

технологія, освіта, здоров'я: тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – С. 490.

8. Yevtushenko N. Application of digital technologies in activity educational institutions of higher technical education / Nataliia Yevtushenko, Olga Ponomarenko, Olga Sukhenko // Розвиток сучасної науки та освітності, інновації: матеріали 5-ї Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. – С. 380-383.

Євтушенко С. Д., Акімов О. В., Пономаренко О. І.

(Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

**ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ ПРИ ЛИТТІ
З КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ ПІД ТИСКОМ**

E-mail: stepanco.00@ukr.net

Лиття з кристалізацією під тиском є одним із сучасних і ефективних методів отримання виливків із високими експлуатаційними характеристиками. На відміну від традиційних способів лиття, де процеси кристалізації відбуваються в умовах атмосферного тиску, застосування зовнішнього тиску дозволяє значною мірою впливати на перебіг фізико-хімічних процесів у розплаві, а отже, на формування мікроструктури та кінцевих властивостей готових виробів. Цей метод особливо актуальний для сплавів кольорових і чорних металів, що використовуються у відповідальних галузях машинобудування, авіаційної та енергетичної техніки, де якість матеріалу відіграє ключову роль [1-2].

Основна особливість технології полягає в тому, що на розплавлений метал у процесі його охолодження і переходу в твердий стан діє підвищений тиск. Це забезпечує більш щільне заповнення форми, зниження ймовірності утворення усадкових раковин, газових пор та інших внутрішніх дефектів, які є характерними для лиття у звичайних умовах. Крім того, під дією тиску відбувається ущільнення кристалічної решітки металу, що сприяє утворенню дрібнозернистої рівномірної структури. Дрібнозернистість, у свою чергу, забезпечує підвищення механічних властивостей сплаву, таких як міцність, пластичність та ударна в'язкість.

Важливо відзначити, що формування структури при кристалізації під тиском суттєво залежить від таких факторів, як величина прикладеного тиску, швидкість охолодження розплаву, склад і властивості сплаву, а також параметри ливарної форми. Оптимальне поєднання цих чинників дозволяє керувати процесами зародження і росту кристалів, уникати появи грубозернистої неоднорідної структури та забезпечувати стабільність властивостей матеріалу по всьому об'єму виливка. Зокрема, високий тиск сприяє збільшенню кількості центрів кристалізації, що призводить до утворення рівномірної дрібнокристалічної структури з підвищеною щільністю [3].

Порівняння виливків, отриманих традиційним литтям і литтям з кристалізацією під тиском, показує, що останні мають суттєво кращі показники. Зменшення кількості газових включень і усадкових дефектів забезпечує підвищену герметичність та надійність деталей, що особливо важливо для корпусних елементів, які працюють під тиском. Також відзначається підвищення корозійної стійкості, що зумовлено зменшенням кількості структурних дефектів, які могли б слугувати осередками для розвитку корозійних процесів. Для відповідальних деталей машинобудування та авіаційної техніки такі властивості є вирішальними при виборі технології виготовлення [4].

Не менш важливим є вплив тиску на фазові перетворення в сплавах. У деяких випадках підвищений тиск може змінювати температуру кристалізації та характер утворення фаз, що дозволяє отримати нові комбінації структурних складових. Це відкриває додаткові можливості для цілеспрямованого регулювання властивостей матеріалу. Наприклад, в алюмінієвих і магнієвих сплавах спостерігається зменшення схильності до ліквіації та більш рівномірний розподіл легуючих елементів, що суттєво покращує експлуатаційні характеристики виробів.

Практичне застосування технології кристалізації під тиском показало її високу ефективність у виробництві деталей зі складною геометрією. Завдяки підвищеному тиску забезпечується якісне заповнення усіх тонких елементів форми без утворення недоливів, що часто трапляється при традиційному литті. Це дозволяє виготовляти деталі складної конструкції без додаткової механічної

обробки, що зменшує витрати часу і ресурсів. Водночас висока точність розмірів та якісна поверхня виливків роблять цей метод економічно вигідним для серійного виробництва.

Особливу увагу заслуговує вплив тиску на швидкість охолодження розплаву. Відомо, що різні ділянки вилівка охолоджуються з різною інтенсивністю, що може призводити до утворення неоднорідної структури. Використання тиску дозволяє частково вирівняти ці процеси, оскільки щільніший контакт розплаву з формою забезпечує рівномірніший теплообмін. Це важливо для деталей з товстими і тонкими стінками, де традиційне лиття часто супроводжується дефектами через нерівномірну кристалізацію [5].

З економічної точки зору технологія лиття з кристалізацією під тиском також має значні переваги. Хоча початкові витрати на обладнання та енергетичні ресурси є вищими, ніж при звичайному литті, загальні витрати на виробництво знижуються за рахунок скорочення обсягу механічної обробки, зменшення відходів і браку, а також подовження терміну служби виробів. У масовому та серійному виробництві ця технологія виявляється економічно доцільною і вигідною. Окремо варто зазначити перспективи розвитку цього напрямку. Сучасні дослідження спрямовані на поєднання процесу кристалізації під тиском з іншими методами, наприклад, із модифікуванням розплаву або використанням керованого охолодження [6]. Такі комбіновані технології дозволяють ще більш точно впливати на формування мікроструктури, забезпечуючи отримання унікальних властивостей матеріалу. Це відкриває шлях до створення нових сплавів із підвищеною міцністю, зносостійкістю та довговічністю [7].

Не менш важливим є екологічний аспект використання кристалізації під тиском. Завдяки зниженню рівня браку та зменшенню кількості відходів ливарне виробництво стає більш екологічно чистим. Крім того, триваліший строк служби деталей зменшує потребу у виробництві додаткових запасних частин, що також позитивно впливає на збереження ресурсів. У поєднанні з енергозберігаючими технологіями ця методика може стати основою для створення більш стійких і екологічно безпечних виробництв у майбутньому [8].

Отже, лиття з кристалізацією під тиском є перспективним методом виготовлення виливків зі сплавів різного складу. Воно забезпечує формування дрібнозернистої рівномірної структури, знижує кількість дефектів, підвищує міцнісні та експлуатаційні характеристики готових деталей. Завдяки цим перевагам технологія знаходить широке застосування в галузях, де пред'являються особливо високі вимоги до якості матеріалів і надійності виробів. Подальші дослідження у цьому напрямі пов'язані з оптимізацією параметрів тиску та охолодження, розробкою нових сплавів і вдосконаленням ливарного обладнання, що дозволить ще більше розширити можливості цього методу у промисловості.

Література

1. Євтушенко С. Д. Методи отримання виливків високої якості / С. Д. Євтушенко, О. В. Акімов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, осві-та, здоров'я: тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD–2025. – Харків: НТУ «ХП», 2025. – С. 379.
2. Євтушенко Н. С. Застосування статистичних методів для аналізу варіацій параметрів ливарних процесів / Н. С. Євтушенко, О. І. Пономаренко, В. О. Василець // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025. – Харків: НТУ «ХП», 2025. – С. 381.
3. Євтушенко С. Д. Методика вибору технології виготовлення виливків / С. Д. Євтушенко, О. І. Пономаренко, Н. С. Євтушенко // IX міжнародна науково-технічна конференція «Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві». – Краматорськ: ДДМА, 2023. – С. 49-51.
4. Ponomarenko O., Yevtushenko N., Akimov O., Vasilets V., Lopes H. (2025). Study of the Laws of Random Fluctuations in the Parameters of Foundry Processes and the Quality of Castings. Innovations in Mechanical Engineering IV. icieng 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1_36

5. Yevtushenko N. S. Simulation model of production management in foundry production / Yevtushenko N. S. // Інформаційні технології в сучасному світі: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. здобув. вищої освіти і молодих учених. – Харків, 2025. – Р. 433-434.

6. Ponomarenko O. (2024). Operation Control of Melting Furnaces in Foundry Workshops Using Simulation Models / Ponomarenko O., Yevtushenko N., Lysenko T., Yevtushenko S., Vorones V., Shelepko P., Vorobyov V. // In: Cioboată, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) – 2024. ICoRSE 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1129. Springer, Cham. (Scopus).

7. Ponomarenko O., Yevtushenko N., Saithareiev L., Yevtushenko S., Dzhanikian A. (2025). Modern Methods for Synchronizing the Operation of Subsystems of the Foundry Workshop. In: Ivanov, V., Silva, F.J.G., Trojanowska, J., Pinto, A.M.G. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95211-1_8

8. Євтушенко Н. С. Використання 3D-технологій для вдосконалення процесу лиття / Євтушенко Н. С., Пономаренко О. І., Масалітіна О. В. // Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах: зб. тез 17-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Запоріжжя, 2025. – С. 122-124.

Єфімова В. Г., Тимошенко Д. О.
(ТОВ «Технічний університет Метінвест політехніка», м. Запоріжжя)
ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗЧИНЕННЯ ЧАСТИНОК
НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ШЛАКУ ПРОМІЖНОГО КОВША
E-mail: yefimovavg@gmail.com

При виробництві чистої сталі у проміжному ковші важливе значення набуває вміст неметалевих включень у готовому продукту. Надмірна кількість включень може призвести до зниження якості сталевих заготовок. Включення утворюються в результаті окислення сталі при технологічних переливах, а також руйнуванні вогнетривких матеріалів та емульгуванні шлаку. Одним з найперспективнішим