

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-69>

APPLICATION OF KIRIGAMI INSPIRED STRUCTURES IN DEFORMATION-THERMAL TREATMENT OF COMPOSITE MATERIAL SHEETS¹

ЗАСТОСУВАННЯ КІРІГАМІ-СТРУКТУР У ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ ШТАБ З КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Frolov Ya. V.,

*DSc (Engineering), Professor,
Ukrainian State University of Science
and Technology, Dnipro, Ukraine*

Фролов Я.В.,

*д.т.н., професор, Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Bobukh O.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Бобух О.С.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Boiarkin V. V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Бояркін В.В.,

*к.т.н., доцент, Український
державний університет науки
і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Konovodov D. V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Коноводов Д.В.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

На початку XXI сторіччя отримало розвиток виробництво шаруватих металевих композитів, армованих кірігами-структурами – листовими комірчастими структурами з вирізами та складками, що розташовані у визначеному порядку. В сучасній інженерії кірігами-структури використовуються для створення інноваційних конструкцій та матеріалів з унікальними механічними, морфологічними та функціональними властивостями (механічна міцність, жорсткість, здатність до поглинання енергії, адаптивність, термоізоляція та звукоізоляція, зменшення ваги та ін.). Такі матеріали все частіше

¹ Дослідження виконуються в рамках проекту «Розробка технології застосування кірігами-структур у деформаційно-термічній обробці штаб з композитного матеріалу», який фінансується Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету (реєстраційний номер 2023.04/0156)

знаходять застосування в машинобудуванні, авіації, електротехніці та інших галузях. Застосування кірігами-структур для проектування шаруватих композитних матеріалів, які можуть бути виготовлені за допомогою поздовжньої прокатки-з'єднання, усуває ризик надмірної деформації та передчасного руйнування одного з шарів. В цьому випадку, наприклад, сталева сітка, яка є одним з різновидів кірігами-структур і використовується як компонент шаруватого композиту, забезпечує контрольований розвиток деформації [1] під час подальшої прокатки-з'єднання. В кірігами-структурі, у відповідності до схеми розкрою, існує дві зони: зона високих деформацій та зона низьких деформацій. Механічні властивості отриманої структури, а також її кінцева форма програмується схемою нанесення візерунку кірігами-структури [2] та параметрами деформаційно-термічної обробки. Таким чином, техніка кірігами відкриває шлях до програмованої зміни форми під впливом заданого навантаження, набуття нових механічних властивостей [3].

Окрім зазначених вище прикладів, актуальним є використання кірігами-структур для збільшення можливості поглинання енергії, в тому числі в умовах локального перегріву, композитами на основі легких сплавів [4].

Метою досліджень є розробка елементів технології поздовжньої прокатки-з'єднання багатошарових металевих композитів, армованих кірігами-структурами, з підвищеною здатністю до поглинання енергії, опором деформації на вигин та зниженою питомою вагою.

Дослідження проводилися на лабораторних прокатних станах дуо. Для створення моделі процесу на основі методу скінчених елементів (FEM) використовувалось програмне середовище QForm UK.

Результати моделювання процесу отримання тришарового композиту алюміній+просічно-втяжна сітка з вуглецевої сталі+алюміній якісно узгоджуються з отриманими експериментальними значеннями кута викривлення сітки. Викривлення сітки було проаналізовано за допомогою комп'ютерної томографії та оцінено через збільшення кута між нитками сітки.

Підвищена довжина зони деформації при прокатці перешкоджає руху внутрішніх шарів композиту вздовж напрямку прокатки за рахунок сили тертя. Так звана зона прилипання зміщує деформацію до виходу з валків, де осьове напруження розтягування швидко зростає. Такі умови полегшують розшарування між сусідніми шарами. Армовані композити демонструють кращі ударні властивості в порівнянні з неармованими. Прокатаний з обтисненням 40% армований композит показав приріст питомої енергії удару на 20% [5].

Викривлення кута сітки пропорційно збільшується до збільшення ступеня деформації на 0,33–0,68 градусів для кожного відсотка

деформації до досягнення 9%. Подальша деформація сітки призводить до її руйнування через затискання сітки між матрицями.

Визначена наявність мінімального значення ступеня деформації для кожного вузла сітки, після якого кут сітки починає деформуватися. Відповідні значення ступеня деформації залежить як від типу сітки, так і діаметра валків, причому тип сітки (плетена чи просічно-витяжна) не відіграє значної ролі у зміні інтенсивності кута викривлення. Зменшення діаметра валків веде до зменшення граничного ступеня деформації та збільшення викривлення сітки (до 30% при зменшенні діаметра валків в 2 рази) [6].

Використання саме просічно-витяжної сітки дозволяє зменшити ризик розриву в місцях перехрещення складових, що формують ґратки, завдяки меншому, ніж у плетеної сітки, коефіцієнту видовження ґратки [7].

Проміжні результати досліджень.

Розроблено метод розрахунку об'ємного вмісту армуючої фази та визначено технологічні параметри експериментальної прокатки-з'єднання для алюмінієвої матриці зі сплаву EN AW 1050 з армуванням просічно-витяжною сіткою зі сталей S235 та AISI 304, у тому числі заходи щодо мінімізації окислення під час нагріву заготовки перед прокаткою (550°C для алюмінієвої матриці).

В лабораторних умовах отримано зразки прокатаних композитів за визначеною технологією.

В програмному середовищі QForm UK створена модель процесу прокатки-з'єднання алюмінієвих композитів, армованих просічно-витяжною сіткою.

Перелік використаних джерел

1. Frolov Y., Haranich Y., Bobukh O., Remez O., Voswinkel D., Grydin O. Deformation of expanded steel mesh inlay inside aluminum matrix during the roll bonding. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 58. P. 857–867. DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.08.049.

2. Tao J., Khosravi H., Deshpande V., Li S. Engineering by Cuts: How Kirigami Principle Enables Unique Mechanical Properties and Functionalities. 2022. *Advanced Science*. 10. 2204733. DOI: /10.1002/advs.202204733.

3. Jin L., Forte A.E., Deng B., Rafsanjani A., Bertoldi K. Kirigami - Inspired Inflatables with Programmable Shapes. 2020. *Advanced Materials*. 32(33). 2001863. DOI: /10.1002/adma.202001863

4. Frolov Y., Stolbchenko M., Grydin O., Makeeva H., Tershakovec M. A., Schaper M. Influence of strain parameters at rolling on the properties of wire-reinforced aluminium composites. *International Journal of Material Forming*. 2018. 12(4), 505–518. DOI: 10.1007/s12289-018-1431-6.

5. Frolov Y., Nosko M., Samsonenko A., Bobukh O., Remez O. Roll bonding of Al-based composite reinforced with C10 steel expanded mesh inlay. *Metals*. 2021. 11(7):1044. DOI: 10.3390/met11071044.

6. Frolov Y., Bobukh O., Samsonenko A., Nürnberger F. Patterning of surfaces for subsequent roll bonding in a low-oxygen environment using deformable mesh inlays. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023. 7(5):158. DOI: 10.3390/jmmp7050158.

7. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the deformation parameters of the steel reinforcing phase inside the aluminum matrix during hot rolling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. Vol. 6. P. 84–89. DOI: 10.33271/nvngu/2022-6/084.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-70>

ON THE IMPORTANCE OF PRACTICING SKILLS CLOSE TO THE PRODUCTION PROCESS IN VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTIONS

ЩОДО ВАЖЛИВОСТІ ВІДПРАЦЮВАННЯ НАВИЧОК, НАБЛИЖЕНИХ ДО ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ, У ЗАКЛАДАХ ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

Kholodnyi V.Yu.,

*PhD (Engineering), Lecturer,
Higher Vocational School № 7
Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Холодний В.Ю.,

*к.т.н., викладач,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Pererva R.P.,

*Student (group ZV-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Перерва Р.П.,

*здобувач освіти гр. ЗВ-24-ФМБ,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Udovychenko M.O.,

*Student (group OM-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Удовиченко М.О.,

*здобувач освіти гр. ОМ-23-ФМБ,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Netesanna A.R.,

*PhD student, Kremenchuk
Mykhailo Ostrohradskyi
National University,
Kremenchuk, Ukraine*

Нетесанна А.Р.,

*аспірант, Кременчуцький
національний університет
імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна*