

*Кивгило Б.В., Ямшинський М.М., Биба Є.Г., Мініцький А.В., Лук'яненко І.В.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ, СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ КАРКАСІВ



АНОТАЦІЯ. Робота присвячена розробленню технології виготовлення металевих шаруватих композитів на основі металевої стружки – відходів металообробки. Проведено аналіз забруднень стружки, зокрема мастильно-охолоджувальної рідини, оксидів та домішок, і запропоновано методи їх видалення через відпал у середовищі гостроосушеного водню. Розглянуто вплив тиску пресування на пористість матеріалів, необхідну для інфільтрації рідким алюмінієм. Результати демонструють оптимальні умови обробки та показники міцності композитів. Технологія може бути використана для створення енергопоглинаючих елементів з малою вагою, що сприятиме зниженню собівартості та ресурсозбереженню.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: металева стружка, відпал, пористість, інфільтрація, шаруваті композити

Ефективність виробництва в Україні в сучасних економічних умовах суттєво залежить від раціонального підбору дешевих матеріалів і застосування ресурсозберігаючих технологій. Конкурентоспроможність промислових підприємств формується за рахунок регулювання собівартості продукції. Сучасні технологічні інновації дозволяють розглядати вторинні промислові відходи як додаткове джерело сировини і матеріалів. Аналіз машинобудівного виробництва показує, що воно супроводжується накопиченням значної кількості відходів [1-4].

У процесі виробничої діяльності машинобудівних підприємств утворюється велика кількість різноманітних відходів, багато з яких є цінною вторинною сировиною. Вирішення завдань ресурсозбереження вимагає включення відходів у технологічний цикл підприємства, дає змогу збільшити рентабельність виробництва, знизити екологічне навантаження на навколишнє

середовище, що актуально в умовах виснаження запасів природних ресурсів, особливо металів і сплавів, які широко використовують у подальшому виробництві.

Цінним видом відходів є металева стружка, яка утворюється під час механічного оброблення сталевих виробів у великих обсягах. На підприємствах середньої величини її кількість може становити близько 18-20 тис. т. на рік [5].

Ефективна утилізація металевої стружки, що утворюється під час механічного оброблення, становить для машинобудівних підприємств серйозну проблему.

Зазвичай стружка забруднена всілякими домішками: мастильно-охолоджувальною рідиною (далі – МОР), маслом, вологою, кварцовим піском, шламом, сміттям, що ускладнює проблему її перероблення на місці утворення. Під час зберігання металева стружка інтенсивно іржавіє і злежується, у великих обсягах відбуваються термічні процеси, пов'язані з окисненням стружки, випаровуванням МОР і забрудненням атмосфери [4, 5]. Разом з тим, у стружці містяться елементи кремній, хром, нікель, мідь, ванадій, титан, молібден, що робить її привабливою для подальшого використання як армувальної фази.

Можливість прямого використання у виробництві підприємств відходів у вигляді металевої стружки обмежена через наявність перелічених забруднень. Крім того необхідно відзначити складність завантаження стружки у плавильні агрегати та підвищення часу плавлення [6].

Одним з основних показників рівня сучасних технологій є ресурсозбереження. Використання металовідходів дозволяє істотно впливати на вартість кінцевої продукції. В існуючих технологіях металообробки відходами виробництва є: металева стружка, обрізь заготовок, шлами шліфувальних верстатів [2, 5]. 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 [5, 6].

Для високопористих матеріалів, які використовуються в якості армуючої фази (металева стружка), визначальною властивістю є здатність до подальшої інфільтрації рідким металом. Так, якість і проникність матеріалів буде визначатися лише зовнішньою наскрізною пористістю. Вона і буде визначати спроможність армувальної фази та швидкість інфільтрації, тобто кількість речовини, що проходить крізь неї. Найбільшого впливу на дану характеристику завдають характеристики металевої стружки, а також метод отримання.

Сучасна промисловість потребує нових конструкційних та функціональних матеріалів, в тому числі композиційних металевих матеріалів із залученням методів формування композитів шляхом інфільтрації пористих каркасів металевими розплавами.

Метою роботи є розроблення технології виготовлення металевих шаруватих композитів, що представляють собою матрицю із стружки з відходів металообробки для подальшої інфільтрації рідким розплавом алюмінію.

З метою отримання суцільного з'єднання між армувальною фазою та металом основи, на його поверхні необхідно утворити тонкий шар хлориду заліза. Одним з можливих методів є реакція заліза з хлорними сполуками або з розчинами хлоридів. При взаємодії соляної кислоти із стружкою із вуглецевої сталі відбувається реакція, що приводить до утворення на поверхні стружки хлориду заліза (II) який в подальшому слугує своєрідним флюсом. На межі стружка – розплав він буде забезпечувати захисну дію і протидіяти змочуванню.

Автори робіт [1-3, 7] відзначають, що стружка знаходиться в напруженому стані і це не дозволяє повноцінно провести процеси брикетування. В такому випадку необхідно використовувати пластифікатор. Оскільки в подальшому буде використовуватися інфільтрація рідкого розплаву, то наявність пластифікатора не припустима.

З метою підвищення пластичних властивостей металевої стружки в роботі запропоновано використовувати відпал за температури 700 °C в середовищі гостроосушеного водню. З урахуванням того, що товщина металевої стружки не перевищує 1 мм, то час витримування становив 30 хв.

Визначення хімічного складу металевої стружки здійснювали до та після попередньої підготовки. Стружка має досить високу розвинену (питому) поверхню, тому хімічний склад визначали в 5 точках.

Аналіз результатів показує наявність таких хімічних елементів як Zn та Pb, які потрапляють з МОР. Крім того відзначається підвищений вміст S, що свідчить про забрудненість поверхні металевої стружки сульфідами різних металів. Після відпалу за температури 700 °C у середовищі гостроосушеного водню вміст S знижується до 0,089 %, а легкоплавкі домішки Zn та Pb – зникають.

Для підтвердження гіпотези щодо очищення поверхні металевої стружки проведено комплексне очищення в 0,1 нормальному розчині соляної кислоти в спирті після відновлювального відпалу за температури 700 °C. Встановлено, що комплексна підготовка вихідних матеріалів сприяє суттєвому покращенню стану поверхні: видаленню шкідливих домішок від МОР, підвищенню пластичності, утворенню на поверхні хлоридів заліза, які в свою чергу мають покращити процеси змочування під час інфільтрації рідкого алюмінієвого розплаву.

З підвищенням тиску формування кількість та лінійні розміри порових каналів металевої стружки до відпалу зменшуються, від (в середньому) 2,75 мм до 0,92 мм та після відпалу зменшуються, від (в середньому) 1,51 мм до 1,06 мм.

З аналізу отриманих даних встановлено, що найкращі показники лінійних розмірів порових каналів досягаються при тиску пресування 50-150 МПа, що підтверджується результатами експериментальних досліджень по визначенню пористості (рис. 1) та попередніми дослідженнями авторів [13].

Подальше підвищення тиску до 200 МПа і вище є недоцільним, оскільки призводить до зниження пористості менше 40 %, що збільшує кількість закритих пор і унеможливує в подальшому, процеси інфільтрації рідкого розплаву.

Для оцінки міцнісних характеристик армувальної складової було визначено межу міцності на стик за різних тисків пресування.

Встановлено, що металева стружка після відпалу набуває пластичних властивостей, які покращують якість пресовок, зберігаються геометричні розміри за менших тисків пресування.

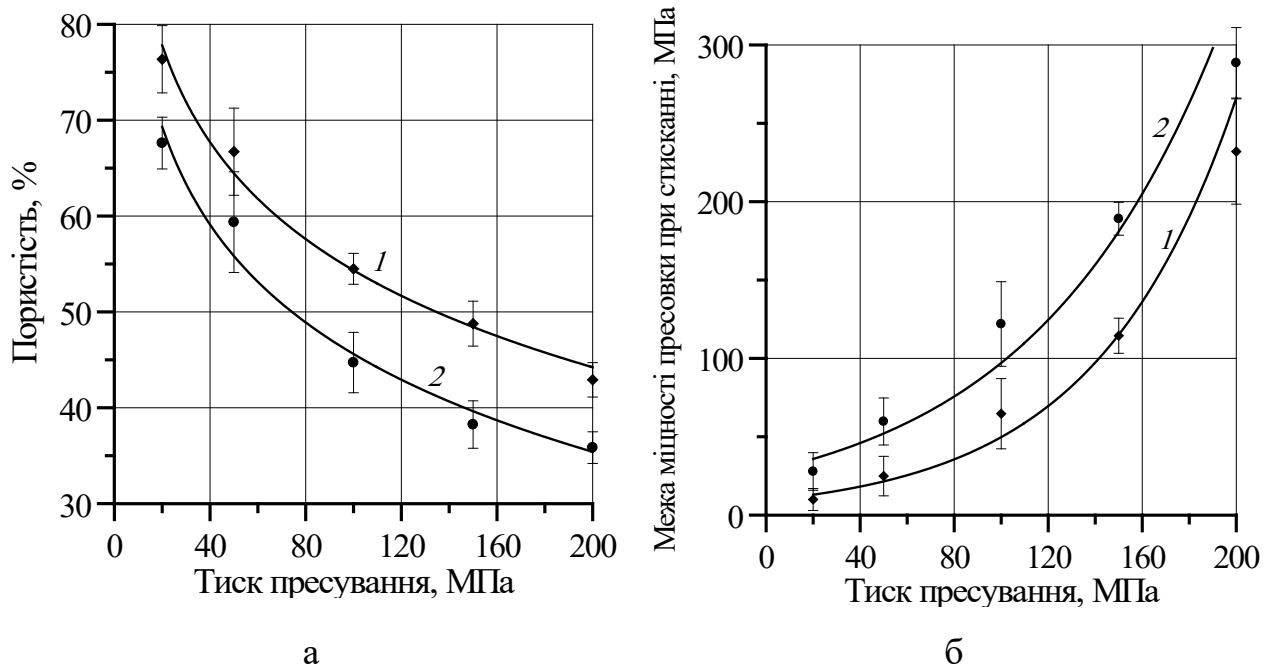


Рис. 1. Механічні властивості пресовок: а – залежність пористості від тиску пресування; б – залежність межі міцності пресовок залежно від тиску пресування; 1 – до відпалу; 2 – після відпалу

Таким чином, оптимальний тиск пресування армувальної складової складає 50-150 МПа, що додатково підтверджується достатньою межею міцності на стиск (150 МПа, рис. 3, б). Збільшення тиску пресування понад 150 МПа призводить до закриття пор, що зменшує ймовірність інфільтрації розплавом.

Основними проблемами під час виготовлення пористого каркасу з відходів металообробки є складність деформації стружки через неоднорідний хімічний склад та домішки різних металів, що перешкоджає отриманню однорідного каркасу. Попередній відпал в середовищі гостроосушеного водню дозволяє збільшити пластичність металу та забезпечити пористість в межах від 70 до 35 % в діапазоні тисків пресування 50-150 МПа.

Результати роботи можуть бути використанні для енергопоглинаючих елементів протимінного захисту з малою питомою вагою та густиною, в тому числі із відходів металообробки, що значно здешевлює такі матеріали.

Література:

1. Технології переробки металевої стружки (Огляд) / О. Веретільник та ін. *Сучасна електromеталургія*, 2020. № 1. – С. 31–38. <https://doi.org/10.37434/sem2020.01.06>.
2. Дьяконов О. Исследование физико-химических и механических свойств стальной и чугуновой стружки. *Литье и металлургия*. 2009. № 4 (53). – С. 161–173.
3. Чернишов О., Узбек А. Дослідження основних характеристик металевої стружки з метою її подальшої переробки. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*, м. Дніпродзержинськ. ДДТУ, 2015. – С. 50–54.
4. Підвищення ефективності процесу очищення металевої стружки від мастильно-охолоджуючих рідин за допомогою миючих розчинів / О. Чернишов та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. 2018. № 5 (112). – С. 103–109.
5. Дослідження параметрів процесу очищення металевої стружки від МОР / О. Чернишов та ін. *New leading technologies in machine building: Addition for proceedings XXV international conference*, м. Koblevo, 3 верес. 2017 р. 2017. С. 9–11.
6. Спосіб отримання злитків зі стружки: пат. 54324 Україна. Заявл. 30.03.2010; опубл. 11.10.2010.
7. Переработка стружки жаропрочной стали ЭП609Ш способом компактирования под электрическим током с последующим электрошлаковым переплавом / Ш. В. Шаповалов В.А та ін. *Современная электromеталлургия*. 2011. № 4. – С. 46–48.
8. Электротермическое компактирование металлических материалов: возможности и перспективы / В. Шаповалов та ін. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2011. № 5. – С. 5–10.
9. Біметалеві виливки на основі алюмінієвого сплаву / Б. Кивгило та ін. *Теорія і практика металургії*. 2022. № 3. – С. 15–21.

10. Створення біметалевих матеріалів системи залізо-алюміній отриманих методом інфільтрації пористих каркасів / Б. Кивгило та ін. Теорія і практика металургії. 2022. № 6. – С. 26–33.

11. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів : навч. посіб. Київ : НТУУ “КПІ”, 2017. – 336 с.

12. ДСТУ 4121:2002. Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови. Чинний від 2003-04-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2003. – 40 с.

13. Вплив умов спікання на структуроутворення композиційних матеріалів на основі вольфраму / А. В. Мініцький та ін. Метал та лиття України. 2023. № 2 (31). С. 62–68. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.062>.



ABSTRACT. The study focuses on developing a manufacturing technology for layered metal composites based on metal chips, a by-product of metalworking. The research analyzed chip contamination, including coolant residues, oxides, and impurities, and proposed methods for their removal through annealing in a highly dehydrated hydrogen atmosphere. The impact of pressing pressure on material porosity, essential for liquid aluminum infiltration, was investigated. The results indicate optimal processing conditions and strength characteristics of the composites. This technology is applicable for producing lightweight energy-absorbing elements, reducing costs and promoting resource efficiency.

KEYWORDS: metal chips, annealing, porosity, infiltration, layered composites