



<https://youtu.be/OWoTBGoavvY>

Твердофазне легування

Твердофазне легування дозволяє перетворювати низькосортні відходи матеріалів на сплави високої цінності завдяки можливості додавати строго дозовану кількість легувальних металів до відходів, отриманих у процесі металообробки. У цьому процесі високошвидкісне обертання інструмента та матриці створює інтенсивне тертя та локальне нагрівання, забезпечуючи пластичний плин матеріалу та тонке диспергування вихідних компонентів.

Сучасні технології твёрдосплавного легування включають такі процеси, як механічне легування, **FSP** (Friction Stir Processing), **FSW-based alloying**, а також **ShAPE** (Shear Assisted Processing and Extrusion). Вони дозволяють створювати високоміцні композиційні матеріали та нові сплави з точково заданими властивостями за значної економії енергії порівняно з традиційним плавленням. Наприклад, за допомогою твердофазного легування можна перетворити алюмінієвий брухт, змішаний з міддю, цинком і магнієм, у точно спроектований високоміцний матеріал на основі алюмінієвого сплаву.

Це означає, що попит на алюмінієві сплави буде більш зосереджений на ринку вторинних матеріалів, і вчені готуються до цього. Дослідження, опубліковане Тихоокеанською північно-західною національною лабораторією Міністерства енергетики США, показує, що алюмінієвий лом із промислових відходів може використовуватися для виробництва високоефективних металевих сплавів. Характеристики алюмінію порівнянні з аналогічними матеріалами, отриманими з первинного алюмінію, що вказує на те, що процес твердофазного легування може бути економічним способом виведення на ринок високоякісних матеріалів, отриманих з відходів металообробки.

Твердофазне легування — це процес модифікації властивостей металів і сплавів у твердій фазі шляхом введення легуючих компонентів без їх повного плавлення. Вони механічно вводяться в металеву матрицю через інтенсивне деформування, тертя, тиск або локальне нагрівання, достатнє для активації дифузії, але таке, що не приводить до плавлення вихідного матеріалу. У результаті формується дрібнодисперсна, рівномірно розподілена структура, що забезпечує підвищення міцності, жаростійкості, зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик.

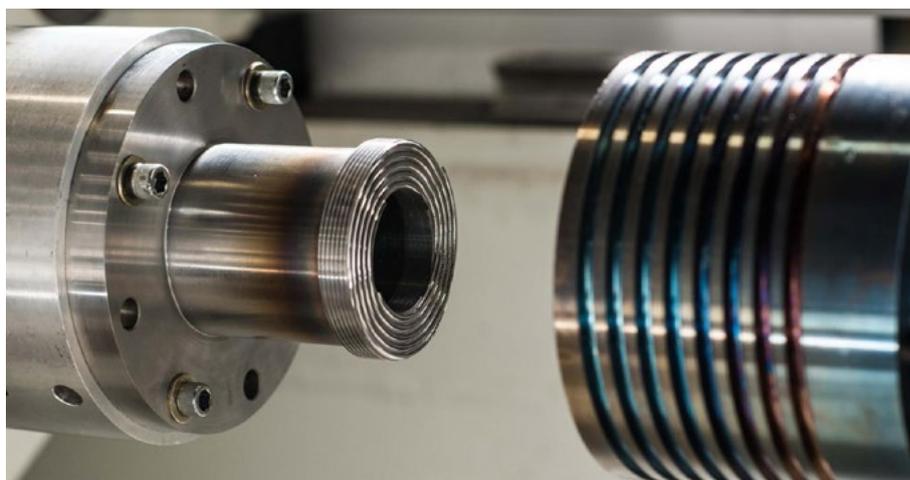
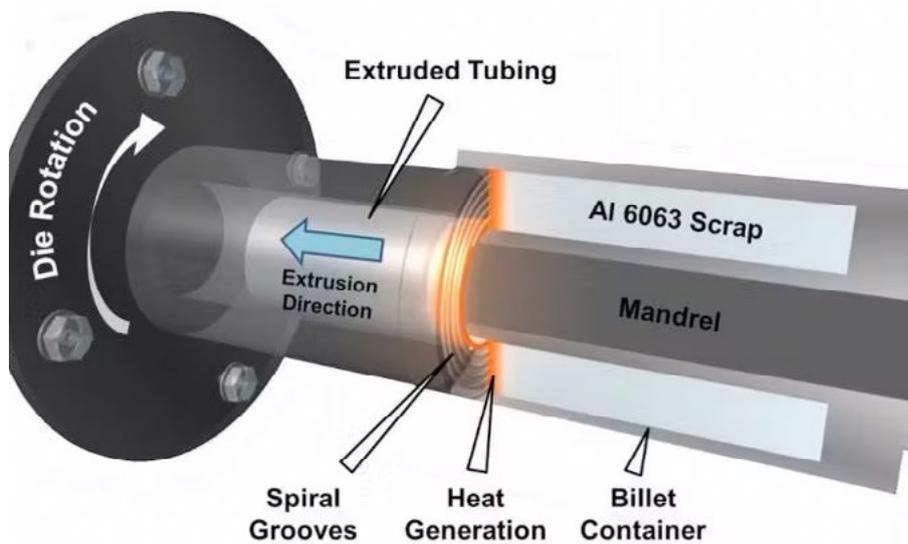
Дослідники підкреслюють як екологічні, так і виробничі переваги цього підходу. «Новаторство нашої роботи полягає в тому, що, додаючи строго дозовану кількість легуючих металів до алюмінієвої стружки, яка використовується як прекурсор, ми можемо перетворювати низькосортні відходи на матеріал високої цінності, — зазначає Сяо Лі, спеціаліст з матеріалів з Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) і провідний автор дослідження. — Ми досягаємо цього в рамках одного технологічного циклу, формуючи сплав за п'ять хвилин або менше».

Процес **твердофазного легування** дозволяє перетворити алюмінієвий лом, змішаний з міддю, цинком і магнієм, на високоміцний алюмінієвий сплав із заданими властивостями — і все це протягом кількох хвилин. Для порівняння: отримання аналогічного матеріалу традиційними методами, що включають плавку, лиття та подальшу екструзію, потребує кількох діб.

У своїй роботі команда використовувала запатентовану в Pacific Northwest National Laboratory технологію **Shear Assisted Processing and Extrusion** (ShAPE). Дослідники підкреслюють, що аналогічного ефекту можна досягти й іншими твердофазними технологіями переробки. В результаті високошвидкісного обертання



У процесі ShAPE компанії PNNL високошвидкісні обертоти матриці створюють тертя та тепло, які подрібнюють великі вихідні інгредієнти в однорідний сплав із тими ж властивостями, що й у виготовленого стандартним способом литого або формованого виробу з алюмінію.



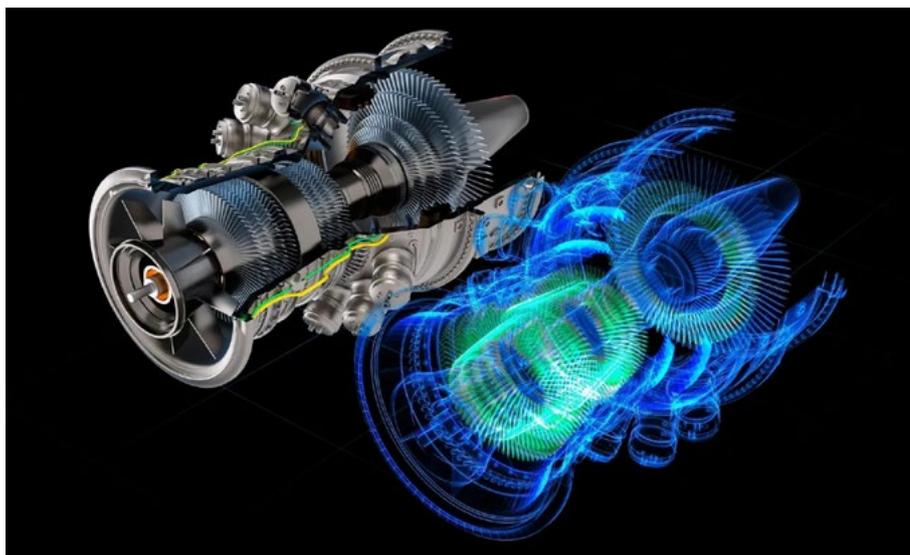
інструменту та матриці відбуваються інтенсивне тертя і локальний нагрів, які забезпечують пластичну течію матеріалу та тонке диспергування вихідних компонентів. При цьому формується однорідний сплав з характеристиками, порівнянними з продукцією, отриманою традиційним литтям або гарячою обробкою тиском. При цьому енергоємне повнооб'ємне плавлення повністю відсутнє, що додатково знижує собівартість та екологічне навантаження процесу.

Дослідники використовували механічні випробування та розширену візуалізацію для вивчення внутрішньої структури перероблених матеріалів, отриманих методом твердофазного легування. Результати показали, що сплав ShAPE формує особливу наноструктуру на атомному рівні, яка називається зонами Гіньє – Престона і підвищує механічну міцність металевих сплавів. Порівняно зі звичайним алюмінієм перероблений сплав на 200% міцніший і має вищі межі міцності на розрив. Ці характеристики можуть сприяти створенню більш довговічних і високопродуктивних виробів.

Виробники, зацікавлені у використанні більш високоякісних і термостійких матеріалів, можуть отримати значну користь від досліджень, проведених Національною лабораторією Еймса (Ames National Laboratory, Міністерство енергетики США, штат Айова). Ці роботи присвячені розробці **високотемпературних суперсплавів нового покоління**.

Реактивні та газотурбінні двигуни працюють за екстремальних теплових навантажень, тому конструкційні матеріали для них традиційно виготовляють із нікелевих або кобальтових суперсплавів — жаростійких систем, здатних витримувати температури близько **1000 °C** без втрати механічної міцності. Однак подальше підвищення енергоефективності вимагає експлуатації турбін за ще вищих температур, що виводить існуючі нікелеві та кобальтові сплави на межу їх термостійкості.

Дослідники Ames Lab розробили **новий багатоелементний сплав**, який потенційно може замінити традиційні суперсплави в газових турбінах — як авіаційних, так і енергетичних. Команда застосувала високопродуктивне обчислювальне моделювання, що дозволяє прогнозувати фазову стабільність, межу міцності, пластичність і жаростійкість сплавів на основі атомних комбінацій. Такий підхід забезпечує швидкий перебір тисяч варіантів хімічних складів, суттєво пришвидшуючи пошук оптимальних матеріалів.



Провідний дослідник Ніколас Аргібей зазначає, що сучасні газові турбіни досягають максимальної ефективності при температурах до **1400 °C**, і саме температурні обмеження традиційних суперсплавів стають критичним бар'єром для подальшого розвитку технологій. За словами вченого, існує близько дев'яти металів зі значно вищою температурою плавлення, ніж у нікелю та кобальту — так звані тугоплавкі

метали. Вони теоретично здатні витримувати екстремальні температури, проте в чистому вигляді зазвичай мають низьку пластичність, схильні до крихкого руйнування при кімнатній температурі, а їх обробка та формування в деталі надзвичайно ускладнені.

Дослідники бачать рішення у створенні **багатоелементних** (compositionally complex) сплавів. На відміну від традиційних систем, де один метал є базовим (наприклад, Ni або Co), багатоелементні сплави складаються з трьох і більше компонентів, причому жоден із них не перевищує 50% складу. Така структура приводить до формування унікальних атомних конфігурацій і фаз, що забезпечують «неочікувані та унікальні властивості», зокрема підвищену жаростійкість і стійкість до руйнування.

Оптимальні комбінації елементів дослідницька команда підбирала за допомогою обчислювальної платформи, розробленої Прашантом Сінгхом і Дуетом Джонсоном (Ames Lab). Ця система дозволяє моделювати та прогнозувати поведінку матеріалів на атомному рівні, що значно скорочує цикл розробки нових наджаростійких сплавів.

П. Сінгх пояснив, що при змішуванні більше трьох інгредієнтів число потенційних комбінацій зростає до мільйонів, що робить традиційний перебір варіантів практично неможливим. Д. Джонсон додав, що це завдання вдалося вирішити завдяки «методології, заснованій на теоретичному моделюванні та підтвердженій експериментальними даними». Такий підхід дозволяє цілеспрямовано визначати склади нових сплавів із заданими експлуатаційними властивостями.

Розроблений багатоелементний сплав демонструє суттєво більш високу стійкість до високо-температурної деформації порівняно з матеріалами, що застосовуються сьогодні. Це означає, що він здатний працювати за надвисоких температур без необхідності інтенсивного охолодження, що, своєю чергою, знижує енергетичні втрати та підвищує ефективність двигуна. Крім того, новий сплав має достатню пластичність при кімнатній та помірно підвищеній температурі, що дозволяє застосовувати промислові технології формоутворення та обробки, вже широко використовувані в галузі. 



The Central Asia Tools & Hardware Show is an international exhibition of tools, equipment, and finishing works in Kazakhstan

The exhibition provides a platform for learning about the latest trends, as well as for meeting and communicating with representatives of leading companies in the field of hand tools, power tools, furniture fittings and components, locks and accessories, welding equipment and materials, abrasives, cutting tools, building materials, chemicals, finishing materials, and occupational safety equipment.

June 16–18, 2026

Astana, Kazakhstan,
International Exhibition Center «EXPO»

100+
participants

10
countries

6000+
visitors

We invite you to take part in the exhibition!

For questions about participation, please contact us:

LLC «united expo» Tel.:  +90 536 810 68 98
E-mail: unitedexpou@gmail.com Сайт: centralasiatoolsshow.com

To participate,
scan the QR code

