

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ КУТОВОГО ПРЕСУВАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ПРОФІЛІВ

Бобух О.С.¹ [ORCID], Зятіна В.І.² [ORCID]

¹Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доцент, Україна

²Український державний університет науки і технологій, аспірант, Україна

Анотація. Розглянуто та узагальнено інноваційний метод кутового гарячого пресування біметалевих профілів, описаний у патенті «Спосіб кутового пресування біметалевих профілів». Метод передбачає попереднє деформування основного металу за рахунок тертя у кінцевій частині верхнього інструменту (кут 20–40°) для руйнування оксидного шару та покращення зчеплення з покриваючим металом. Спосіб включає з'єднання матеріалів у волочильній зоні шляхом гарячого обтиснення, а також застосування рухомого дна пуансона для зменшення зусиль пресування. Запропоноване рішення зорієнтовано на сплави алюмінію з міді чи нержавіючої сталі. Описано принципи та переваги процесу в контексті сучасних технологій виготовлення біметалів.

Ключові слова: кутове пресування, біметали, рухоме дно, оксидний шар, гаряче видавлювання.

Вступ

Обробка тиском двох взаємозчеплених металів (біметалів) є ефективним способом отримання міцних профілів зі співвідношенням властивостей різних матеріалів. Одним з основних промислових методів отримання біметалів є спільне гаряче прокатування пакета з різноматеріальних шарів, яке забезпечує міцне з'єднання шарів по контактних поверхнях [1]. Крім того, існує багато варіантів гарячого видавлювання для отримання круглих та фасонних профілів; принципово розрізняють пресування з поперечною та поздовжньою шаруватістю. У таких технологіях часто виникає потреба у попередній обробці поверхонь (очищення, нагрівання) для руйнування оксидного шару та поліпшення зчеплення.

У запропонованому способі здійснюють кутове гаряче пресування біметалевих профілів шляхом послідовного деформування основного

(підкладного) та покриваючого металів. Основні кроки методу можна представити так [2]:

1. **Попереднє деформування основного металу:** за рахунок тертя у верхній конусній частині пуансона (кутом $20-40^\circ$) базовий метал попередньо деформується перед контактом з покриваючим. Це сприяє руйнуванню оксидної плівки на його поверхні завдяки інтенсивному місцевому нагріву і тертю.
2. **З'єднання у волочильній зоні:** в зоні пониження перерізу ("волочіння") після конусної деформації виконується остаточне гаряче обтиснення заготовок. За рахунок руйнування оксидного шару контакту та подальшої високотемпературної деформації забезпечується міцне металургійне зчеплення матеріалів, що відрізняються механічними властивостями.
3. **Деформація у матриці із рухомим дном:** основний метал формують у матриці з великим кутом відходження (α), а пуансон оснащують рухомим дном. Така конструкція дозволяє знизити сили опору течії металу та зменшити загальне зусилля пресування. Рухоме дно забезпечує ефект зниження тертя між заготівкою і стінками прес-формі, що призводить до зменшення тиску на матеріал.
4. **Матеріали заготовки:** як підкладний (основний) метал використовується алюміній, а як покриваючий – мідь або нержавіюча сталь. Комбінації Al–Cu або Al–Cr–Ni (сталь) обрані через їхню сумісну деформівність при гарячій обробці і корисні властивості (низька щільність алюмінію, висока провідність міді тощо).

Обговорення та результати

Запропоноване рішення об'єднує кілька ефективних прийомів: попереднє конусне деформування і руйнування оксиду, волочильну зону для гарячого обтиснення, а також рухоме дно для зменшення тиску. Такі підходи успішно застосовуються при виробництві біметалевих профілів. Наприклад, відомо, що видавлювання з поздовжньою шаруватістю передбачає одночасне проштовхування двох матеріалів в матрицю з сердечником, а розробка контактних поверхонь (зрізання, фрезерування) сприяє міцному зчепленню шарів [1].

Попередні дослідження показали, що оптимальний кут матриці залежить від умов процесу: із збільшенням співвідношення екструзії та коефіцієнта тертя оптимальний півкут матриці зростає. У запропонованому методі вибрано верхній конусний інструмент із кутом $20-40^\circ$ [2], що відповідає помірному напівкуту видавлювання. Це близько до напівкутів $\approx 60^\circ$, які часто

використовують у дослідженнях біметалевих екструзій завдяки сприятливому розтіканню матеріалу [3].

Використання рухомого дна демонструє ефект зниження сил пресування. Аналогічний принцип спостерігається при зворотному пресуванні: оскільки заготовка не переміщується всередині контейнера, сили тертя практично відсутні і необхідне зусилля значно зменшується. У нашому методі рухоме дно виконує схожу роль – зменшуючи тертя і підвищуючи ефективність процесу [2]. Зокрема, відомо, що при зворотному пресуванні ділянка течії металу переміщується в бік пуансона, а матриця з контейнером рухаються, що усуває контакт між заготівкою та стінками і знижує силу видавлювання, що відображає рис.1.

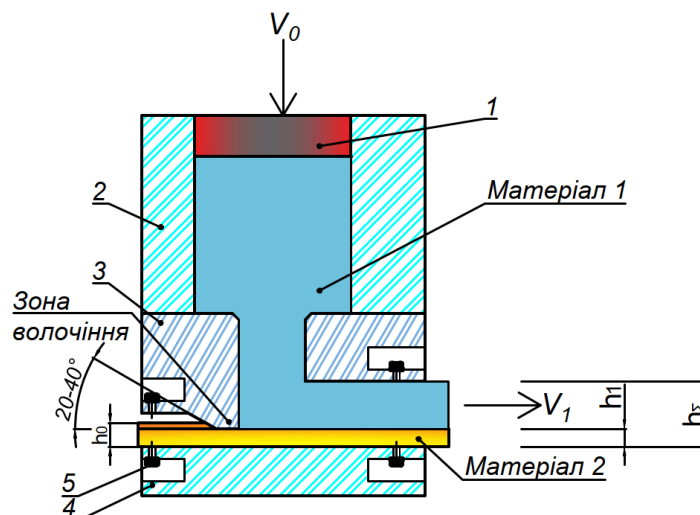


Рисунок 1 – Схема пропонуваного деформуючого інструменту
де, 1 – пуншерна частина приладу; 2 – вихідний канал (корпус подачі матеріалу 1);
3 – формуючий корпус заготовки (канал подачі матеріалу 1); 4 – нижня пластина пристрою, рухома
(канал подачі матеріалу 2); 5 – регулювальний пристрій (кроковий механізм).

Загалом, запропонований спосіб дозволяє створювати біметалеві профілі зі стабільною якістю з'єднання шляхом комбінування термічної активації поверхні (руйнування оксидного шару) та оптимізації геометрії інструмента (конусний пуансон, рухоме дно). Це узгоджується з сучасними результатами, які показують важливість високих екструзійних відношень та правильного вибору кута матриці для утворення бездефектного інтерфейсу біметалу.

Процес кутового пресування визначається зв'язаною взаємодією технологічних параметрів і матеріалознавчих факторів, які в сукупності

формують умови пластичної деформації, механізми утворення з'єднання та подальшу мікроструктурну еволюцію композитної системи.

Отримані результати свідчать, що процес принципово контролюється рядом ключових технологічних інструментів, які становлять предмет подальших досліджень: комбінація матеріалів, характер поверхневої взаємодії, геометричні параметри компонентів, зміна геометрії та мікроструктурно-механічних властивостей деформованих компонентів у процесах з'єднання та термічної обробки.

Узагальнено зазначені фактори формують систему керування процесом кутового пресування, яка визначає як кінетику формування з'єднання, так і кінцевий мікроструктурний стан обробленого матеріалу. Їх взаємопов'язана дія потребує системного дослідження для забезпечення прогнозованого керування структурно-властивісними характеристиками в рамках дослідження.

Висновки

Проведено аналіз методу кутового гарячого пресування біметалевих профілів із рухомим дном. Метод поєднує конусне попереднє деформування та гаряче обтиснення в зоні волочіння, що забезпечує руйнування оксидних плівок та високу якість з'єднання дисимілярних металів. Застосування рухомого дна дозволяє суттєво зменшити робочі зусилля, оскільки аналогічно зворотному екструзуванню усувається значна частина тертя під час деформації. У результаті запропонований спосіб удосконалює процес кутового видавлювання біметалів і може бути рекомендований для виготовлення довговічних алюмінієво-мідних або алюмінієво-сталевих профілів з покращеними механічними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.М. Бенъ «Особенности формирования біметалевих заготовок методами обробки тиском», Вісник Запорізької політехніки, 2021, с. 88–89.
2. Зятіна В.І., Медведєв М.І., Бобух О.С., Самсоненко А.А., Спектор С.С. Спосіб кутового пресування біметалевих профілів : пат. 161837 Україна, МПК В21С 37/00 ; заявл. у 2025 02800 ; зареєстр. в Державному реєстрі України корисних моделей 07.01.2026 ; опубл. 07.01.2026, Бюл. № 1.
3. Optimization of the Indirect Extrusion Process of Copper-Clad Aluminum Rods by Methods of Statistical Experimental Designs and Numerical Analyses / S. Lechner та ін. Frontiers in Materials. 2021. Т. 8. URL: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.663306>

IMPROVEMENT OF THE ANGULAR PRESSING PROCESS FOR BIMETALLIC PROFILES

Oleksandr Bobukh, Vitalii Ziatina

Abstract. *An innovative method of angular hot pressing of bimetallic profiles, described in the patent “Method of Angular Pressing of Bimetallic Profiles,” is considered and summarized. The method involves preliminary deformation of the base metal through friction in the conical section of the upper tool (cone angle 20–40°), which enables the disruption of the oxide layer and improves bonding with the cladding metal. The process includes material joining within the drawing zone by means of hot upsetting, as well as the application of a movable die bottom to reduce the required pressing force. The proposed solution is primarily intended for aluminum alloys in combination with copper or stainless steel. The principles and advantages of the process are described in the context of modern bimetal manufacturing technologies.*

Keywords: *angular pressing, bimetals, movable die bottom, oxide layer, hot extrusion.*

REFERENCE:

1. Ben A.M. Features of the formation of bimetallic billets by metal forming methods, Bulletin of Zaporizhzhia Polytechnic, 2021, pp. 88–89.
2. Ziatina V.I., Medvediev M.I., Bobukh O.S., Samsonenko A.A., Spektor S.S. Method of angular pressing of bimetallic profiles: Patent 161837 Ukraine, IPC B21C 37/00; filed u 2025 02800; registered in the State Register of Utility Models of Ukraine on 07.01.2026; published 07.01.2026, Bulletin No. 1.
3. Lechner S. et al. Optimization of the indirect extrusion process of copper-clad aluminum rods by methods of statistical experimental designs and numerical analyses. Frontiers in Materials, 2021, Vol. 8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.663306>