою неоднорідністю за твердістю та перетином, наявністю окисних плівок та сторонніх домішок, що дещо ускладнюють утворення щільного та міцного куска при холодному пресуванні брикетів.

До основних критеріїв металургійної цінності та ефективності використання брикетів прийнято відносити їх чад, який зазвичай складає 3-5%. До нешкідливих домішок брикетів відносять такі домішки, наявність яких у обмеженій кількості не впливає негативно на якість металу, що виплавляється (волога, дерево, земля, ганчір'я, пісок та т. ін. [1-4]). Відсоток виходу рідкого заліза з брикету залежить також від наявності та кількості мастильно-охолоджуючої рідини (МОР) на поверхні стружки.

Згідно з ДСТУ 4121-2002 засміченість нешкідливими домішками (за масою) не повинна перевищувати 1,0% для брикетів виду №14 і 3,0% – для брикетів виду №15. Міцність визначають кількістю сталеві стружки, що осипається з брикетів до 3,0% від загальної маси.

У свою чергу, остаточний вміст забруднюючих елементів (шкідливих домішок), у перш чергу таких як мідь, хром, нікель, олово, молібден, цинк, визначає можливість виконання вимог до хімічного складу готової сталі.

Але без визначення хімічного складу, рівню вологості та міцності такого типу сировини, ступеня засміченості нешкідливими та шкідливими домішками, забезпечити об'єктивну оцінку металургійної цінності брикетів складно.

Порядок прийому, зберігання і методи випробувань металобрухту чорних і кольорових металів спеціалізованими підприємствами встановлюються відповідно до

стандартів (ст. 4 «Закону про металобрухт»): ДСТУ 3211:2009 «Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови» та ДСТУ 4121-2002 «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови».

Обґрунтування закупівельної вартості брикетів, яке, в основному, засноване на визначенні вмісту корисної складової (вмісту та очікуваного виходу заліза) та ступеня впливу на технологію сталеплавильного процесу домішок, що містить брикет, потребує подальшого удосконалення методики визначення його металургійної цінності.

**Результати роботи.** З метою уточнення та оцінки ступеня засміченості згідно з ДСТУ 3211:2009 у лабораторних умовах від партії металобрухту відбираються не менше двох проб, кожна з яких проходить необхідний цикл випробувань, що включає етапи оцінки представницької проби; її зважування; видалення домішок; повторне зважування. На підставі дослідних даних обчислюють відсоток засміченості конкретної проби.

Слід зазначити, що подібна методика дає досить наближені значення засміченості, так як не враховує окислення, вологості брикетів, не дає уявлення про особливості забруднень і можливий вихід рідкого металу при розплавленні брикету.

У відповідності до ГОСТ 2787-75 засміченість пакетів і брикетів нешкідливими домішками і мастилом перевіряють після руйнування методом розбивки або різання.

Такий метод оцінки засміченості і складу запропонованої до приймання партії брикетів також не дозволяє отримати достовірні дані щодо кількості забруднень і класифікувати їх.

Методику визначення засміченості брикетів зі сталеві стружки відповідно до СТП 235-8-08-2016 (Єнакіївський МЗ) зведено до наступних положень.

Виходячи з маси контрольної проби, процентного вмісту заліза в пробі фракцією менш 1 мм ( $M_{\phi p < 1}$ ) і маси неметалевої частини проби фракцією більше 1 мм ( $M_{\phi p > 1}^{HM}$ ), визначають засміченість брикетів із сталеві стружки за формулою:

$$Z = 100 \times \left( \frac{M_{\phi p > 1}^{HM} + M_{\phi p < 1} \times \frac{(100 - (Fe + C))}{100}}{M^k} + \frac{\Delta}{M_{np}} \right), \quad (1)$$

де  $\Delta$  – різниця в масі контрольної проби до і після пропалювання (облік наявності вологи і мастил), кг; Fe та C – вміст заліза в пробі фракцією менш 1 мм і середній вміст вуглецю в сталі марки Ст3 (згідно з ДСТУ 2651: 2005),%;  $M^k, M_{np}$  – маси контрольної проби після і до пропалювання, кг.

Для прикладу результати розрахунків з використанням методики Єнакіївського МЗ наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку засміченості брикетів за методикою ЄМЗ

№ проби	Загальна маса брикету, кг	Відсів фракції < 1мм, кг	Fe <sub>мет</sub> у відсвіві, %	Вміст у відсвіві			Засміченість брикету %
				Fe <sub>зар</sub>	C	н.в.	
1	9,410	0,610	24,66	60,95	5,54	7,1	4,8
2	11,650	0,950	22,88	61,92	4,58	8,8	6,2
3	11,370	0,970	22,88	51,7	7,48	12,5	6,5

Необхідно відзначити, що у зв'язку з істотною нестаціонарністю фізичних характеристик, навіть в межах однієї партії брикетів, використання контрольної проби обмеженою масою з об'єднаних шляхом руйнування і змішування 3-5 брикетів може приз-

вести до отримання недостовірних відомостей, викривлених топографічною невизначеністю при відборі проб для аналізу. Вимагає додаткового обґрунтування також вибір розміру фракцій для розсіювання проби і відбір для окремого зважування проби фракцією менш ніж 1 мм. Крім того, визначення вмісту в пробі металевого заліза, в присутності окисленого, є досить складною і трудомісткою задачею. Потребує також обґрунтування вибір для порівняльної оцінки марки сталі Ст3 за умов використання для виготовлення брикетів партій сталеві стружки широкого діапазону марок сталі.

За методикою оцінки якості брикетів зі сталеві стружки, розробленою фахівцями Донбаського державного технічного університету [8], на початковому етапі визначають щільність стружки, її фракцій і безпосередньо брикетів, вміст металевого заліза, вологи і мастил по фракціям. Після цього визначають загальний вміст домішок, в тому числі окисленого заліза,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Піддаючи у певній мірі обґрунтованій критиці методику, запропоновану Єнакіївським МЗ (СТП 235-8-08-2016), автори [8] вказують на доцільність при оцінці металургійної цінності обліку не тільки вмісту заліза і вуглецю у відсівах, а й наявність 50-60% окисленого заліза. Автори стверджують, що «... наявність вуглецю у відсівах дозволяє відновити від 60 до 75% цього заліза практично без додаткових витрат при виробництві сталі», у зв'язку з чим пропонується змінити вираз (1) до вигляду:

$$Z = 100 \times \frac{M_{\text{фр}>1}^{\text{HM}} + M_{\text{фр}<1} \times \frac{(100 - (Fe + C + Fe_{\text{ок}}))}{100}}{M^{\text{к}}} \quad (2)$$

Виходячи з рекомендацій авторів [8], при розрахунках за виразом (2) «чистота» брикетів по засміченості збільшиться на 2,0-2,5% з відповідним підвищенням закупівельної ціни на 2-3%.

З метою визначення напрямків подальшого удосконалення методики визначення металургійної цінності брикетів авторами даної роботи проведено серію високотемпературних експериментів із застосуванням індукційної тигельної печі ІСТ-016 і газоподібного аргону в якості захисного середовища для робочого простору з використанням зразків брикетів зі сталеві стружки з різних марок сталі. Використали три партії брикетів (відповідно №№ 1...3).

До складу експериментального комплексу входили: індукційна піч ІСТ-016; графітові тиглі для випуску та кристалізації розплаву отриманої переплавленням брикетів сталі; стенд для регулювання витрати аргону з витратомірами і манометрами; цифровий термометр фірми Heraeus Digitemp DTK 01-T-II, пірометр візуальний загальнопромисловий «Промінь»; ваговимірювальне обладнання.

Як відомо [8], в процесі нагрівання брикету в робочому просторі індукційної печі може відбуватися інтенсивне випаровування залишкової вологи, піроліз і вигорання органічних домішок з поверхні сталеві стружки. Попередження зневуглецювання поверхневого шару стружки в цей початковий період забезпечували як захисною дією навколишнього газової оболонки з парів піролізу, так і шляхом створення нейтральної атмосфери при вдуванні в робочий простір газоподібного аргону (з питомою витратою 0,05...0,15 м<sup>3</sup>/хв.).

Склад більшої частини МОР є сумішшю води, спеціальних добавок і мастила. Температура запалювання мастил знаходиться в межах 170...200<sup>0</sup>С, тому нагрівання поверхні брикету до 180<sup>0</sup>С в початковий період призводить до повного випаровування вологи, в той час як мастило випаровується лише частково. Протягом усього нагріву до температури початку руйнування (або оплавлення) брикету останній, зазвичай, знаходиться в захисному середовищі продуктів сублімації власних МОР: до температур 180...400<sup>0</sup>С – парами води і леткими фракціями мастил, потім – СО і СО<sub>2</sub>, низькомолекулярними вуглеводневими сполуками та сажею (400...690<sup>0</sup>С). Обсяг виділених в цей

період газів достатній, щоб захистити поверхню стружки від вторинного окислення заліза та викривлення результатів.

На першому етапі експериментів визначали щільність кожного зразка брикетів з використанням методу гідростатичного зважування [9]. Так, наприклад, щільність брикетів №1 склала  $5614,0 \text{ кг/м}^3$ , №2 –  $5423,0 \text{ кг/м}^3$  та №3 –  $6011,0 \text{ кг/м}^3$  відповідно.

Визначали також показник міцності брикетів шляхом триразового скидання брикету з висоти 1,5 м на бетонну плиту за методикою, наведеною у роботі [10]. Показники міцності склали 0,4578%, 0,619% та 0,124% від маси брикетів №1, №2 та №3 відповідно. За показниками щільності та міцності усі застосовані зразки брикетів відповідають вимогам ДСТУ 2141-2002 до металобрухту виду №14.

На наступному етапі експериментів проводили переплавлення брикетів (рис.1) у індукційній печі зі створенням, на відповідному етапі плавки, захисної атмосфери шляхом вдування газоподібного аргону під графітову кришку 1, що перекривала горловину печі (рис.2, а).

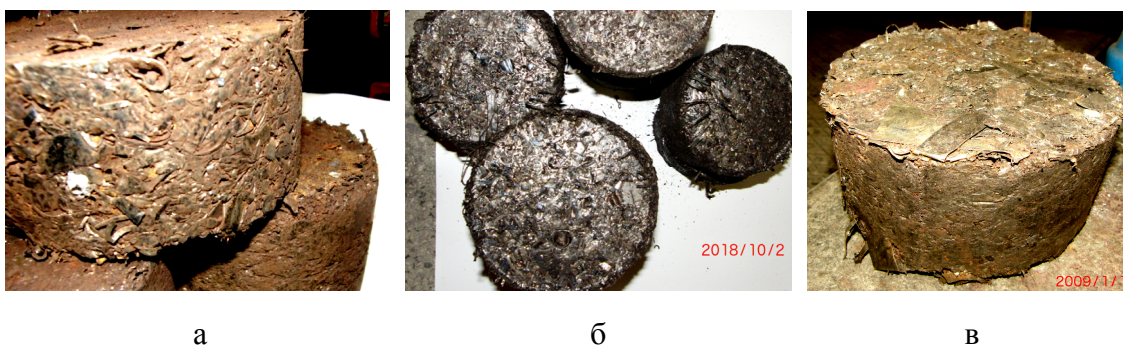


Рисунок 1 – Загальний вигляд зразків брикетів зі сталеві стружки №1 (а), №2 (б) та №3 (в) відповідно

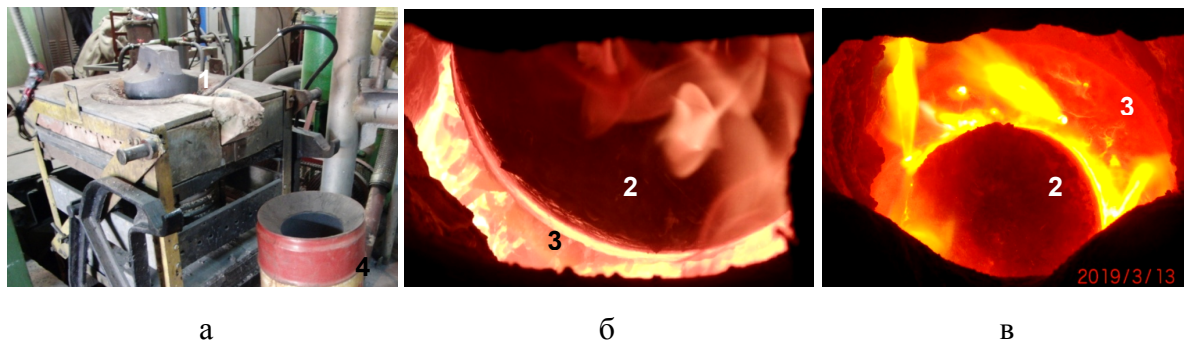


Рисунок 2 – Метод формування захисної атмосфери з аргону у робочому просторі печі (а) під графітовою кришкою (1) та характерна картина руйнування (б) і оплавлення (в) брикетів (2) з формуванням рідкої ванни (3)

Порядок проведення плавки наступний. До очищеного від сторонніх включень і забруднень робочого простору індукційної печі на першому етапі завантажували навіску зі зразків сталевих брухту (плавка-еталон) з отриманням контрольних даних щодо кількості шлаку та чаду заліза при переплаві (табл.2).

На наступних етапах проводили переплавлення брикетів зі сталеві стружки. Результати плавки з використанням сталевих брухту з відомим вихідним хімічним складом використовували у якості еталонних показників чаду заліза, хімічного складу шлаку, що утворюється в умовах розплавлення у індукційній печі за рахунок корозії та ерозії частини футеровки останньої.

Таблиця 2 – Хімічний склад сталевого брухту (еталону) і сталі, що отримана у результаті переплавлення шихти з брикетів зі сталеві стружки

Тип зразків	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
Сталь	0,04	0,03	0	0,011	0,21	0	0	0	0,004
Брикет №1	0,03	0,05	0,01	0,067	0,024	0,25	0,22	0,20	0,002
Брикет №2	0,14	0,21	0,09	0,044	0,025	0,31	0,63	0,14	0,002
Брикет №3	0,22	0,36	0,22	0,032	0,027	0,93	0,33	0,18	0,110

Характер процесів видалення летючих домішок, нагрівання, руйнування, оплавлення брикетів, утворення рідкої металеві ванни та шлаку на її поверхні для всіх типів досліджених брикетів мав відмінності.

Так, після випаровування вологи з брикетів (тривалість цього періоду складала від 2-х до 5-ти хвилин для різних типів брикетів, табл.2) відбувалося займання залишків МОР на поверхні брикетів з появою язиків полум'я як на всій, так і на окремих ділянках поверхні брикету (рис.2, б). У процесі подальшого нагрівання відбувалося руйнування (відшаровування від периферійних частин) або утворення тріщин у центральній частині брикету (рис.2, б). У інших випадках спостерігали оплавлення (рис.2, в) зразків з деформацією, починаючи з нижнього по розташуванню в «колоні», та утворення рідкої ванни без руйнування брикетів. Діапазон коливання температури початку руйнування або оплавлення брикетів склав від 1380 до 1470<sup>0</sup>С.

У цей період плавки після падіння факелу з МОР і з початком формування металеві розплаву і поверхневого шлаку горловину печі перекривали графітовою кришкою і подавали у робочий простір аргон. Після повного розплавлення всієї навіски брикетів проводили скачування шлаку з поверхні металеві ванни і перегрів металеві розплаву в захисному середовищі аргону вище передбачуваної температури ліквідусу для забезпечення випуску розплаву у графітовий тигель 3 (рис.2, а) без залишків металу у печі.

Отримані результати опрацьовані з використанням положень теорії металургійних процесів і методики розрахунку матеріального балансу. На першому етапі розрахунку визначали чад заліза, втрати при переплавленні та кінцевий вихід розплаву металу і шлаку для зразків сталеві брухту з відомим хімічним складом (табл.2, плавка-еталон). Виходили з наступних положень. У складі сталеві брухту, що переплавляється, відсутні Si та Mg. У цьому разі надходження SiO<sub>2</sub> до шлаку, що формується у ході плавки, забезпечується фізико-хімічними процесами взаємодії футеровки кварцитового тигля індукційної печі з потоками розплаву. Надходження MgO до шлаку обумовлено захопленням потоком розплаву частинок MgO з поверхні магнезитового поясу і обмазки зливного носка індукційної печі при випуску останнього до тигля 4 (рис.2, а).

У свою чергу, вміст (FeO) у шлаку, як відомо [5-7], залежить від вмісту вуглецю в металеві розплаві. За емпіричними і літературними даними

$$\begin{aligned} (\text{FeO}, \%) &= 6,48 + 0,699/[C] \text{ для } [C] > 0,10\% ; \\ (\text{FeO}, \%) &= 11,96 + 1,36/[C] \text{ для } [C] < 0,10\% . \end{aligned} \quad (3)$$

Після визначення  $\sum(\%FeO)$  і маси (FeO) розраховували втрати заліза на формування окису заліза шлаку, кг:

$$M_{Fe} = \frac{\sum M_{(FeO)} \cdot M_{Fe}}{M_{FeO}} \quad (4)$$

Матеріальний баланс по марганцю складали з урахуванням наступних положень. Приймали, що розподіл марганцю між металом і шлаком наприкінці плавки наближається до рівноважного у відповідності до виразу:

$$\lg K_{Mn} \frac{\sum (\%FeO) [\%Mn]}{(\%MnO)} = \frac{6234}{T} + 3,026 \quad (5)$$

Порівнювали розрахункові значення з результатами хімічного аналізу шлаку з метою визначення ступеню завершеності процесів. На наступному етапі з урахуванням хімічного складу шлаку, сформованого при переплавленні сталевих брухту, уточнювали масу неметалевих включень, що надійшли до шлаку зі складу брикету зі сталеві стружки, кг:

$$\sum M_{HB,к2} = \frac{\sum \Delta R_x O_y, \% \cdot M_{шл}^{\delta}}{100\%} \quad (6)$$

Тут  $\sum \Delta R_x O_y, \%$  – сума різниць між вмістом відповідного оксиду в шлаку з брикету та шлаку еталонної плавки.

Перерахунок у  $\sum M_{HB}, \%$  здійснювали за виразом:

$$\sum M_{HB}, \% = \sum M_{HB,к2} \frac{100\%}{M_{нач}^{\delta}} \quad (7)$$

Втрати маси навіски брикетів по ходу переплавлення у сталь у перший період плавки (з видаленням вологи та МОР) визначали за виразом, кг:

$$\Delta M_{\delta} = M_{поч}^{\delta} \cdot M^{зливк} \cdot M_{шл} \quad (8)$$

Після перерахунку отриманих значень у  $\%$  ( $\Delta M_{\delta}, \%$  від початкової маси металошихти) і з урахуванням втрат при переплавленні для шихти зі сталевих брухту  $\Delta M_{ст\delta}, \%$  (плавка-еталон) визначали фактичні (умовно «чисті») втрати маси брикету за рахунок видалення летких (без урахування неметалевої частини забруднень брикету),  $\%$ :

$$\Delta_{\delta} = \Delta M_{\delta}, \% - \Delta M_{ст}, \% \quad (9)$$

Цей показник може бути аналогом показника засміченості брикету (табл.1). В той же час, інтегральний показник забрудненості брикетів, що призначений для врахування сумарної кількості неметалевих включень, нешкідливих та шкідливих домішок, втрат за рахунок видалення МОР та т. ін., визначається за виразом,  $\%$ :

$$K_{ЗИ} = \sum M_{HB}, \% + \Delta_{\delta} \quad (10)$$

Дослідженнями макроструктури зразків шлаку, відібраного з поверхні ванни по ходу плавки, встановлено суттєві відмінності як за складом, так і за структурою між зразками шлаку переплавлення еталонного сталевих брухту (рис.3) та шлаків переплавлення брикетів (рис.4).

Крім того, за складом, структурою та характером впливу на хід шлакоутворення при сталеплавильній переробці брикети різних типів також відрізняються між собою (рис.4, табл.3).

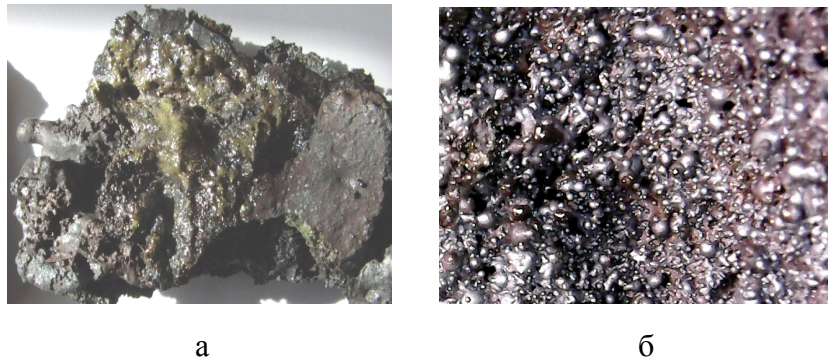


Рисунок 3 – Загальний вигляд (а) та макроструктура (б) шлаку, отриманого при переплавленні сталевих брухту

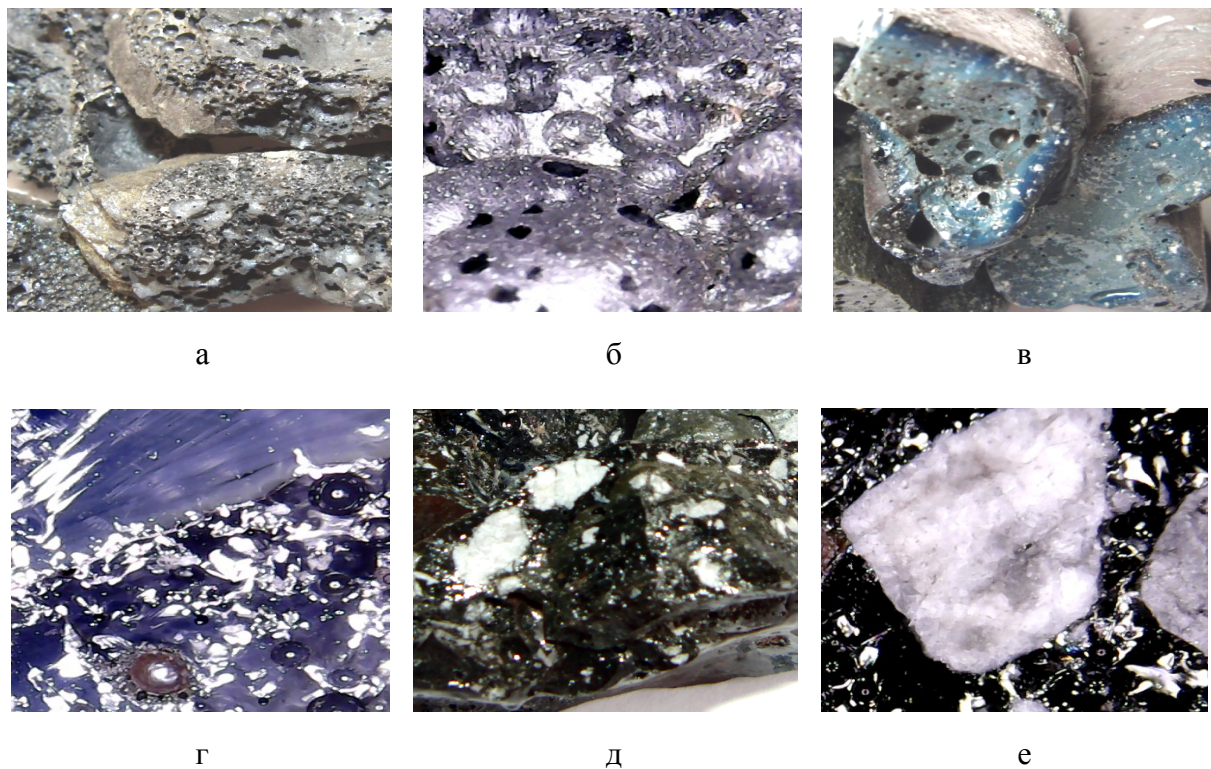


Рисунок 4 – Загальний вигляд (а, в, д) та макроструктура (б, г, е) зразків шлаків, отриманих при переплавленні брикетів №1 (а, б), №2 (в, г), №3 (д, е)

Таблиця 3 – Хімічний склад шлаку, що утворився під час переплавлення сталевих брухту та шихти з брикетів зі сталевих стружки

Хімічний склад шлаку, що утворився під час переплавлення брухту, %						
Тип зразків	Fe <sub>шп</sub>	Σ (FeO) <sub>заг</sub>	(CaO+MgO)	(SiO <sub>2</sub> )	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(MnO)
Сталь	37,34	48,10	16,00	29,40	2,80	3,0
Брикет №1	26,94	34,75	13,70	39,90	3,88	5,78
Брикет №2	6,37	8,21	13,65	52,50	10,40	11,50
Брикет №3	4,17	7,02	15,57	45,20	8,41	20,80

Результати розрахунків з використанням виразів (3-10) представлено у табл.4.

Таким чином, за запропонованою методикою оцінки металургійної цінності брикетів існує можливість визначення інтегрального показника забрудненості ( $K_3$ ), який

Таблиця 4 – Результати розрахунку забрудненості зразків брикетів із сталеві стружки

Показник / тип зразку	Маса шлаку, кг	Втрати маси після переплаву у сталь, кг/% від $M_{ших}$	$HV_6^*$ , % / кг	$\Delta_6^{**}$ , %	$K_3$ , %
Сталь	1,10	0,60/0,652	0	0	0
Брикет №1	4,44	4,94/5,731	0,871 /0,751	5,079	5,95
Брикет №2	3,42	4,83/6,137	1,841 /1,450	5,485	7,33
Брикет №3	2,92	1,44/1,670	1,452 /1,255	1,018	2,47

<sup>\*)</sup>  $HV_6$  – вміст неметалевих включень у брикеті

<sup>\*\*)</sup>  $\Delta_6$  – втрати маси брикету при переплавленні у зливок з урахуванням втрат еталону

враховує усі види втрат маси та типів забруднень: втрати заліза у шлак при переплавленні шихти, чад, видалення вологи, МОР, шкідливі домішки, неметалеві включення у складі брикетів тощо з урахуванням аналогічних еталонних показників, отриманих при переплавленні сталевих брухту з відомим хімічним складом.

### Висновки.

1. Досліджено закономірності переплаву брикетів зі сталеві стружки в індукційній тигельній печі в захисній атмосфері з перманентним контролем ходу і параметрів процесу. Запропоновано удосконалену методику для визначення сумарної забрудненості брикетів з використанням методики високотемпературного експерименту та залученням положень термодинаміки сталеплавильних процесів.

2. Досліджено особливості впливу складу сталеві стружки брикету на хід переплавлення, ступінь вилучення заліза, кількість та властивості шлаку з неметалевих включень брикету тощо.

3. При відповідності за показниками щільності та міцності досліджених брикетів до вимог ДСТУ 2141-2002 встановлено широкий діапазон коливань показників забрудненості (від 2,47 до 7,33%) та очікуваного виходу заліза з брикету (від 92,67 до 97,53%).

4. Характер руйнування різних типів брикетів при нагріванні можна класифікувати як деформацію брикету без руйнування з оплавленням, утворення тріщин та саморуйнування брикетів без оплавлення та комбінування вказаних явищ.

5. До недоліків використання в сталеплавильному процесі брикетів зі сталеві стружки з підвищеним вмістом нешкідливих домішок можна віднести: перевитрату вапна на плавку в зв'язку з необхідністю компенсації низької основності неметалевої частини (шлаку) брикетів; підвищений знос периклазовуглецевих вогнетривів при взаємодії з переокисленим кислим шлаком першого періоду конвертерної плавки; можливість переохолодження металеві ванни при швидкому мимовільному руйнуванні брикету з заморожуванням чавуну і підвищенням чаду заліза при вдуванні кисню у ванну в початковий період плавки; винесення дрібної фракції, що обсапається від брикету, з газами, які відходять при завантаженні брухту, винесення дрібної фракції на поверхню рідкої ванни з окисленням киснем, що вдувається, і втратами з оксидами заліза; підвищення навантаження на навколишнє середовище внаслідок виділення органічних сполук при нагріванні брикетів і газових сполук при окисленні мастильно-охолоджуючих рідин та т. ін.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Промышленное освоение ресурсосберегающей технологии производства конвертерной стали с использованием окислительных брикетов / А.Г.Величко и др. *Теория и практика металлургии*, 2004. №5. С.83-86.



2. Анализ потенциальных направлений промышленной переработки стружки черных металлов в Республике Беларусь / В.И.Тимошпольский и др. *Литье и металлургия*, 2006. №2. С.23-26.
3. Стеблов А.Б., Герман М.Л. Переработка стружки черных металлов. *Рынок вторичных металлов*, 2007. № 1/39. С.46-49.
4. Терлецкий С.В. О некоторых проблемах переработки стружки в современных дуговых сталеплавильных печах. *Литье и металлургия*, 2005. № 3. С.76-78.
5. Охотский В.Б. Модели металлургических систем. Днепропетровск: Системные технологии, 2006. 287с.
6. Охотский В.Б. Физико-химическая механика сталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1993. 152с.
7. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. К.: Вища школа, 1979. 277с.
8. Оценка качества брикетов из стальной стружки, производимых ООО «Промбрикет» / С.Н.Петрушов и др. *Сб. науч. тр. Донбасс. гос. техн. ун-та*. Алчевск, 2006. Вып. 22. С.96-101.
9. ГОСТ 25281–82 (СТ СЭВ 2287–80). Металлургия порошковая. Метод определения плотности формовок. [Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 мая 1982 г. №2156 срок действия установлен с 01.01.1983 г. до 01.01.1988 г.]. Издание официальное. М.: Изд-во стандартов, 1982.

Надійшла до редколегії 19.03.2019.

УДК 669.136

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.4

СТОРОЖЕНКО С.А., к.т.н., доцент  
 ЧУБІН К.І., к.т.н., доцент  
 ЧУБІНА О.А., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВДУВАННЯ МАГНІЮ В ЧАВУН КРІЗЬ ФУРМИ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

**Вступ.** Відомо, що якість ливарної продукції багато в чому залежить не тільки від способів виробництва рідких сплавів та умов їх підведення до ливарної форми та тверднення, але і від їх складових.

На цей час дуже гостро стоїть проблема підвищення якості ливарної продукції. Вирішення цієї проблеми дозволить різко і на належний рівень підняти конкурентоспроможність України в галузі ливарного виробництва.

Чавун продовжує залишатися одним із основних матеріалів сучасності. Ливарні чавуни використовуються для деталей, від яких потребується висока конструкційна міцність і спеціальні властивості. Як ніякий інший ливарний матеріал, чавун є універсальним, бо має різноманітні властивості. Можливість широко варіювати структуру чавуну, змінюючи хімічний склад розплаву в процесі позапічної обробки, умови тверднення та охолодження в твердому стані, дає ймовірність зміни експлуатаційних характеристик чавунних виливків в напрямку підвищення якості.

Впровадження процесу модифікування чавуну магнієм у «великій» металургії призвело до створення в цілому напряму, пов'язаного забезпеченням істотної економії