

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-101-109](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-101-109)
УДК 669-493:621.798.44.002.8

О.О. Чернишов, інженер
ООО «Кам'янська домобудівельна компанія»
О.В. Чернишов, ст. викладач
С.І. Чухно, к.т.н., доц.
Дніпровський державний технічний університет
В.А. Яновський, доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Дослідження процесу пакетування металеві стружки

Виміту та висушену металеву стружку найбільш доцільно використовувати у сталеплавильному виробництві у вигляді пакетів або брикетів. Це дозволяє перетворити стружку на якісний шихтовий матеріал, який при переплавленні замінює металевий шматковий брухт. Варто зауважити, що одержати якісні пакети з металеві стружки практично неможливо, а тому дослідження процесів окускування стружки є актуальними та важливими. В Україні значний внесок у розвиток процесів окускування металевого лому і стружки зробили вітчизняні учені Інституту чорної металургії, Національної металургійної академії України та Дніпровського державного технічного університету.

У промисловості отримали поширення два методи окускування стружки: брикетування і пакетування. Для брикетування рекомендується використовувати тільки подрібнену стружку. Другим методом окускування металеві стружки є її пакетування. Але пакетувати спіралеподібну сталеву стружку не вдається, оскільки при великих зусиллях пресування вона руйнується, а при малих зусиллях пакети розсипаються. Тому пакетування сталеві стружки необхідно проводити у відпаленому стані. Така технологія пакетування стружки була запропонована та досліджувалася в лабораторіях кафедри технології машинобудування Дніпровського державного технічного університету. Експериментальні дослідження процесу пакетування сталеві стружки проводилися з метою визначення оптимальних режимів пакетування за запропонованою технологією. Дослідження проводилися на лабораторному пресі пакетування, а також на промисловому пресі БА-1330.

У статті розглянуто та описано існуючі в промисловості способи пакетування та брикетування металеві стружки, запропоновано технологію пакетування стружки у відпаленому стані. На підставі отриманих результатів зроблено рекомендації з удосконалення обладнання та розглянуто технологію пакетування стружки.

Ключові слова: брикетування; пакетування; відпал; технологія пакетування; експериментальні дослідження.

Постановка проблеми. Одним з основних показників рівня сучасних технологій є ресурсозбереження. Використання металовідходів дозволяє істотно впливати на вартість металопродукції, економити первинні матеріали, енергоресурси, зменшити техногенну дію на довкілля.

У існуючих технологіях металообробки відходами виробництва є: металева стружка, обрізь заготовок, шлами шліфувальних верстатів [1]. Відходи є цінною вторинною сировиною і доцільність повернення їх в переробку не викликає сумнівів. Значну частку у відходах металообробки становить стружка чорних і кольорових металів. Прогресивними технологіями переробки стружки є пакетування, брикетування та переробка стружки в порошок для порошкової металургії [2, 3]. Для раціонального використання як шихтового матеріалу стружку необхідно пресувати у брикети або пакети максимальної щільності [4]. Використання таких пакетів або брикетів сприяє підвищенню її металургійної цінності, скороченню транспортних витрат, знижує трудомісткість розвантажувально-завантажувальних робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основними технологічними машинами, за допомогою яких у промисловості здійснюється окускування металобрухту, є преси для пакетування і брикетування. Науково-технічний рівень пресів для переробки металобрухту досить високий. У той же час необхідно зауважити, що в області конструювання цього обладнання належить зробити ще багато. В першу чергу це стосується продуктивності, енергоспоживання, надійності, зниження витрат на експлуатацію, розширення технічних можливостей, поліпшення умов праці.

Істотний вклад в розробку і розвиток теорій процесів окускування металевого лому і стружки внесли учені С.Ф. Чукмасов, Л.І. Цехнович, С.Г. Рудевський, А.І. Зазимко, П.І. Бульбашок, С.І. Морозов, С.Е. Барк, В.О. Носков, А.М. Белявський, А.С. Буренко, А.Л. Бобильов та інші.

Як було сказано вище, в промисловості отримали поширення два методи окускування стружки: брикетування і пакетування. Брикетування стружки здійснюється в холодному і гарячому стані, причому

існує два методи брикетування стружки в холодному стані – статичне і брикетування ударом твердого тіла. Статичне брикетування стружки здійснюється в пресах [5–7], брикетування ударом – в імпульсних машинах, що мають вибуховий або пневматичний приводи [8].

На відміну від статичного брикетування, за якого щільність брикетів пропорційна тиску пресування, при брикетуванні ударом твердого тіла щільність брикету залежить від кінетичної енергії, тіла, що ударяє. При цьому міцність брикетів, отриманих ударом в 1,5–2 рази вища за брикети, отримані статичним пресуванням, завдяки меншій залишковій напрузі внаслідок високої швидкості деформації.

Проте брикетування ударом твердого тіла не отримало широкого розповсюдження у зв'язку з тим, що цей процес дорогий, малопродуктивний, вимагає дорогих і металоємних машин. Ефективнішим способом окускування металеві стружки є статичне брикетування. Для збільшення щільності брикетів на деяких підприємствах роблять пресування стружки в гарячому стані. Для отримання брикетів високої щільності також використовують двостадійне пресування, коли в первинній прямокутній камері задалегідь ущільнюють стружку, а у вторинній циліндричній пресують до отримання брикетів оптимальних розмірів. Відомий також спосіб брикетування металеві стружки, що включає заповнення формотворюючої місткості холодною і гарячою стружкою і подальше пресування, при цьому застосовуються органічні або неорганічні зв'язуючі речовини (рідке скло, цемент тощо).

Застосовується також безперервне брикетування стружки у відкритій матриці. Суть цього способу полягає в тому, що брикетування проводиться у відкритій конусній матриці, що дає можливість здійснювати безперервність брикетування. Як обладнання використовуються фрикційні і ексцентрикові преси. Недолік цього способу: преси, що використовуються, не задовольняють вимоги вказаного способу брикетування. Не вирішене питання механізації завантаження стружки в матрицю. Цей спосіб вимагає для деяких марок сталеві стружки з підвищеним вмістом вуглецю попереднього відпалу. Існують і двовалкові преси, в яких брикети формуються обтисканням у валках, що обертаються по напрямку подання матеріалу, який безперервно поступає в завантажувальну воронку. Проте такі преси можна використати для брикетування тільки чавунної стружки або подрібненої сталеві з використанням спеціальних зв'язуючих матеріалів.

Спосіб електробрикетування полягає у використанні тепла, що виділяється під час проходження електричного струму через стружку, поміщену в матрицю пресу. При цьому поєднується електронагрів стружки, що брикетується, та стискування розм'якшеного металу. Щільність брикетів досягає 7 т/м^3 , тобто це майже щільність вихідного металу. Це один з прогресивних способів брикетування, але він не знайшов широкого застосування через значних витрат електроенергії ($130\text{...}170 \text{ кВт-год/т}$), складності конструкції машини, малої надійності і низької продуктивності.

Існує також спосіб брикетування методом контактного зварювання. Металева стружка засипається у форму, і з торцевої поверхні стискається, потім включається зварювальний струм щільністю $2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$. Завдяки нерівномірній провідності стружки в ній виникають місцеві електричні дуги, і метал в цих місцях спікається. Цей спосіб може бути реалізований на машині точкового зварювання типу МТП-300. Маса виготовленого брикету становить $2,5\text{--}3,0 \text{ т}$, а його щільність – $5,0\text{...}5,5 \text{ т/м}^3$. Проте цей спосіб дорогий, вимагає значних витрат електроенергії ($80\text{...}100 \text{ кВт-год/т}$ брикетів), має складну конструкцію і тому він не знайшов широкого застосування.

Методом брикетування нагрітої стружки під молотом (ковальського зварювання або гарячого пресування) отримують досить щільні, міцні і майже не окислені брикети масою $(15\text{...}20) \cdot 10^{-3} \text{ т}$ за температури $800\text{...}900^\circ$ із відносно малою витратою енергії ущільнення. Недоліками методу динамічного гарячого пресування є: високе виділення чадного газу з металу, низька продуктивність і великі габарити установки, а також шкідливий вплив молотів на роботу сусіднього обладнання (сейсмічність). Існує також метод, в якому стружку змішують з металевим розплавом з матеріалу стружки. Це підвищує чистоту брикетів і збільшує їх щільність без додавання стискаючого навантаження. Але такий метод малопродуктивний.

Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити загальний висновок: для брикетування можна використати тільки подрібнену стружку. У вітчизняній і зарубіжній промисловості немає ефективних дробарок для подрібнення стружки інструментальних і високолегованих сталей. Значні об'єми спіралеподібної стружки не піддаються подрібненню.

Другим методом окускування металеві стружки є її пакування. На вітчизняних підприємствах вторчермету пакування стружки вуглецевих сталей здійснюють спільно з відходами покрівельного заліза і обрізку листового металу. Пресування ведуть на машинах ЧПН – 630 і ЧПА – 1000 (СПА1000). Отримують пакети розмірами $1,2 \times 0,7 \times 0,5 \text{ м}$ і масою до 2 т на пресі ЧПН – 1000. Вміст стружки в пакетах має бути в межах – $15\text{...}20 \%$. При збільшенні частки стружки щільність пакетів спочатку зростає, потім знижується. Первинне збільшення щільності пов'язане з тим, що стружка заповнює порожнечі, що утворюються, між шматками пресованого лому. Подальше зменшення щільності пов'язане зі збільшенням у пакеті кількості пружного металу, тому раціонально додавати тільки $10\text{...}15 \%$.

На Київському підприємстві вторчермету авторами були проведені випробування з пакування спіралеподібної стружки марки Б26 на пресі пакування ЧПН–630. Пакети зважувалися та краном

грейфера піднімалися на висоту 2 м і скидалися на бетонну плиту. З отриманих пакетів повністю розбитих не було. Але на пакетах з'явилися поздовжні тріщини. Середня щільність пакетів $1,3 \text{ т/м}^3$. Таким чином, експериментальні дані говорять про те, що металеву стружку з в'язких сталей, наприклад, Б26, можна піддавати окусковуванню на пресах. Пакетувати стружку вуглецевих сталей не вдається, оскільки за великих зусиль пресування вона руйнується, а за малих – пакети розсипаються. З метою отримання пакетів великої щільності на багатьох підприємствах намагаються пакетувати стружку в гарячому і відпаленому стані, нагріваючи її в спеціальних печах до температури $600\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$ [17]. Недоліком цього методу є швидкий вихід з ладу сальникових ущільнень в гідравлічній системі пресу через високу температуру. Але, незважаючи на велику кількість різних способів окусковування металовідходів, в промисловості отримати якісні пакети тільки зі спіралеподібної стружки практично неможливо, а тому дослідження процесу окусковування такої стружки є актуальними і важливими для народного господарства України.

Мета дослідження – провести експериментальні дослідження процесу пакетування металеві стружки в відпаленому стані з метою визначення оптимальних режимів пакетування сталеві стружки різних марок; на основі отриманих результатів удосконалити обладнання та технологію пакетування стружки.

Викладення основного матеріалу. Експериментальні дослідження проводилися на лабораторному пресі пакетування, а також на промисловому пресі БА-1330. Встановлювалася можливість окусковування спіралеподібної і дрібноелементної металеві стружки пакетуванням. У результаті дослідження встановлено, що пресуванню піддається спіралеподібна стружка тільки нержавіючих марок сталей, щільність пакета досягає $1,2\text{--}1,4\text{--}10^3 \text{ кг/м}^3$. Під щільністю пакета розуміється відношення його маси до об'єму. Такі пакети не мають розсипатися при скиданні їх з висоти 2 м на бетонну плиту, відповідно до стандартної методики визначення їх якості.

При пресуванні стружки різних вуглецевих марок сталей встановлено, що пакети розсипаються на дрібні елементи відразу ж після виштовхування їх з преса. Це пояснюється тим, що стружка вуглецевих марок сталей в процесі отримання піддається гартуванню і наклепу, що робить її твердою і крихкою. Крім того, окремі витки спіралеподібної стружки є своєрідною гвинтовою пружиною, внаслідок чого при пресуванні вона стискається, а при знятті навантаження набуває початкової форми. Отже, спіралеподібну і дрібноелементну стружку вуглецевих марок сталей пакетувати без попередньої підготовки не доцільно. Сутність попередньої підготовки вуглецевої стружки полягає в наданні їй пластичних властивостей шляхом відпалу. Проведено експериментальні дослідження для визначення основних режимів відпалу в газових, індукційних та електричних печах, а також дослідження процесу пакетування стружки. З метою запобігання або зменшення окислення стружки в процесі відпалу розроблено спеціальний контейнер, в якому знаходиться стружка в спресованому стані. Контейнер виготовлений з листової сталі (рис. 1–2) і приєднується до преса за допомогою спеціальної вивантажувальної рамки преса БА-1330 (рис. 3) [11].

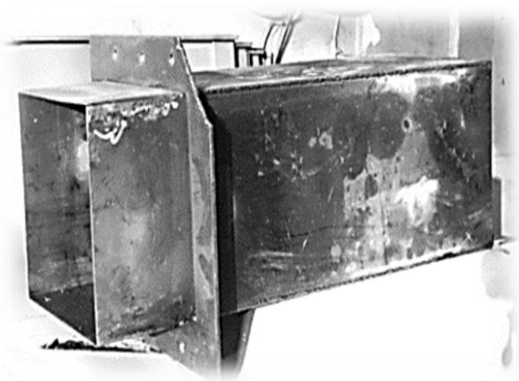


Рис. 1. Контейнер

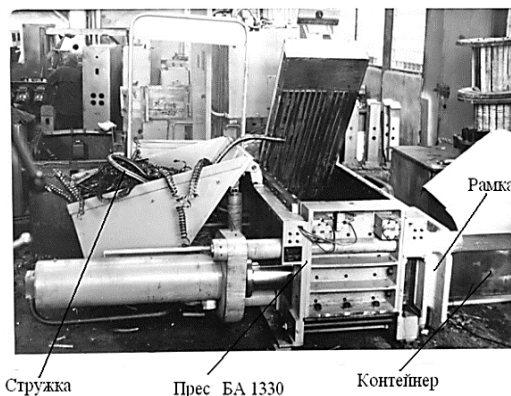


Рис. 2. Прес з контейнером

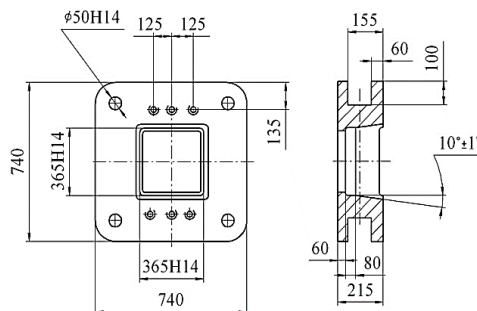


Рис. 3. Спеціальна рамка до преса

Запресована в контейнер стружка завантажувалася в піч і нагрівалася до температур 450 °С; 550 °С; 650 °С; 750 °С; 850 °С. Після охолодження стружка піддавалася пресуванню. Результати залежності $\gamma = f(t)$ представлені на рисунку 4.

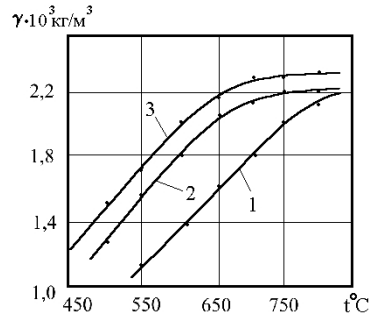


Рис. 4. Залежність щільності пакетів від температури відпалу стружки
 1 – $P = 50 \cdot 10^5$ Па, $\tau = 20$ хв; 2 – $P = 50 \cdot 10^5$ Па, $\tau = 30$ хв; 3 – $P = 80 \cdot 10^5$ Па, $\tau = 30$ хв

З графіка видно, що з підвищенням температури нагріву при постійному зусиллі пресування щільність пакета зростає, а, досягши температури 850 °С, щільність пакета залишається постійною. Отже, при відпалі стружки не доцільно застосовувати температуру вище за 850 °С. Для преса БА-1334 зусиллям 1 МН для отримання пакета щільністю 2,2–2,4 кг/дм³ досить робити відпал за температури 650–700 °С з витримкою в печі 30 хв, або за температури 800 °С і витримкою 20 хв. На рисунку 5 наведена залежність $\gamma = f(\tau)$ впливу часу витримки пакетів у печі за постійної температури при зусиллі пресування, а на рисунку 6 представлено зовнішній вид пакета. Отже, температура нагріву і час витримки в печі істотно впливають на якість і щільність пакетів, на продуктивність процесу пакетування.

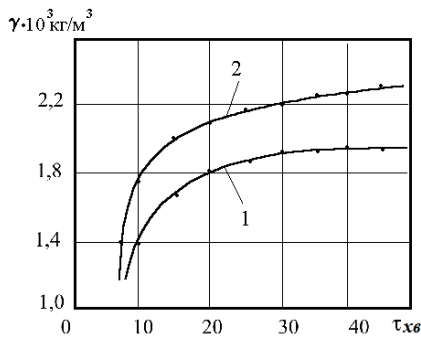


Рис. 5. Залежність щільності пакетів від часу нагріву стружки 1 – $P = 40 \cdot 10^5$ Па, $t = 700$ °С; 2 – $P = 80 \cdot 10^5$ Па, $t = 700$ °С

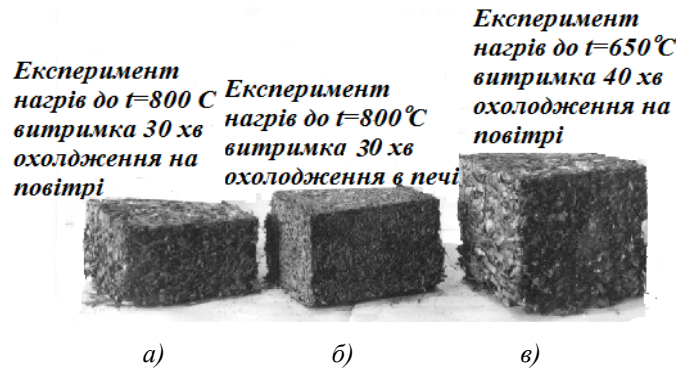


Рис. 6. Пакети зі сталеві стружки

Зі збільшенням часу витримки пакетів у печі щільність пакета зростає. Але при витримці більше за 40 хв на щільність пакета істотного не впливає. Зате зростає ступінь окислюваності стружки. Отже, з метою збільшення продуктивності процесу оптимальний час витримки в печі 20–30 хв.

На рисунку 7 представлено залежність $\gamma = f(P)$ впливу зусилля пресування на щільність отримуваних пакетів.

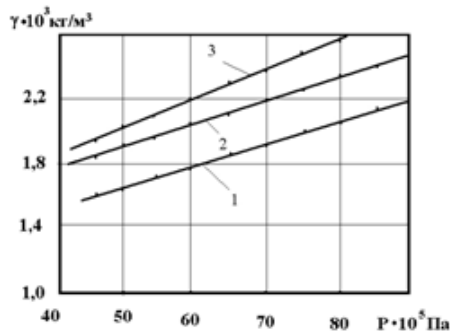


Рис. 7. Залежність щільності пакета від зусилля пресування стружки
 $t = 650$ °С, $\tau = 40$ хв; $t = 750$ °С, $\tau = 30$ хв; $t = 850$ °С, $\tau = 20$ хв

З графіка видно, що чим більше зусилля пресування, тим щільність пакета вища. Отже, при великих об'ємах переробки стружки, де необхідно мати два преси для попереднього пресування, варто використати прес БА-1330, а для остаточного пресування після відпалу використати потужніший прес БГ-1334.

З метою прискорення процесу охолодження металеві стружки були проведені дослідження з охолодження стружки повітрям і водою. Результати експерименту показали, що різке охолодження потоком повітря, що продувається через контейнер з нагрітою стружкою, знижує щільність пакета і збільшує кількість окалини на стружці. Але за температури стружки 600 °С і нижче інтенсивність охолодження на щільність практично не впливає.

Охолодження пакетів у воді за температури пакета 700–600 °С призводить до погіршення якості пакета, щільність таких пакетів становить $1.2\text{--}1.4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Але якщо охолоджувати пакет у воді від 300 °С, то виходять пакети хорошої якості. Щільність пакетів досягає $2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. При скиданні з 2-метрової висоти пакети не розсипаються. В свою чергу при висиханні пакет покривається іржею.

Отже, з метою збільшення продуктивності процесу пакетування сталеві стружки рекомендується пакет після нагріву охолоджувати продуванням повітря через контейнер зі стружкою. Охолодження починати при досягненні температури стружки 550 °С. Продування розпочинати з витрати повітря 4–6 м³/г на кожні 0.01 м² перерізу контейнера. Витрату повітря можна збільшувати з кожним падінням температури стружки на 50 °С. Також було вивчено вплив геометричних параметрів стружки на якість пакета. Результати залежності $\gamma = f(s)$ представлено на рисунку 8.

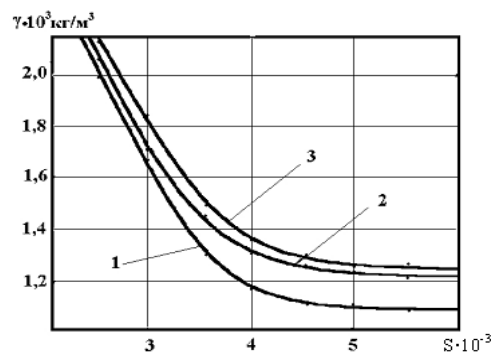


Рис. 8. Залежність щільності пакета від площі поперечного перетину стружки при $t_{om} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$; $P = 50 \cdot 10^5 \text{ Па}$

З графіка видно, що щільність пакетів падає зі збільшенням поперечного перетину стружки. Помічено також, що і час витримки стружки в печі необхідно збільшувати зі збільшенням поперечного перетину стружки. Результати цих досліджень показують, що при завантаженні стружки в прес бажано проводити дозування. Із стружки з великим поперечним перетином рекомендується виготовляти невеликі пакети до 25 кг, а з дрібною стружкою можна виготовляти пакети до 60 кг. Таким чином, основними чинниками, що впливають на якість і щільність пакета є температура нагріву стружки, час витримки пакета в печі, зусилля пресування і площа поперечного перетину стружки або режими різання, за якого виходить стружка. Оскільки при масовому виробництві площу поперечного перетину стружки змінювати важко, то для отримання пакетів заданої щільності необхідно здійснювати дозування стружки, що подається в прес.

Також були проведені дослідження з метою встановлення можливості пакетування сталеві стружки після її відпалу в установці СВЧ. Експерименти проводилися на стружці з матеріалів сталь 45 і Ст.5.

Стружка запресовувалася в спеціальний керамічний контейнер і нагрівалася в індукторі на високочастотній установці типу ЛЗ-107В, потужністю 100 кВт, частотою 66 кГц. Час нагріву варіювався від 1 до 5 хв. Потужність нагріву (N) змінювалася від 14,4 до 80 кВт. Нагріта стружка витягалася з контейнерів і охолоджувалася на повітрі. При цьому спостерігалася спайка часток між собою за рахунок оплавлення країв стружки. Після охолодження пакети не обсипалися. Таке явище відсутнє при нагріві стружки в газовій або електричній печі. Окрім цього, спостерігалася повне оплавлення середини пакета і часткове оплавлення країв. Такі пакети після скидання з висоти 2 м на бетонну плиту не розбивалися, незважаючи на те, що щільність (γ) пакета $1,3\text{--}10^3 \text{ кг/м}^3$. Після охолодження усі відпалені зразки піддавалися пресуванню з питомим тиском $50\text{--}10^5 \text{ Па}$. Результати залежності $\gamma = f(N)$ – представлені на рисунку 9. З графіка видно, що зі збільшенням потужності нагріву щільність пакета зростає. Але зростання щільності менше, ніж при нагріві стружки в електричній печі. Це пов'язано з тим, що в процесі пресування необхідно витратити енергію на розрив спаяних часток. Також не піддаються стискуванню сильно оплавлені ділянки в середній частині пакета. Таким чином, при нагріві добре спресованої стружки в установках СВЧ додаткове пресування можна не проводити.

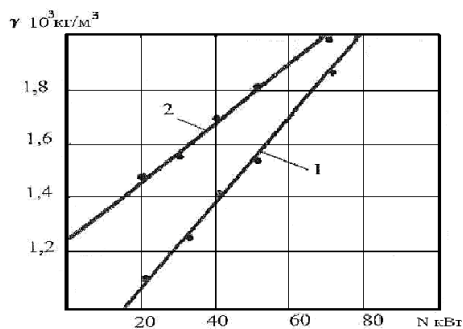


Рис. 9. Залежність щільності пакета від потужності нагріву в установці СВЧ при $f = 66 \text{кГц}$; $P = 50 \cdot 10^5 \text{Па}$

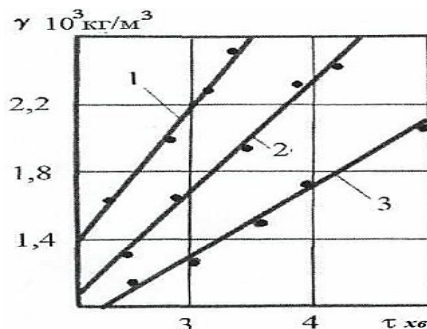


Рис. 10. Залежність щільності пакета від часу нагріву при $P = 50 \cdot 10^5 \text{Па}$, $f = 66 \text{кГц}$, 1 – $\tau = 3 \text{хв}$; 2 – $\tau = 4 \text{хв}$; 3 – $\tau = 5 \text{хв}$

На рисунку 10 представлена залежність $\gamma = f(\tau)$ – щільність пакета від часу нагріву (τ) стружки в установці СВЧ. З графіка видно, що зі збільшенням часу нагріву щільність пакета росте. При великих потужностях зі збільшенням часу нагріву відбувається плавлення стружки, а тому такої чіткої закономірності не простежується через описані вище причини.

На рисунку 11 представлено залежність $\gamma = f(s)$ – щільність пакета від площі поперечного перетину (s) стружки при відпалі її в установці СВЧ. З графіка видно, що зі збільшенням площі поперечного перетину стружки щільність пакета при постійному тиску падає. Тому на практиці це необхідно враховувати і стружку з великим поперечним перетином необхідно подавати на пакетування меншими порціями як було сказано вище.

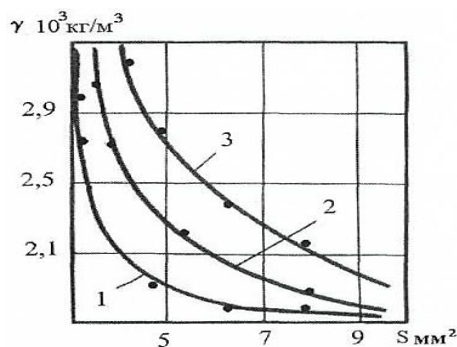


Рис. 11. Залежність щільності пакета від площі поперечного перетину стружки при $P = 50 \cdot 10^5 \text{Па}$, $f = 66 \text{кГц}$, 1 – $S = 8 \text{мм}^2$; 2 – $S = 12 \text{мм}^2$; 3 – $S = 14 \text{мм}^2$

Також були проведені дослідження можливості пакетування стружки мідних і алюмінієвих сплавів. Експерименти по пресуванню такої стружки показали, що при пакетуванні отримуються пакети щільністю $1,9\text{--}2,2 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$, але з дуже поганою міцністю. При скиданні таких пакетів з висоти 2 м на бетонну плиту вони розсипаються. Після відпалу щільність пакетів зростає в 1,5 раза і вони стають міцними. Результати експериментів представлені на рисунку 12.

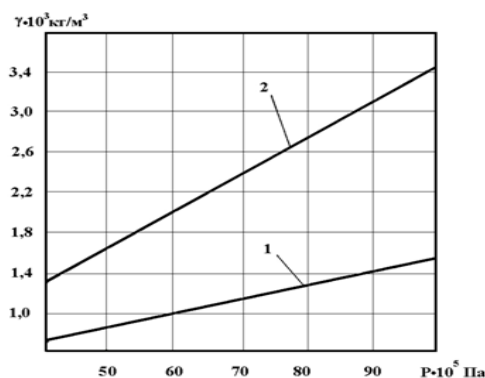


Рис. 12. Залежність щільності пакета від зусилля пресування при температурі відпалу стружки $t = 450 \text{°C}$, витримці в печі – 6 хв (1 – стружка алюмінієвих сплавів, 2 – латунна стружка)

Експериментальні дослідження пакетування дрібноелементної стружки алюмінієвих сплавів показали, що в непідготовленому виді вона пакетуванню не піддається. Щоб підготувати алюмінієву стружку до пакетування, необхідно провести її відпал. Після відпалу дрібноелементна стружка добре піддається пакетуванню і можна отримати міцні та якісні пакети. Результати експериментів представлені на рисунку 12. Проведені дослідження також показали, що стружку алюмінієвих сплавів, замаслених мастильно-охолоджуючою рідиною (МОР), перед термообробкою необхідно піддавати знежиренню в спеціальних мийочих машинах. Це пов'язано з тим, що за температури 250 °С МОР і стружка починає горіти. За відсутності мийної машини стружку необхідно нагрівати в спеціальних контейнерах до температури 180–200 °С, витримувати її при цій температурі до випаровування МОР, а потім робити відпал за температури 450 °С. Проводилися експериментальні дослідження по спільному пакетуванню вуглецевої стружки, після відпалу, і дрібноелементної стружки алюмінієвих сплавів. Пакети виходили міцними, при випробуванні за наведеною вище методикою показали добрі результати. Такі пакети можна використати для розкислювання сталі. Отримані пакети з алюмінієвих сплавів можуть бути використані для отримання алюмінію або ж для розкислювання сталі в мартенівському або в киснево-конвертерному виробництві.

Таким чином, проведені дослідження дозволили розробити рекомендації щодо окускокування сталевих стружки і кольорових металів, що дозволить розширити номенклатуру металевої стружки та підвищить ефективність її переробки при пакетуванні. На підставі проведених досліджень пропонується комплексна система переробки спіралеподібної стружки, забрудненої водними МОР, методом пакетування. Суть цієї технології полягає в зазначеному далі. Стружка краном грейфера безпосередньо в цеху завантажується в камеру 2 пакет-преса 1 (рис. 13), закривається кришкою 3 і запресовується поршнем гідроциліндра 4, а потім поршнем гідроциліндра 5 допресовується і при відкриванні шибера 6 заштовхується в контейнер 7 і транспортером 8 подається в піч 9. Після нагріву контейнер з гарячою стружкою подається на прес 10, на якому стружка поршнем 11 виштовхується з контейнера в камеру допресування 12.

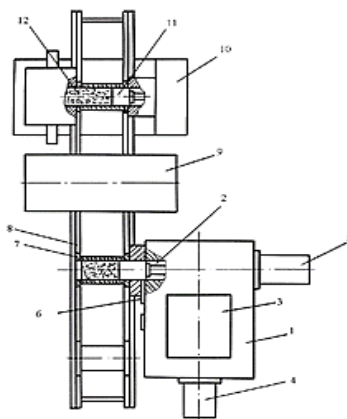


Рис. 13. Схема комплексної системи переробки стружки

Крім того, пакет можна виштовхувати з контейнера після охолодження, а потім допресовувати відпалену стружку в холодному стані. Пропонований спосіб уперше забезпечує пакетування металевої стружки в заздалегідь холодному стані, причому подальший нагрів її в контейнері для зняття внутрішньої напруги і допресування виключає вигорання стружки і зводить до мінімуму її окислення. Цей спосіб переробки стружки також вигідно відрізняється від існуючих тим, що виключає такий трудомісткий процес як подріблення стружки. Окрім цього, значно економиться кількість транспортних засобів для перевезення стружки і зменшується тривалість навантажувально-розвантажувальних робіт.

У деяких випадках найбільш доцільне брикетування стружки, але в прес, що брикетує, необхідно подавати подрібнену стружку, що вимагає використання спеціальних дробарок. Крім того, стружка може містити в собі сторонні предмети, що є неподрібнювальними (поламани різці, обрізь заготовок тощо), які при дробленні стружки можуть вивести з ладу стружкодробарку, а тому при цьому необхідно використати ще один пристрій для відділення сторонніх неподрібнювальних предметів із стружки.

Висновки:

1. Експериментальні дослідження пакетування сталевих стружки підтвердили, що стружку перед пакетуванням необхідно піддавати відпалу в спеціальних контейнерах, щоб уникнути її інтенсивного окислення;

2. Проведені дослідження показали, що для отримання пакетів щільністю $2,2\text{--}2,5 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ достатня температура відпалу 650–750 °С з витримкою в печі в продовж 20–30 хв;

3. Стружку алюмінієвих сплавів можна пакетувати разом зі сталеву стружкою, а пакети використовувати для розкислення сталі в металургійному процесі.

Список використаної літератури:

1. Чернишов О.В. Дослідження основних характеристик металевої стружки з метою її подальшої переробки / О.В. Чернишов, А.О. Узбек // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ : ДДТУ. – 2015. – Вип. 1 (26). – С. 50–54.
2. Підвищення ефективності процесу очищення металевої стружки від мастильно-охолоджуючих рідин за допомогою миючих розчинів / О.В.Чернишов, Д.Г. Музичка, А.І. Трикіло, В.А. Яновський // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2018. – Вип. 5 (112). – С. 103–109.
3. Дослідження параметрів процесу очищення металевої стружки від МОР / О.В. Чернишов, О.О. Чернишов, Д.Г. Музичка, В.В. Третяк // *New leading technologies in machine building : Addition for proceedings XXV international conference*, 3–8 September. – Koblevo ; Kharkov. – 2017. – Р. 9–11.
4. Інноваційні технології випалення сталі для фасонних виливків / Т.В. Лисенко, В.В. Ясноков, М.П. Тур, А.М. Бежанова // *Металл и лите Украины*. – 2020. – Т. 28, №1. – С. 55–61.
5. Підготовка шламів шліфувальних верстатів до металургійного перепау / О.В. Чернишов, Д.Г. Музичка, А.І. Трикіло, В.А. Яновський // *Технічна інженерія*. – 2019. – № 2 (84). – С. 56–60.
6. Підготовка шламів шліфувальних верстатів до використання в металургії / О.В. Чернишов, А.І. Трикіло, Т.О. Губська, А.В. Швачка // *Modern Questions of Production and Repair in Industry and in Transport : mater. of the 19th International Scientific and Technical Seminar*, 18–23 February. – Kosice ; Kyiv, 2019. – С. 234–238.
7. Морозов А.С. Особливості переробки металевих відходів і використання поліграфічних матеріалів / А.С.Морозов // *Технологія і техніка друкарства*. – 2011. – Вип. 4. – С. 61–67.
8. Третяк В.В. Пристрій для штампування імпульсними джерелами енергії / В.В. Третяк, Д.Г. Музичка, О.В. Чернишов // *Процеси механічної обробки, верстати та інструмент : збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*, 5–6 листопада. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – С. 162–165.
9. ДСТУ 4121-2002. Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови. – Київ : Державний комітет України з питань регулювання та споживчої політики, 2003.
10. ДСТУ 3211:2009. Брухт і відходи кольорових металів і сплавів. Загальні технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011.
11. Музичка Д.Г. Технологія пакування металевої стружки / Д.Г. Музичка, О.В. Чернишов, О.О. Чернишов // *Процеси механічної обробки, верстати та інструмент : збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*, 5–6 листопада. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – С. 160–161.

References:

1. Chernyshov, O.V. and Uzbek, A.O. (2015), «Doslidzhennia osnovnykh kharakterystyk metalevoi struzhky z metoiu yii podalshoi pererobky», *Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnicni nauky)*, DDTU, Dniprodzerzhynsk, Issue 1 (26), pp. 50–54.
2. Chernyshov, O.V., Muzychka, D.H., Trykilo, A.I. and Yanovskyi, V.A. (2018), «Pidvyshchennia efektyvnosti protsesu ochyshchennia metalevoi struzhky vid mastylno-okholodzhuiuchykh ridyn za dopomohoiu myiuchykh rozchyniv», *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho*, Issue 5 (112), pp. 103–109.
3. Chernyshov, O.V., Chernyshov, O.O., Muzychka, D.H. and Tretiak, V.V. (2017), «Doslidzhennia parametriv protsesu ochyshchennia metalevoi struzhky vid MOR», *New leading technologies in machine building*, addition for proceedings XXV international conference, 3–8 September, Koblevo, Kharkov, pp. 9–11.
4. Lysenko, T.V., Yasniukov, V.V., Tur, M.P. and Bezhanova, A.M. (2020), «Innovatsiini tekhnolohii vyplavlenia stali dlia fasonnykh vylivkiv», *Metall i lite Ukrainy*, Vol. 28, No. 1, pp. 55–61.
5. Chernyshov, O.V., Muzychka, D.H., Trykilo, A.I. and Yanovskyi, V.A. (2019), «Pidhotovka shlamiv shlifovalnykh verstativ do metalurhiinoho pereplavu», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (84), C. 56–60.
6. Chernyshov, O.V., Trykilo, A.I., Hubska, T.O. and Shvachka, A.V. (2019), «Pidhotovka shlamiv shlifovalnykh verstativ do vykorystannia v metalurhii», *Modern Questions of Production and Repair in Industry and in Transport*, mater. of the 19th International Scientific and Technical Seminar, 18–23 February, Kosice, Kyiv, pp. 234–238.
7. Morozov, A.S. (2011), «Osoblyvosti pererobky metalevykh vidkhodiv i vykorystannia polihrafichnykh materialiv», *Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva*, Issue 4, pp. 61–67.
8. Tretiak, V.V., Muzychka, D.H. and Chernyshov, O.V. (2021), «Prystrii dlia shtampuvannia impulsnymy dzherelamy enerhii», *Protsesy mekhanichnoi obrobky, verstaty ta instrument*, zbirnyk naukovykh prats XI Vseukrainskoi nauково-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, 5–6 lystopada, Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politekhnika», Zhytomyr, pp. 162–165.
9. Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan rehuliuвання ta spozhyvchoi polityky (2003), *DSTU 4121-2002. Metaly chorni vtorynni. Zahalni tekhnichni umovy*, Kyiv.
10. Derzhspozhyvstandart Ukrainy (2011), *DSTU 3211:2009. Brukht i vidkhody kolorovykh metaliv i splaviv. Zahalni tekhnichni umovy*, Kyiv.
11. Muzychka, D.H., Chernyshov, O.V. and Chernyshov, O.O. (2021), «Tekhnolohiia paketuvannia metalevoi struzhky», *Protsesy mekhanichnoi obrobky, verstaty ta instrument*, zbirnyk naukovykh prats XI Vseukrainskoi nauково-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu, 5–6 lystopada, Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politekhnika», Zhytomyr, pp. 160–161.

Чернишов Олександр Олександрович – інженер ООО «Кам’янська домобудівельна компанія».

Наукові інтереси:

– енергоресурсозбереження.

E-mail: haruga@ukr.net.

Чернишов Олександр Васильович – старший викладач Дніпровського державного технічного університету.

<https://orcid.org/0000-0001-5457-258X>.

Наукові інтереси:

– енергоресурсозбереження.

E-mail: avch2006@ukr.net.

Чухно Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент Дніпровського державного технічного університету.

<https://orcid.org/0000-0001-6858-6528>.

Наукові інтереси:

– енергоресурсозбереження.

E-mail: zamdek@ukr.net.

Яновський Валерій Анатолійович – доцент Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orsid.org/0000-0002-1702-4282>.

Наукові інтереси:

– енергоресурсозбереження;

– технологічне оснащення для пакетування та брикетування металеві стружки.

E-mail: tmkts_yava@ztu.edu.ua.

Chernyshov O.O., Chernyshov O.V., Chukhno S.I., Yanovskyi V.A.

Research on the process of metal facing packaging

Washed and dried metal facing is most expedient to use in steelmaking in the form of bags or briquettes. This makes it possible to turn facing into high-quality bulk material, which replaces piece metal scrap during remelting. It should be noted that it is practically impossible to obtain high-quality packages from metal facing, and that is why the research of the processes of chipping into pieces is relevant and important. In Ukraine, domestic scientists of Iron and Steel Institute, the Dnipropetrovsk Metallurgical Academy, and the Dnipro State Technical University made a significant contribution to the development of metal scrap and facing processes.

Two methods of pulverizing chips have become widespread in the industry: briquetting and bagging. It is recommended to use only crushed chips for briquetting. The second method of shredding metal facing is its packaging. But it is not possible to pack spiral-shaped steel facing, because with high pressing forces it collapses, and with low forces the packages fall apart. Therefore, steel facing must be packaged in an annealed state. This chip packaging technology was proposed and researched in the laboratories of the Department of Mechanical Engineering Technology of the Dnipro State Technical University. Experimental studies of the process of packaging steel facing were carried out in order to determine the optimal modes of packaging according to the proposed technology. Research was conducted on a laboratory packaging press, as well as on an industrial press BA 1330.

The article examines and describes the methods of packaging and briquetting of metal facing existing in the industry, the technology of packaging facing in the annealed state is proposed. Based on the obtained results, recommendations were made for improving the equipment and the chip packaging technology was considered.

Keywords: briquetting; packaging; annealing; packaging technology; experimental research.

Стаття надійшла до редакції 09.03.2023.