

УДК 621.998.77

**В.Д. Рудь, І.В. Савюк, Л.М. Самчук, Ю.С. Повстяна**  
*Луцький національний технічний університет*

### **ПЕРЕРОБКА ЗАЛІЗНОЇ ОКАЛИНИ АЛЮМОТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ**

*У статті проаналізовано роботи спрямовані на вирішення проблеми утилізації окалини. Проведено хімічний та рентгено-структурний аналіз окалини сталі 18Х2Н4МА кувалдно-штампувального виробництва ПАТ Ковельськмаши. На підставі експериментальних досліджень запропоновано технологію відновлення заліза із сухої окалини з наступним виходом чистого металу.*

*Ключові слова:* Окалина, алюмотермія, відходи, шлам, утилізація, відновлення.

**В.Д. Рудь, И.В. Савюк, Л.М. Самчук, Ю.С. Повстяная**  
**ПЕРЕРАБОТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ОКАЛИНЫ АЛЮМОТЕРМИЧНЫМ МЕТОДОМ**

*В статье проанализированы работы направлены на решение проблемы утилизации окалины. Проведено химический и рентгено-структурный анализ окалины стали 18Х2Н4МА кузнечно-штамповочного производства ПАО Ковельськмаши. На основании экспериментальных исследований предложена технология восстановления железа из сухой окалины с последующим выходом чистого металла.*

*Ключевые слова:* Окалина, алюмотермия, отходы, шлам, утилизация, восстановление.

**V. Rud', I. Saviuk, L. Samchuk, Y. Povstyana**  
**PROCESSING BY ALYUMOTERMICHNYM IRON SLAG**

*The article analyzes the work aimed at solving the problem of disposal of scale. A chemical and X-ray structural analysis 18H2N4MA scale steel forging, stamping production Kovelsilmash PAT. Based on experimental studies proposed reduction of iron technology of dry scale, followed by the release of pure metal.*

*Keywords:* scale, alyumotermiya, waste, sludge, recycling, recovery.

**Вступ.** Машинобудівні підприємства характеризуються великою кількістю відходів, що негативно впливають на оточуюче середовище. Більшість з них за вмістом корисних компонентів конкурентоздатні в порівнянні з первинною сировиною і можуть бути повторно використані в технологічних процесах.

**Постанова проблеми.** При безперервному розливання сталі, нагріванні та обробленні металу тиском (гарячої прокатки, штампуванні, куванні) утворюється окалина - шар, що складається з оксидів заліза FeO (вюстит), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит). У процесі обтиску окалина відшаровується від металу і разом з водою і мастилами надходить у відстійники. Хімічний склад окалини в основному залежить від умов термообробки і хімічного складу металу, а кількість окалини (товщина плівки) - від умов термообробки [1]. На території України кожного року утворюється більше 250 млн. тон залізної окалини, яка в повному обсязі іде у відходи. Приблизно 30% від загального обсягу припадає на суху окалину. Переробка і використання окалини, яка майже не використовується дозволяє замінити дороговартісний чавун, литтєву сталь та вирішити екологічні проблеми, що на даний час є досить перспективно та актуально.

**Аналіз основних досліджень.** Над вирішенням проблем з переробки окалини працювало багато вчених. І.П. Добровольський [2] розробив технологію утилізації замасленої окалини з використанням відпрацьованого рідкого скла, яка передбачає спресовування суміші коксу, подрібненої окалини та рідкого скла у брикети. Однак, в роботі не зазначено, чи є практичне застосування отриманих брикетів.

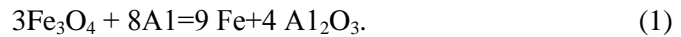
У роботі [3] приведено спосіб знемаслення та знежирення окалини прокатного виробництва. Унікальна інноваційна технологія ґрунтується на низькотемпературній обробці замасленої окалини високошвидкісним потоком продуктів повного спалювання палива в установці вихрового (циклонного типу). При цьому видалення масла і води проводиться шляхом їх сублімації при нагріванні матеріалів до температури 400–450 °С без доступу кисню. Потік теплоносія, необхідний для теплової обробки, утворюється в результаті факельного спалювання палива при мінімумі надлишку повітря в печі. У результаті у відведених газах відсутній вільний кисень або його концентрація мінімальна, що запобігає займанню парів масла в робочому просторі реактора.

Технологія утилізації замащеної окалини розроблена А.В. Малишевою [4], що зводиться до наступного: стадія згущення, механічного зневоднення на стрічковому фільтрі з наливним шаром фільтрувального матеріалу одноразового використання, технічного знемаслювання в барабанній печі, механічної активації (змішування з порошкоподібними в'язучими), грануляції, а також циклічний процес зміцнення часток в пропарювальній камері і розвантаження часток в бункери-накопичувачі. Дана технологія дозволяє утилізувати не тільки шлак, а й відходи пилу прокатного виробництва. Попри всі переваги запропонованої технології утилізації практичного застосування виготовлених брикетів з відходів не знайдено.

О.А. Лебедева запропонувала використовувати залізну окалину для отримання пористих проникливих керамічних матеріалів [5]. Результати роботи показали, що використання відходів машинобудування (залізної окалини) є досить ефективним та ресурсозберігаючим процесом (напрямком) при виготовленні фільтрувальних матеріалів. Однак, таке застосування окалини, не зумовлює використання її в повному обсязі.

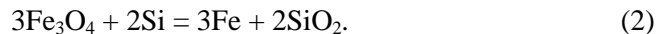
Основою для подальших досліджень став принцип отримання важко-відновлюваних металів із їх окислів запропонований російським вченим Н.Н. Бекетовим у 1865 р. Він встановив, що з'єднуючись з киснем алюміній володіє високою активністю і при певних умовах алюміній легко відновлює із окислів інші метали [5].

При алюмотермічному процесі проходить відома реакція [6]:



Процес протікає зі значним екзотермічним ефектом, температура реакції досягає 2700 °С, у результаті чого утворений шлак і оксид алюмінію розплавляються. Вихід чистого металу складає 55% від початкової маси суміші [6].

Основним недоліком алюмотермічного процесу є необхідність використання алюмінієвого порошку. В результаті механічної обробки кожний рік утворюється велика кількість стружки алюмінієвих сплавів. Її переплавлення ускладнюється високою температурою плавлення півки оксиду алюмінію, яка становить 2050 °С [6]. Температура металотермічного процесу значно перевищує температуру плавлення оксиду алюмінію. Крім того, у складі алюмінієвої стружки міститься до 13% кремнію, який також служить як відновник заліза з окалини [6]:



Питомий тепловий ефект екзотермічної реакції (2) становить 84 ккал/г-атом кремнію [6]. Для самостійного протікання екзотермічної реакції з максимальним виходом придатного металу та відокремлення шлаку необхідно щоб питомий тепловий ефект перевищував 72 ккал/г-атом металу відновника [6]. Для приведеної реакції дана умова виконується, що зумовлює більш доцільне використання саме алюмінієвої стружки.

У Луцькому НТУ запропоновано технологію утилізації та переробки залізної окалини та інших відходів механічної обробки з метою повторного використання їх у промисловості.

У якості вихідних матеріалів були використані відходи кувально-штампувального виробництва підприємства «Ковельсільмаш» попередньо подрібнену окалину сталі 18X2H4MA, що містить в якості легуючих елементів 18% хрому, 3% нікелю і 4% молібдену та порошок алюмінію ПА - 4 ГОСТ 6058-73. Хімічний склад окалини: 58-59% оксиду заліза, 40-48% залізо (ферит) і 1,5-2,0% оксиди легуючих елементів. Процес гарячої обробки сталі, що супроводжується утворенням окалини, короткочасний, і ферит не зазнавав внутрішнього окислення. Дифрактограма порошкової суміші окалини сталі 18X2H4MA наведена на рис.1.

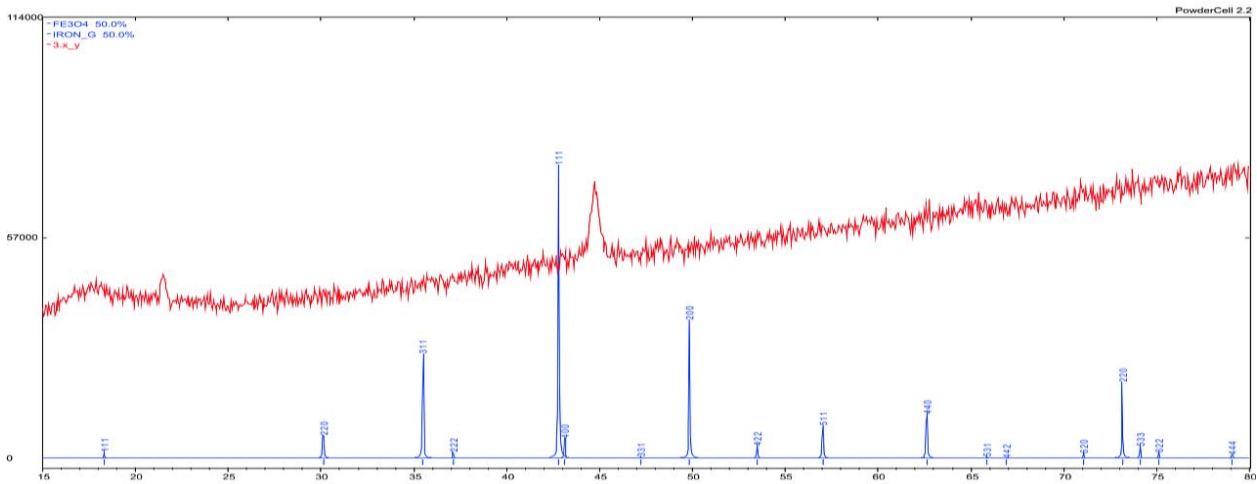


Рис. 1. Дифрактограма порошкової суміші окалини сталі 18X2H4MA

На дифрактограмі представлено 2 графіки: нижній – стандартний, вибирається із міжнародної бази даних відповідно до певного матеріалу, а верхній – відображає результати проведення аналізу даного. По осі X відображається кут повороту зразка  $2\theta$ , по Y – інтенсивність відбивання рентгенівського проміння зразком.

Результати дослідження показали наявність оксиду заліза  $Fe_3O_4$ , що свідчить про придатність окалини для використання у термітних шихтах. Структура (а) та кристалічна решітка (б) окалини сталі 18X2H4MA приведені на рисунку 2.

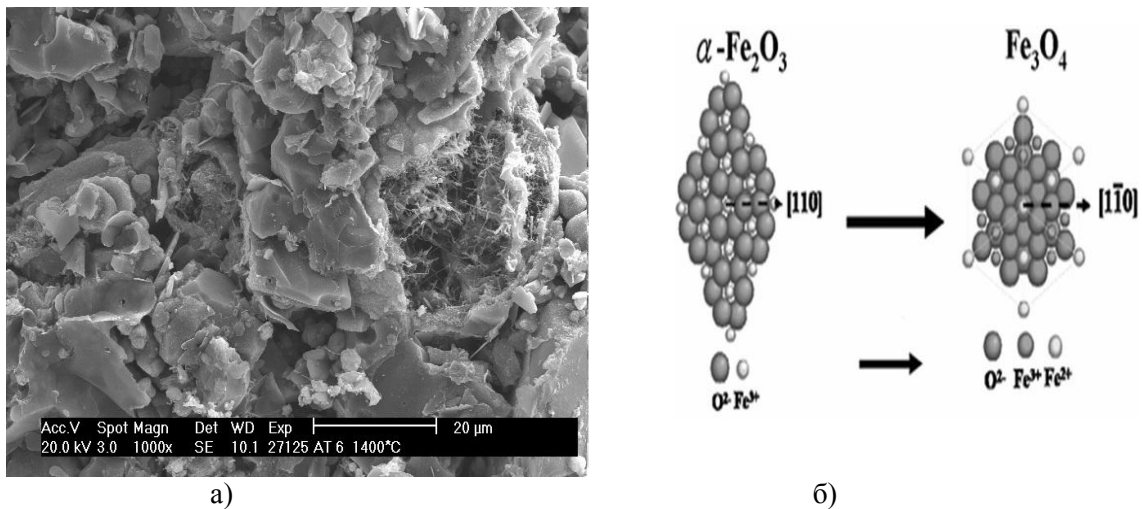


Рис. 2. Структура (а) та кристалічна решітка (б) окалини сталі 18X2H4MA

Зі знімку видно, що частки подрібненої окалини мають пластинчасту форму з гострими краями. Для більш інтенсивного проходження алюмотермічної реакції рекомендується частинкам окалини надати більш округлу форму. Дана операція виконується шляхом подрібненням окалини подрібнюючими тілами типу "куля" на протязі 3 годин при швидкості обертання барабану 90 об/хв.

Порошок окалини сталі 18X2H4MA складається з частинок голчастої форми. Після операції подрібнення проведено визначення гранулометричного складу порошку який показав що 47% складає порошок менше 1 мм., 25% порошок від 1 до 1,5 мм. На рис. 3. представлена гістограма розподілу порошку окалини за розмірами.

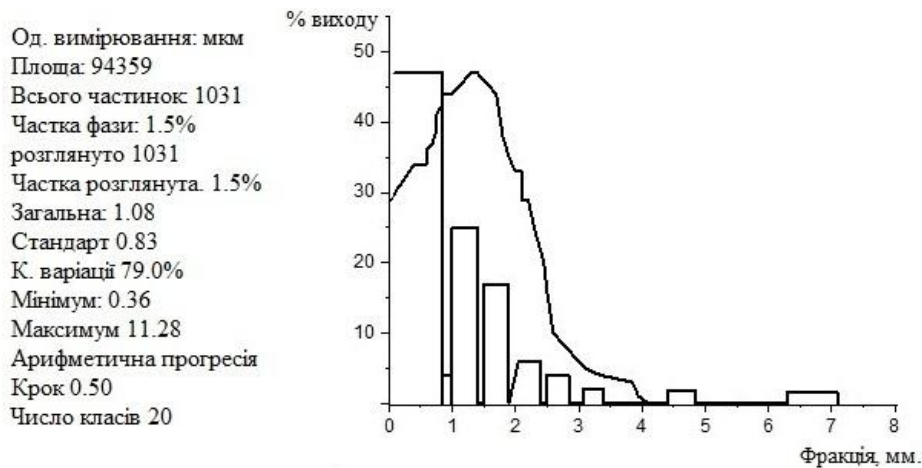


Рис. 3. Гістограма розподілу порошку окалини за розмірами

Доцільність використання окалини саме кувално-штампувального виробництва зумовлюється тим, що вміст води та мастил у ній не перевищує 5-8%, що значно спрощує її підготовку до використання.

Запропонована технологія дає значний економічний ефект, оскільки сам процес спалювання проходить самостійно без залучення енергоносіїв та дорогого обладнання. Установка для переробки є автономною та уніфікованою. Технологічна схема переробки окалини наведена на рисунку 4.

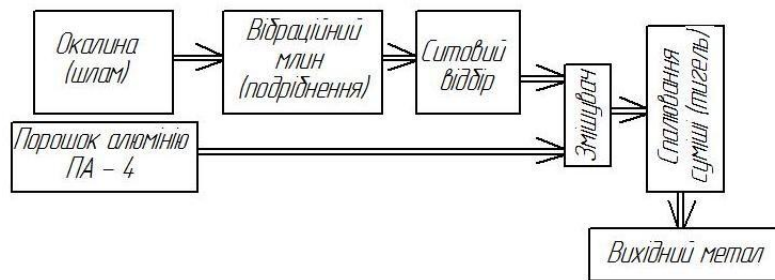


Рис. 4. Технологічна схема переробки окалини.

Подрібнення окалини та змішування екзотермічної суміші проводилось у вібраційному барабанному млині [8] протягом 4 годин з набором сталевих кульок  $d=40$  мм. у кількості 8 штук до однорідної маси матеріалу. Для спалювання суміші обрано установку розроблену А.П. Амосовим [9]. При спалюванні класичної термітної шихти у масовому співвідношенні 23% алюмінію 77% окалини було отримано сплав, масова частка металу в якому становила 52%, решта – шлак. Однак, для збільшення частки виходу чистого металу в термітну шихту додавали дрібну стружку легованої сталі 40 відповідно 10, 20, 30, 40 та 50% від початкової маси шихти. При проведенні експериментів було виявлено залежність збільшення виходу чистого металу від маси доданої стружки в шихту яка наведена на рисунку 5.

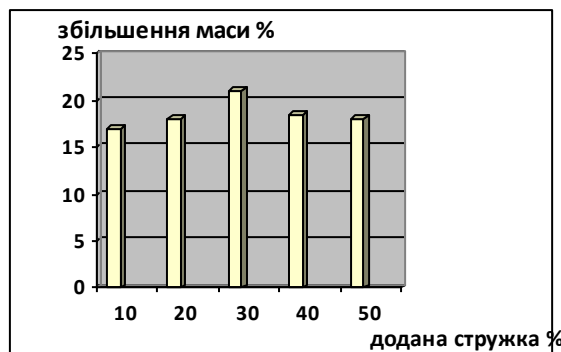


Рис. 5. Залежність збільшення маси вихідного металу від маси стружки сталі 40

Як видно із залежності найбільше збільшення маси вихідного металу спостерігається при додаванні 30% стружки від початкової маси шихти. Подальше збільшення кількості доданої стружки недоцільне, оскільки через високу швидкість проходження реакції стружка не перегоряє в повному обсязі утворюючи конгломератні зв'язки у сплавах.

**Висновки.** Запропонована технологія, на наш погляд, забезпечить переробку залізної окалини в повному обсязі незалежно від її кількості з використанням вихідних продуктів реакцій у подальших металургійних процесах з мінімальними енерговитратами на переробку при будь-якому виробництві. Дана технологія дозволяє використовувати в якості відновника оксидів металу стружку алюмінію, оскільки це дозволить здешевити процес та утилізувати відходи алюмінієвої стружки. Значною перевагою є те, що при додаванні у шихту легуючих елементів можливо добитись метал з заданим хімічним складом.

1. Сталинский Д.В. Переработка и возврат в производство замасленной окалины / Д.В. Сталинский, А.М. Касимов, А.З. Рыжавский, В.А. Бодштейн. Энерго и ресурсосбережение. Переработка отходов. Экология и промышленность №4, 2014. – с. 72 - 76.
2. Добровольский И.П. Перспективные технологии переработки металлургической окалины. И.П. Добровольский, Н.В. Старикова, М.В. Волкова, П.Н. Рымарев. Развитие технического наследия. – Ползуновский Альманах №2, 2011. – С. 137-139.
3. Мироненко Ю.О. Удосконалення технології утилізації окалини на ТОВ «Лозівський кузнечно-механічний завод» О.Ю. Мироненко, Т.С. Дитиненко. Физические и компьютерные технологии : труды 19-й междунар. науч.-практ. конф. – Х.: ГП ХМЗ «ФЭД», 2014. – с. 170-177.
4. Малашенкова А.В. Усовершенствование технологии подготовки и утилизации замасленной окалины прокатного производства. / Сталь. №8, - 2009.
5. Лебедева О.А. Применение производственных отходов для получения пористых композиционных керамических материалов высокотемпературным синтезом в системе Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Al. О.А. Лебедева, В.Б. Бутыгин, Н.А. Степененко. / Ползуновский альманах №3, - 2008. – с. 107-108.
6. Стеценко В.Ю. Металлотермическая переработка стружки алюминиевых сплавов, окалины и доменного присада. / Литье и металлургия 3 (62), 2011. – с. 176-177.
7. Установка для сжигания газопроницаемых гранулированных термитных шихт. А.П. Амосов, Е.А. Кузнец, А.Р. Самборук, В.В. Яценко. / Патент РФ № 108730 В23К23/00.
8. Вібраційний барабанний млин В.Д. Рудь, В.В. Фурс, М.І. Колядинський, Р.П. Голодюк, Л.М. Самчук. / Патент України № 71264 В02С 17/00.
9. Установка для сжигания газопроницаемых гранулированных термитных шихт. А.П. Амосов, Е.А. Кузнец, А.Р. Самборук, В.В. Яценко. / Патент РФ № 108730 В23К23/00.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2015.