

**ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ СПЛАВУ АМ4,5Кд (ВАЛ10)
ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ВПЛИВАМИ НА РОЗПЛАВ**

АНОТАЦІЯ. У статті досліджено вплив різних фізико-хімічних методів обробки алюмінієвого розплаву на тріщиностійкість виливків із сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10). Розглянуто технології модифікування титаном і цирконієм, вібраційної обробки, продування розплаву воднем і обробки ротором, що обертається. Показано, що модифікування титаном є найефективнішим методом підвищення тріщиностійкості, забезпечуючи 100% ефективність. Вібрація та воднева обробка також суттєво покращують характеристики, але мають певні обмеження. Аналіз результатів дозволяє обґрунтувати вибір технологічних прийомів для конкретних умов литва, зокрема для складних фасонних виливків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: тріщиностійкість, алюмінієві сплави, модифікування лігатурами, вібрація розплаву, воднева обробка.

Для запобігання утворенню гарячих тріщин, які є поширеною причиною браку при виробництві фасонних виливків із широкоінтервальних алюмінієвих сплавів, використовуються різні технологічні прийоми.

Досліджено вплив фізико-хімічних методів обробки розплаву на тріщиностійкість виливків, у тому числі: модифікування алюмінієво-титановою лігатурою у перерахунку на 0,15 % титану, отриманою з високою швидкістю охолодження; вібрації розплаву в процесі тверднення; водневої обробки розплаву шляхом продування паром води та обробки розплаву перед заливкою ротором, що обертається та охолоджує. Схильність сплаву до утворення тріщини оцінювали по спеціально розробленій пробі, що затверділа в чавунному кокіллі. Вона являє собою виливок у вигляді стрижня з заплічками (рис. 1).

Після утворення кристалічного каркасу та тверднення заплічків у виливку створюються напруження, що викликають появу гарячої тріщини. Всі виливки з вихідного розплаву тверділи з утворенням тріщини. У якості контрольних

зразків для порівняння міцності та пластичності використано виливки, що тверднуть у тому ж кокілі, за аналогічних умов живлення, але без утворення тріщини, бо отримані без заплічків. Для цього відповідні порожнини кокілю заповнювали мінеральною ватою.



Рис. 1. Фото виливка проби на тріщиностійкість

Вплив вібрації на тріщиностійкість здійснювали закріпленням кокілю проби на платформі (рис. 2), що вібривала з постійною в кожному експерименті амплітудою 0,2 мм і частотою в діапазоні від 4 Гц до 32 Гц. Вібрацію проби починали перед заливанням розплаву і закінчували через 1 хв після закінчення заливання. Температура розплаву, що заливали, складала 730 °С.

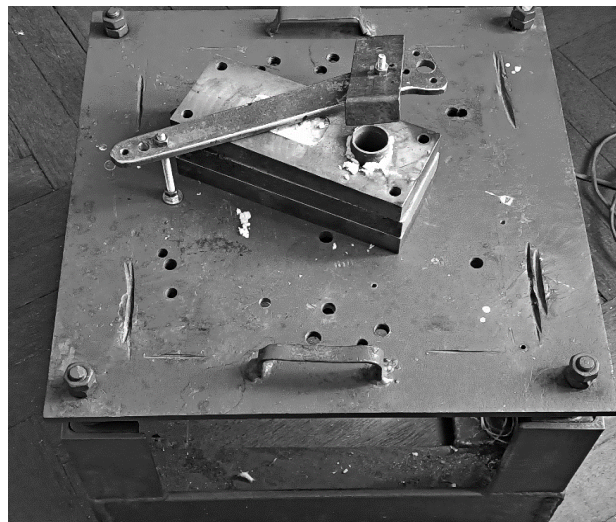


Рис. 2. Вібраційна платформа із встановленим кокілем проби на тріщиностійкість

Вплив модифікування титаном та цирконієм досліджували введенням до розплаву високоохолоджених ($V_{\text{охол}} \geq 10^3$ °С/с) лігатур AlTi5, AlZr10, одержаних на установці, описаній в [1]. Лігатури розплавляли в електричній печі опору СШОЛ-1,5 при температурі 750 °С, заливали в нагріту до 700 °С приймальну вирву

із вогнетривкої кераміки низької теплопровідності, через яку розплав потрапляв на мідний диск, що обертався із швидкістю до 3000 об/хв. У процесі його високошвидкісного охолодження отримували металеві переривисті стрічки товщиною від 100 мкм до 500 мкм.

Модифікування проводили в заливальному ковші, зануреному в розплав для запобігання зниженню температури. Кількість лігатур, введених до розплаву, у перерахунку на чисті метали складала відповідно 0,15 % титану, 0,25 і 0,05 % цирконію.

Обробку розплаву ротором [2], що обертався із швидкістю 800 об./хв. та охолоджував розплав, проводили у заливальному ковші, встановленому в обічайку, утеплену мінеральною ватою. Обробку розплаву ротором починали при температурі 685 °С. У процесі обробки температура розплаву знижувалася до 660 °С, після чого його заливали у кокіль проби на тріщиностійкість. Як контрольні зразки при температурі 660 °С було одержано два виливки без обробки розплаву ротором.

Водневу обробку здійснювали продуванням розплаву парами води за методикою, детально описаною в [3].

Ефективність кожного методу визначали за відсотком відношення кількості виливків без тріщини до загальної кількості виливків, одержаних з використанням вище означених методів фізико-хімічного впливу. Отримані дані представлено на рис.3.

На рис. 4 наведено середні показники для міцності, пластичності і пористості одержаних виливків, отриманих з використанням вище розглянутих методів впливу на розплав, та двох видів контрольних зразків з вихідного сплаву, що не піддавалися додатковому обробленню.

Зокрема, це максимально можливі в умовах експерименту для даного сплаву значення міцності та пластичності при мінімальних значеннях пористості (тверднення виливків у кокілі, що забезпечує достатнє живлення вилівка), а також дані, отримані на виливках, відлитих у кокіль проби на тріщиностійкість, порожнини заплічків якого були заповнені мінеральною ватою, тому ці виливки затверділи без утворення тріщини.

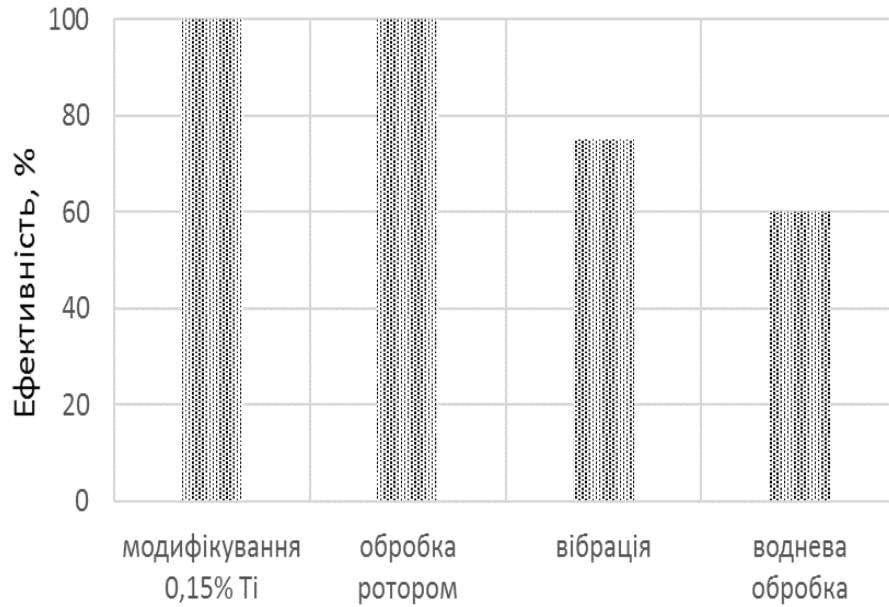


Рис. 3. Ефективність фізико-хімічних методів підвищення тріщиностійкості сплаву AM4,5Кд (ВАЛ10)

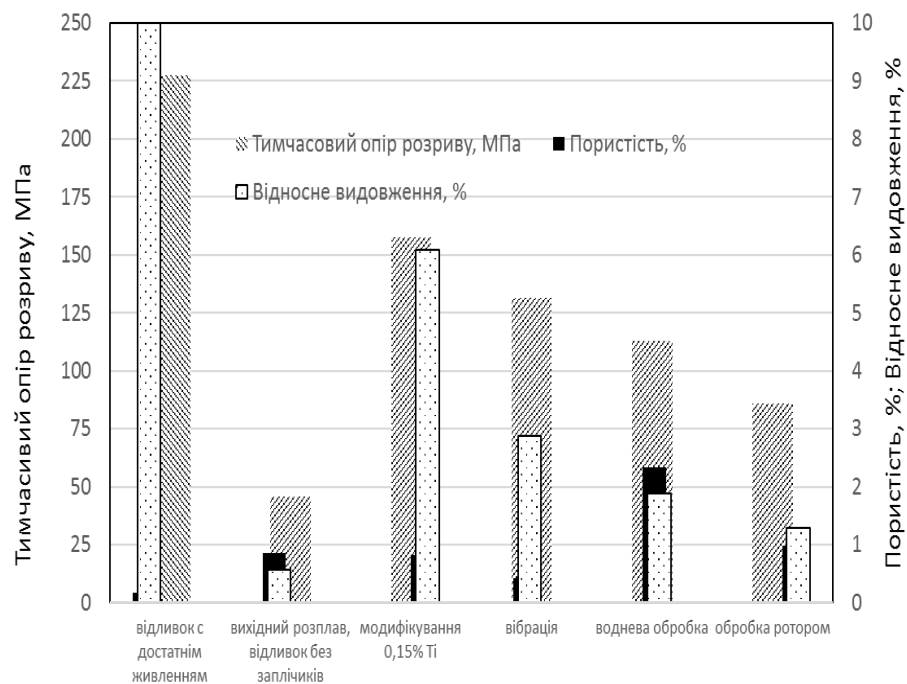


Рис. 4. Міцність, пластичність і пористість металу вилівка в залежності від методу підвищення тріщиностійкості

Максимальну міцність та пластичність при мінімальній пористості показали вилівки, отримані в кокілі з достатнім живленням. Вилівки, що

затверділи в пробі на тріщиностійкість без заплічків, мають низьку міцність та пластичність, що викликано не тільки високим значенням пористості через утруднене живлення вилівка, але й гострокутною формою газоусадкових дефектів: міждендритна пористість формується в утруднених умовах живлення і відіграє роль надрізів, концентраторів напружень, що значно знижує механічні властивості.

Модифікування титаном забезпечує 100-відсоткову ефективність тріщиностійкості та найвищий серед інших методів рівень міцності та пластичності. Проте він нижчий, ніж у виливків з достатнім живленням, бо рівень пористості практично не змінився.

Стовідсоткову ефективність показала і роторна обробка розплаву. Однак при цьому пористість перевищувала показник для контрольного вилівка без заплічків, за рахунок чого міцність та пластичність мінімальні серед усіх використаних методів. Ще одна можлива причина низьких показників міцності та пластичності – зміни структури під впливом даного виду обробки розплаву: зерна стають більш компактними, площа дотику гілок окремих дендритів зменшується.

Ефективність вібрації становить 75 %. Це пов'язано з поліпшенням живлення вилівка та посиленням процесу заліковування тріщин. Трохи менша ефективність при водневій обробці, при значному зростанні пористості порівняно з контрольними виливками, що обумовлено очікуваним ефектом заміни гострокутної міждендритної пористості, яка формується в умовах утрудненого живлення, округлими роз'єднаними порами.

Судячи з отриманих результатів, найбільш дієвим та технологічно простим методом підвищення тріщиностійкості виливків зі сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) є модифікування розплаву швидкоохолодженою дрібнокристалічною алюмінієво-титановою лігатурою.

За відсутності необхідного рівня якості виливків після модифікування, що можливе при отриманні фасонних виливків складної конфігурації із утрудненим живленням, яке супроводжується утворенням значних газоусадкових дефектів, доцільно додатково провести водневу обробку розплаву.

Модифікування дрібнокристалічними лігатурами, оброблення розплаву воднем і комбінація цих способів ефективні як при кокільному литті, так і при литті в піщані форми.

Використання вібрації можливе і раціональне лише за наявності спеціального обладнання, що тим складніше, чим більші маса і габарити вилівка. Недоліком цього способу є неможливість його реалізації при литті в піщані форми.

Обробка розплаву ротором, що обертається, має високу ефективність, але може бути застосовна лише у разі низьких вимог до механічних властивостей литва і лише для виливків нескладної геометрії, оскільки вимагає значного зниження температури заливання, що негативно позначається на процесі заповнення форми металом.

Отримані результати дозволяють здійснити обґрунтований вибір способів підвищення тріщиностійкості алюмінієвих виливків з урахуванням умов виробництва.

Література:

1. Пригунова А.Г. Управління структурою і властивостями ливарного алюмінієвого сплаву АМ4.5Кд (ВАЛ10) модифікуванням дрібнокристалічними лігатурами / А.Г. Пригунова, Є.А. Жидков, В.Д. Бабюк, Л.К. Шеневідько, Т.Г. Цір // *Металознавство та обробка металів.* – 2022. – т. 28 (103). -№ 3. – С. 3-17.
2. Головаченко В.П. Особливості тиксоформінгу високоміцного алюмінієвого сплаву ВАЛ10 в умовах імпульсного пресування / А.Г. Пригунова, Л.К. Шеневідько, Н.П. Ісайчева, М.В. Кошелєв, А.Г. Вернидуб // *Процеси лиття.* – 2022. – № 2 (148). – С.3–11.
3. Белік В.І. Фізико-хімічні методи підвищення тріщиностійкості сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10). Повідомлення 3: Вплив водневої обробки на тріщиностійкість // *Процеси лиття.* – 2023. – № 4 (154). – С. 3–24.



ABSTRACT The article investigates the effects of various physico-chemical methods for treating aluminum melt on the crack resistance of castings made from AM4.5Cd (VAL10) alloy. The technologies examined include titanium and zirconium modification, vibrational treatment, hydrogen purging, and rotary melt treatment. It is demonstrated that titanium modification is the most effective method, ensuring 100% efficiency in improving crack resistance. Vibration and hydrogen treatment also significantly enhance performance but have certain limitations. The analysis of the results enables a justified selection of technological approaches for specific casting conditions, particularly for complex-shaped castings.

KEYWORDS: crack resistance, aluminum alloys, ligature modification, melt vibration, hydrogen treatment.