

# СУЧАСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ГАРЯЧОГО ІЗОСТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ

## Вступ

Сучасне промислове виробництво значну увагу приділяє створенню нових машин та механізмів з високими робочими параметрами завдяки використанню деталей з високим рівнем технологічних і споживчих властивостей. Саме високощільні деталі відповідають таким вимогам та використовуються у галузі автомобілебудування, машинобудування, прокатки та ін.

Сьогодні існує велика кількість альтернативних методів отримання високощільних деталей з високими показниками технологічних та експлуатаційних властивостей. Вибір методу виробництва таких деталей залежить від їх розмірів, вимог та рівня фізико-механічних властивостей, та ін.

До того ж сучасний споживчий ринок високощільних виробів потребує деталей, щільність яких наближена до теоретичних значень, що можна досягти завдяки використанню нових технологій плавки та пресування під високим тиском [1].

Міцність деталей, отриманих порошковою металургією, у середньому менше литих, що пояснюється впливом структури матеріалу. З метою покращення експлуатаційних властивостей деталей, доцільно використовувати прогресивні технології пресування, які б задовольняли високим вимогам, що висуваються для підвищення довговічності та надійності деталей машин. Однією з перспективних технологій сьогодення є гаряче ізостатичне пресування (ГІП). За умови, досить високого розвитку апаратів високих та надвисоких тисків, та унікальності впливу, ізостатичне пресування має безумовні переваги у порівнянні з традиційними технологіями обробки металів тиском та температурою [2]. Але, через високу ресурсоемність, технологічність, вартість та не велику доступність обладнання, існує багато невирішених питань, пов'язаних як з фізикою процесу такої технології, так і з її впливом на матеріали, що обробляються. Тому актуальним є детальний аналіз існуючих методів ізостатичного пресування та розробки нових експериментальних установок ГІП, які дозволять отримати відповіді на невирішені питання науки в цій галузі.

## Постановка задачі

Метою роботи є детальне вивчення історії розвитку ізостатичного пресування. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розглянути існуючі методи барометричної і баротермічної обробки матеріалів;
- виявити галузі промисловості, в яких застосовується ГІП;
- вивчити вплив ГІП на властивості і структуру матеріалів, що обробляються.

## Історія розвитку ізостатичного пресування. Поняття баротермічної обробки

Основні досягнення в галузі високих тисків та їх впливу на властивості матеріалів відносяться до 30-х років ХХ-го століття в галузі теоретичної фізики та розвитку апаратів високого тиску. З наступним розвитком технологій і подальшим вивченням процесів обробки матеріалів високим та надвисокими тисками в середині двадцятого століття з'явилася методика, основним принципом якої стала барометрична обробка матеріалів у середовищі стиснутого газу або рідини. За своїм принципом рівномірності стискання матеріалу з усіх боків, ця методика отримала назву – ізостатичного пресування [23].

Головними параметрами барометричної обробки – є тиск, температура та час, які добираються таким чином, щоб у результаті впливу об'єкт набував максимальної або повної щільності. В сучасних установках ізостатичного пресування, залежно від цільового призначення, тиск та температури обробки можуть сягати відповідно 300 МПа і 3000 °С [4, 5].

Головними перевагами ізостатичного пресування є високі фізико-механічні характеристики матеріалів, що отримуються в результаті його впливу:

- рівномірність структури, щільності, текстури;
- мінімальні витрати, що, безумовно, дуже важливо під час обробки дорогих, жаротривких, токсичних або радіоактивних матеріалів;
- практично будь-яка складність форми виробів, які до того ж мають мінімальні потреби додаткової механічної обробки або, взагалі, відсутність необхідності до її проведення;
- унікальна можливість отримання різноманітних композиційних матеріалів.

Ізостатичне пресування потребує наявності високого тиску, яке створюється в ємностях стисненим інертним газом або рідиною. Тиснення відбувається або безпосередньо до виробу, який оброблюється, або до поверхні капсули, що містить порошок або рідину. Проблеми безпеки таких ємностей вирішувалися різними шляхами, завдяки чому багато роботи пророблено винахідниками для пошуку високих характеристик опору руйнуванню при циклічних

навантаженнях, тому сьогодні вони є практично безпечними.

Ізостатичне пресування існує двох типів – гаряче (ГП або НІР) та холодне (ХП або СІР). Установки ГП та ХП на прикладі обладнання QUINTUS шведської компанії ASEA показані на рис. 1. Холодне ізостатичне пресування відрізняється від гарячого відсутністю використання підвищених температур і проводиться у газовому або рідкому середовищі.

Технології ГП, як правило, використовуються для подальшої обробки ливарного виробництва деталей з металів або їх сплавів, або композиційних матеріалів. ХП використовується у випадках коли ГП технологічно не може бути застосоване для процесів ущільнення матеріалу. Наприклад, при виробництві вогнетривкої кераміки, обробки важких металів, тонкостінної кераміки, попереднього ущільнення металічних порошків тощо.

Практичне впровадження методу гарячого ізостатичного пресування спочатку було розроблене та використане в 1955 році колективом винахідників Battle Memorial Institute (США) для дифузійного зварювання під час виробництва тепловидільних елементів у ядерній промисловості та було назване «зварюванням тиском газу». З середини 1960-х років цю технологію почали широко застосовувати для усунення пор і мікродефектів у литих деталях [7].



*a*



*б*

**Рис. 1.** Обладнання QUINTUS шведської компанії ASEA: *a* – установка ГП; *б* – установка ХП [6]

Сьогодні ГП динамічно розвивається завдяки удосконаленню обладнання, що за останні 10–15 років дозволило суттєво зменшити вартість баротермічної обробки і значно сприяло розширенню сфери її застосування. Однак технологію ГП складно ввести у процес виробництва через його тривалість і неможливість безперервної роботи [7, 8].

Такі компанії як Howmet, PCC, Tiline (США), PCC France (Франція) і Tital (Германія) використовують ГП для обробки усієї номенклатури титанових виливків, які виробляються цими компаніями. Інші компанії, такі як Oremet, Rem Products (США), Titech International (Канада), Settas (Бельгія) і VMC (Японія) також використовують ГП у технологічному процесі виготовлення виливків та деталей [9].

#### **Підвищення технологічних та експлуатаційних властивостей деталей завдяки використанню методу ГП. Усунення ливарних дефектів**

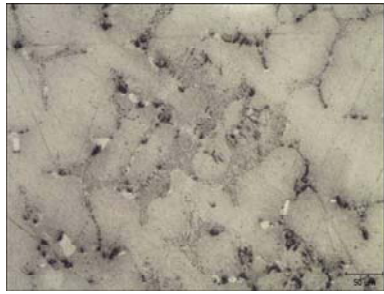
ГП дозволяє усунути цілу низку ливарних дефектів, а саме мікропори в об'ємі виливків, поверхневі та глибинні дефекти. В переважній більшості, важливою перевагою устаткування ГП – є усунення таких дефектів без необхідності використання додаткової термічної обробки, що в свою чергу дозволяє значно скоротити та спростити технологічний процес отримання кінцевого виробу. Використання ГП у виробництві дає можливість одночасної обробки достатньо великої партії виливків та значно скорочує витрати на рентгенівський контроль [10–12].

У даний час видалення дефектів методом ГП використовується в промислових масштабах для таких матеріалів, як нержавіюча сталь, титанові і алюмінієві сплави, а також нікелеві та кобальтові сплави. Однак ГП гарантує покращення механічних властивостей навіть для звичайної вуглецевої литої сталі, яка набуває механічні характеристики, аналогічні виробам, отриманих деформуванням. Алюмінієве литво після баротермічної обробки також підвищує пластичність і опір циклічному і термічному руйнуванню.

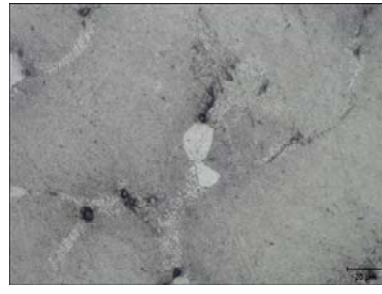
Видалення пористості поблизу поверхні виливків значно покращує якість механічно обробленої поверхні, надає високі показники зносостійкості.

Дуже розповсюджене використання технології баротермічної обробки в авіабудуванні як під час виготовлення відповідальних деталей, так і під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Під час виробництва литих робочих лопаток турбіни ГТД із жароміцного сплаву ЖС26-ВИ, навіть у процесі направленої кристалізації виникають внутрішні дефекти у вигляді мікропористості та усадкових дефектів (рис. 2) [13].



*a*



*б*

**Рис. 2.** Мікроструктура робочої лопатки із сплаву ЖС26-ВИ до обробки ГП: *a* –  $\times 200$ ; *б* –  $\times 500$

Дослідним шляхом доведено, що гаряче ізостатичне пресування при температурі 1250 °С та тиску 170 МПа сприяє підвищенню якості виробів за рахунок стабілізації структури та механічних властивостей у результаті усунення мікропористості (рис. 3).



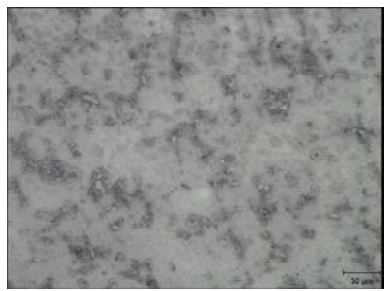
*a*



*б*

**Рис. 3.** Мікроструктура робочої лопатки із сплаву ЖС26-ВИ після процедури обробки ГП: *a* –  $\times 200$ ; *б* –  $\times 500$

Однак через збільшення щільності має місце виникнення локальних концентрацій у зонах «заліковування» мікропор та біля карбідів. У зв'язку з чим, для гомогенізації та релаксації напружень наведених у процесі ГП, а також підвищення структурної однорідності сплаву існує необхідність у додатковій стандартній термічній обробці при температурі 1265 °С упродовж 1 години 15 хвилин (рис. 4) [14].



*a*



*б*

**Рис. 4.** Мікроструктура робочої лопатки із сплаву ЖС26-ВИ після процедури обробки ГП та стандартної термічної обробки: *a* –  $\times 200$ ; *б* –  $\times 500$

Таким чином, вельми ефективна методика ГП і при відновленні турбінних лопаток, які є найбільш навантаженими деталями газової турбіни через високі температури робочого середовища та механічні навантаження. З часом ці несприятливі умови роботи змінюють мікроструктуру матеріалу лопаток, погіршуючи їх механічні характеристики. Операції з відновлення лопаток, які виробили свій ресурс, включають зварювання, термічну обробку, нанесення покриттів та ГП. Метою цих заходів є видалення порожнеч і тріщин та відновлення механічних властивостей лопаток до вихідного стану. Слід відзначити, що ГП у цьому випадку видаляє також і мікротріщини, які з'явилися при відновлювальному зварюванні.

Крім того, що технологія ГП ефективно бориться з можливими внутрішніми дефектами виливок, які виникають внаслідок виробництва або при відновлювальних процесах, баротермічна обробка дає можливість якісно змінювати структуру та покращення фізико-механічних властивостей матеріалів, що оброблюються.

Доречною є ГП при виробництві виробів з твердих сплавів, так, наприклад, під час обробки WC-Co, міцність на згин підвищується в середньому на 30% і досягає максимального значення 2500 Н/мм<sup>2</sup> при вмісті зв'язувального металу 10% [15].

Сучасні методи отримання алюмінієвих виливків не завжди забезпечують потрібну якість матеріалу деталей. Як показує практика, одним із шляхів підвищення експлуатаційної надійності роботи циліндропоршневої групи форсованих багатопаливних ДВС є застосування висококремністих алюмінієвих сплавів в якості матеріалу поршнів. Однак вилівки з цього сплаву, отримані литтям у кокіль, не можуть бути використані як заготовки важконавантажених поршнів, через низький рівень механічних властивостей матеріалу, а також наявності дефектів ливарного походження. Гаряча ізостатична обробка виливків, отриманих методом рідкого штампування дозволяє істотно підвищити комплекс механічних властивостей матеріалу АЛ-25 (межа міцності на 19,5 %, межа текучості на 17,2 %, відносне подовження на 29 %, твердість – без зміни) при оптимальних параметрах тиску 150 МПа, температурі 460 °С, витримці 3 г [16].

### Висновки

Завдяки отриманню високих показників механічних властивостей, усуненню цілої низки ливарних дефектів виробів після використання ГПП та вільному вибору у визначенні форми деталей дає можливість як оптимізації компонентів, отриманих з використанням звичайних технологій, так і створенню деталей, які не можуть бути вироблені іншими, традиційними способами. Завдяки цим перевагам, галузі застосування гарячого ізостатичного пресування швидко зростають і очікується, що протягом декількох років обсяги баротермічної обробки значно зростуть у різних галузях використання. Таким чином, ГПП доцільно використовувати для отримання відповідальних деталей та вирішення самих складних задач сучасного ливарного виробництва та матеріалознавства.

### Список літератури

1. Кондаков, А. И. Выбор заготовок в машиностроении / А. И. Кондаков. – М. : Машиностроение, 2007. – 560 с.
2. Atkinson H. V. Fundamental aspects of hot isostatic pressing: An overview / H. V. Atkinson, S. Davies // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2000. – Vol. 31(12). – P. 2981-3000. DOI: 10.1007/s11661-000-0078-2.
3. Appa Rao G. Effect of standard heat treatment on the microstructure and mechanical properties of hot isostatically pressed superalloy inconel 718 / G. Appa Rao, Mahendra Kumar, M. Srinivas, D.S. Sarma // *Materials Science and Engineering: A*. – 2003. – Vol. 355(1–2). – P. 114–125. DOI: 10.1016/S0921-5093(03)00079-0.
4. Influence of casting technique and hot isostatic pressing on the fatigue of an Al-7Si-Mg alloy / C.Nayhumwa, N. R. Green, J. Campbell // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2001. – Vol. 32(2). – P. 349–358. DOI: 10.1007/s11661-001-0266-8.
5. Yongquan Ning. Recrystallization of the hot isostatic pressed nickel-base superalloy FGH4096: I. Microstructure and mechanism / Yongquan Ning, Zekun Yao, M.W. Fu, Hongzhen Guo // *Materials Science and Engineering : A*. – 2011. – Vol. 528 (28). – P. 8065–8070. DOI: 10.1016/j.msea.2011.07.053
6. Изостатические прессы промышленного назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ruscastings.ru/files/file406.pdf>
7. Процессы изостатического прессования : сборник статей / под ред. П. Дж. Джеймса. – М. : Металлургия, 1990. – 192 с.
8. Romano E. The Effect of Liquid Hot Isostatic Pressing on Fatigue Properties of Al Based Castings / E. Romano, M. Rosso, C. Mus // *Metallurgical science and Technology*. – 2001. – Vol.19. – №1. – P. 21–27.
9. Eridon J. M. Hot Isostatic Pressing of Castings [Electronic resource] / J. M. Eridon // *ASM Handbook. Volume 15. Casting – Metals Park : ASM International, 1988. – P. 408–416. – ISBN 0871700212.*
10. Blair M. Predicting the Occurrence and Effects of Defects in Castings / M. Blair, R. Monroe, C. Beckermann et al. // *JOM*. – 2005. – № 5. – P. 29–34.
11. Сергиенко О. С. Влияние параметров процесса горячего изостатического прессования на структуру и свойства сплава ВТ20Л / О. С. Сергиенко, В. В. Ключихин // *Литейное производство*. – 2013. – №5. – С. 13–15.
12. Сергиенко О. С. Компьютерная модель ликвидации внутренних дефектов титановых отливок для определения оптимальной конфигурации компенсаторов / О. С. Сергиенко, В. В. Лунев // *Металл и литье Украины*. – 2014. – № 7(254). – С. 29–32.
13. Оспенникова О. Г. Повышение свойств жаропрочного сплава ЖС6У-ВИ путем горячего изостатического прессования и последующей термической обработки / О. Г. Оспенникова, М. Р. Орлов // *Материаловедение*. – 2007. – № 9. – С. 32–36.
14. Исследование материала отливок из жаропрочного никелевого сплава после горячего изостатического прессования и термообработки / [П. Д. Жеманюк, В. В. Ключихин, Н. А. Лысенко, В. В. Наумик] // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т. 3/12(63). – С. 21–25.
15. Schraven G. Isostatisch heissgepresste Hartmetalle / G. Schraven // *Indutrie-Anzeiger*. – 1978. – Vol. 100(21). – P. 25–28.
16. Чуйкова Е. В. Влияние параметров горячего изостатического прессования на свойства сплава АЛ-25, закристаллизованного под давлением / Е. В. Чуйкова // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2006. – № 33. – С. 29–31.

Одержано 03.06.2015

© М. В. Чечель

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

**Chechel M. The modern using of hot isostatic pressing**