

В.І. Белік, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.; e-mail: belikvi@ukr.net;

ORCID: 0000-0001-8212-3159

А.Г. Пригунова, д-р техн. наук, зав. відділу; e-mail: adel_nayka@ukr.net;

ORCID 0000-0001-8030-9160

А.С. Нурадинов, д-р техн. наук, пров. наук. співроб.; e-mail: nla_73@ukr.net;

ORCID 0000-0002-7286-8648

В.Ю. Шейгам, наук. співроб.; e-mail: onmlptima@ukr.net

В.Д. Бабюк, наук. співроб.; e-mail: vdbptima@ukr.net;

ORCID 0009-0004-5650-1186

Є.А. Жидков, наук. співроб., e-mail: ezh71@ukr.net;

ORCID 0009-0003-1623-5314

В.П. Головаченко, наук. співроб.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ СПЛАВУ АМ4,5КД (ВАЛ10). ПОВІДОМЛЕННЯ 4: ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВПЛИВІВ НА РОЗПЛАВ

Досліджено ефективність способів підвищення тріщиностійкості сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10), серед яких: модифікування швидкоохолодженими ($V_{\text{охол.}} \geq 10^3 \text{ } ^\circ\text{C/с}$) лігатурами, вібрація в процесі тверднення виливка, обробки розплаву воднем і обертотим охолоджуючим ротором. Для досягнення поставленої мети розроблено спеціальну пробу. Її конструкція дозволяє оцінювати схильність сплаву до тріщиноутворення за розміром і конфігурацією гарячої тріщини у виливку, виготовляти зразки для механічних випробувань, що сприяє визначенню продуктивних способів підвищення його тріщиностійкості та властивостей при різних фізико-хімічних впливах на рідкий стан. Сукупність застосованих у роботі методик дозволила отримати дані щодо ефективності досліджуваних способів впливу, яку розраховували за відношенням кількості виливків, що затверділи без тріщини, до загальної кількості виливків, отриманих із використанням тієї чи іншої дії на розплав, спрямованої на запобігання утворенню тріщини. Схильність сплаву до тріщиноутворення, його міцність і пластичність після рідкофазного оброблення порівнювали між собою, а також із контрольними зразками, отриманими в даній пробі за умов, що виключають формування гарячої тріщини, та в кокilі, який забезпечує хороше живлення виливка. Отримані результати можна використовувати в практиці ливарного виробництва для обґрунтованого вибору способу підвищення стійкості до тріщин залежно від технологічних можливостей підприємства та особливостей технології лиття на даному підприємстві. Зокрема, 100-відсоткову ефективність показало модифікування швидкозакристалізованою алюмінієво-титановою лігатурою із розрахунку введення до розплаву 0, 15 % титану, а також оброблення розплаву ротором. При цьому в першому випадку міцність і пластичність литого металу значно вищі, ніж у другому, і вищі, ніж при використанні інших досліджених способів.

Ключові слова: сплав АМ4,5Кд (ВАЛ10), гарячі тріщини, проба на тріщиностійкість, фізико-хімічні впливи на розплав, виливок, міцність, пластичність.

Вступ

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

У даній роботі проведено порівняльний аналіз ефективності відомих способів підвищення тріщиностійкості та показників міцності й пластичності литого металу фізико-хімічними діями на розплав.

Постановка проблеми. Відомо безліч методів підвищення тріщиностійкості литих виробів [1]. Доцільність використання кожного з них визначається його ефективністю та особливостями технологічних процесів, що застосовуються на конкретному виробництві. Вибір оптимального способу здійснюється найчастіше простим перебором відомих варіантів. Слід урахувати, що кожен із них, підвищуючи стійкість до утворення тріщин, одночасно так чи інакше впливає на процеси живлення і структуроутворення, що позначається на механічних властивостях литого металу. Отже, оптимальним є варіант, який забезпечує не тільки достатню стійкість до виникнення тріщин, але й збереження необхідного рівня механічних характеристик.

Вочевидь, що той чи інший рівень ефективності відомих методів із підвищення тріщиностійкості залежить від особливостей технологічного процесу, які можуть суттєво відрізнятися. Тому дані, отримані в цій роботі, які дозволяють провести порівняльний аналіз декількох методів при отриманні виливки в однакових умовах в поєднанні з визначенням їх механічних властивостей, що забезпечуються при використанні кожного з цих методів, можуть стати підґрунтям об'єктивного вибору напряму боротьби з тріщинами в конкретних умовах виробництва.

Об'єкт та методика дослідження. При отриманні фасонного виливка складної конфігурації, особливо із широкоінтервального сплаву, яким є AM4,5Kd (ВАЛ10), створення умов живлення, що дозволяють виключити появу газоусадкових дефектів, практично неможливо або економічно недоцільно. Зазвичай такі дефекти допустимі, якщо вони відчутно не позначаються на експлуатаційних властивостях виробу. Недостатнє живлення виливка посилює дію розтягуючих напружень, які спричиняють утворення тріщини, оскільки ускладнюється процес її заліковування. У роботі використано спеціально розроблену пробу [2], при твердненні виливка в якій вплив вище означених негативних факторів практично відсутній. Крім того, її застосування дозволяє отримувати зразки для дослідження міцності й пластичності безпосередньо з тіла виливка цієї проби. За її допомогою оцінено ефективність таких методів боротьби з тріщиноутворенням, як модифікування, вібрація, обробка розплаву охолоджуючим ротором, що обертається, і воднева обробка (ВО) розплаву. Фото виливка, одержаного із використанням розробленої проби, представлено на рис. 1.



Рис. 1. Фото виливка проби на тріщиностійкість

Після утворення кристалічного каркасу і тверднення заплічків у виливку створюються напруження, що викликають появу гарячої тріщини. Як контрольні зразки 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.

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

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 [3]. 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 зі швидкістю до 3000 об./хв. У процесі його високошвидкісного охо-

лодження отримували металеві переривисті стрічки товщиною від 100 мкм до 500 мкм.

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

Обробку розплаву ротором [4.], що обертався зі швидкістю 800 об./хв. та охолоджував розплав, проводили у заливальному ківші, встановленому в обичайку, 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 кокіл проби на тріщиностійкість. Як контрольні зразки при температурі 660 °С було одержано два виливки без обробки розплаву ротором.

Водневу обробку здійснювали продувкою розплаву парами води за методикою, детально описаною в [5].

Щільність і пористість отриманих виливків заміряли методом гідростатичного зважування. З виливків, що затверділи без утворення тріщини, виготовляли зразки для механічних випробувань. Розмір зерен твердого розчину алюмінію визначали металографічним методом на шліфах, поверхню яких травили реактивом: 5 % HF, 30 % HNO₃; 65 % H₂O.

Результати дослідження та їх обговорення. На рис. 3 представлено дані величини пористості та міцності виливків залежно від частоти вібрації при твердненні виливка. Контрольні виливки (без заплічків) із нульовим значенням частоти отримано в попередніх експериментах [2]. Для зручності аналізу одержаних результатів ці дані також розміщено на графіку. Виливки, рівень міцності яких позначено як нульовий, затверділи з утворенням тріщини.

У шести випадках із восьми, тобто в 75 %, вібрація позитивно позначилася на тріщиностійкості сплаву — тріщину було усунено. Показник міцності становив від 106,3 МПа до 155,3 МПа, що значно (у 2–3 рази) перевищує міцність зразків без заплічків, отриманих без вібрації, — у цьому випадку максимальне значення міцності досягло лише 54,5 МПа.

У попередніх дослідях [2] встановлено, що пористість 70 % виливків, отриманих із вихідного необробленого сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10), що затвердів з утворенням тріщини, перебуває в діапазоні 0,75–1,0 %. На осі ординат (див. рис. 3) відкладено величини пористості виливків, отриманих у [2] без заплічків та контрольних виливках даного експерименту. Вони перебувають у діапазоні 0,8–0,87 %.

Із восьми виливків, що тверділи під дією вібрації, у двох утворилася тріщина; пористість однієї з них вище діапазону для контрольних виливків, пористість іншої — нижче, як і решти шести виливків без тріщини. Чіткої залежності зростання показника міцності із зменшенням пористості немає. Можна лише стверджувати, що вібрація покращує живлення виливків.

Оскільки вібрація могла вплинути на структуру литого металу, проведено дослідження впливу вібрації на величину зерна в осьовій зоні виливка та на наявність тріщин (табл. 1).

Представлені дані свідчать, що тверднення виливка під впливом вібрації супроводжується укрупненням зерна. Середня величина зерна у виливках за відсутності тріщини вища, ніж за її наявності.

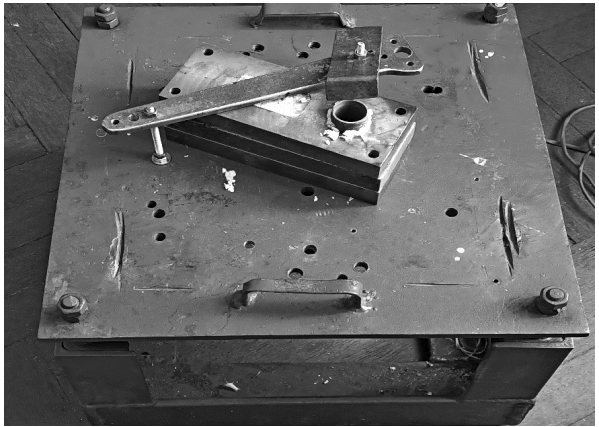


Рис. 2. Вібраюча платформа зі встановленим кокілом проби на тріщиностійкість

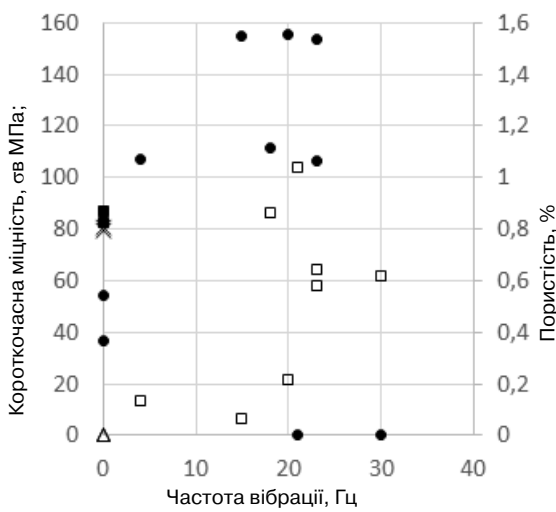


Рис. 3. Вплив частоти вібрації на пористість та короточасну міцність: ● — короточасна міцність; ■ — пористість виливків, отриманих без заплічків і вібрації; □ — пористість виливків, що тверділи під дією вібрації; X, Δ — пористість та короточасна міцність контрольних виливків (без вібрації)

Таким чином, вібрація виливка в процесі заливки й тверднення з амплітудою 0,2 мм підвищує стійкість до утворення тріщин у діапазоні частот від 4 до 23 Гц. На думку автора роботи [1], механізм цього явища полягає в посиленні заліковування усадкових тріщин при вібрації. Проте в тій же роботі другою причиною підвищення тріщиностійкості називається «подрібнення зерна та усунення зони стовпчастих кристалів». Оскільки в наших експериментах зафіксовано зворотний процес — укрупнення зерна. Це питання потребує детальнішого дослідження.

Разом із підвищенням тріщиностійкості вібрація викликає зростання міцності литого металу в два-три рази порівняно з виливками, отриманими без тріщин в умовах усунення гальмування усадки заплічками. Причиною

Таблиця 1
Вплив вібрації на величину зерна

Маркування зразка	Наявність вібрації, +/-	Наявність тріщини	Размір зерна, мм
62	—	—*	0,333
70			0,32
середня величина зерна			0,327
92	+	—	0,57
94			0,457
97			0,415
середня величина зерна			0,481
91	+	+	0,384
98			0,374
96			0,394
середнє значення величини зерна			0,384

* Примітка: зразки отримано без заплічків

є поліпшення живлення виливків за рахунок вібрації, що сприяє надходженню розплаву не тільки в тріщину, але й у газоусадкові порожнечі.

Результати впливу модифікування розплаву АМ4,5Кд (ВАЛ110) швидко охолодженими лігатурами на тріщиностійкість, пористість і характеристики міцності та пластичності литих зразків наведено у табл. 2.

Встановлено, що середній розмір зерна у виливках з вихідного розплаву становить 0,45 мм, модифікування титаном зменшило його до 0,26 мм, цирконієм — лише до 0,4 мм, тобто практично не змінило. Крім того, модифікування титаном позитивно вплинуло на тріщиностійкість. Можна відзначити, що міцність і пластичність, максимальні значення яких отримано при температурі модифікування 727 °С,

Таблиця 2

Вплив модифікування на тріщиностійкість, механічні властивості та параметри структури сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10)

Маркування зразка	Вид модифікатора	T введення модифікатора, °C	T заливки, °C	Наявність тріщини, +/-	Пористість, %	σ _в , МПа	δ, %	Розмір зерна, мм
111	Ti, 0,15 %	727	727	—	0,88	205,9	11,75	0,23
112		742	732		0,80	170	5,23	0,279
113		767	735		0,78	96,4	0,89	0,275
114	Zr, 0,25%	750	735	+	1,18			0,411
115	Zr 0,05%	758	730		0,88			0,403

зменшуються зі зростанням температури. Їх мінімальні значення зафіксовано при температурі модифікування 767 °C, що, ймовірно, пов'язано з деактивацією при підвищенні температури центрів кристалізації, внесених до розплаву дрібнокристалічною лігатурою.

Ефективність оброблення розплаву ротором на тріщиностійкість, пористість, механічні та структурні характеристики сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Ефективність обробки розплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) ротором

Маркування	Вид обробки	Наявність тріщини	Пористість, %	σ _в , МПа	δ, %	Зерно, мм
200	без обробки	+	0,98	0	0	0,298
201	обробка ротором	—	0,94	96,9	0,99	0,288
202			1,14	115,4	2,41	0,268
203			0,88	44,9	0,45	0,271
204	без обробки	+	0,81	0	0	0,254

Результати табл. 3 свідчать, що в усіх проведених експериментах обробка розплаву ротором, який обертається, приводить до підвищення тріщиностійкості сплаву. Привертає увагу низький рівень міцнісних і пластичних властивостей обробленого та вихідного розплаву, характерний для виливків проби на тріщиностійкість, отриманих без заплічків: максимальне значення міцності для таких виливків досягло лише 54,5 МПа.

У більшості випадків значення пористості при цьому трохи вищі за середні для проби на тріщиностійкість як для обробленого, так і для вихідного розплаву. Це дає змогу зробити висновок, що причиною позитивного впливу даного способу обробки розплаву може бути зміна структури виливка. Про це свідчать мікроструктурні дослідження зразків до і після роторної обробки розплаву, наведені на рис. 4. Незважаючи на те що в даному експерименті середній розмір зерна у вихідному сплаві становив 0,28 мм, а після обробки ротором — 0,27 мм (тобто він майже не змінився), відзначимо, що вихідному сплаву притаманні окремі крупні дендритні та розеткоподібні кристали, тоді як після роторної обробки елементи структури мають більш компакту форму. Змінюється морфологія кристалів твердого розчину алюмінію, а їх розмір характеризується меншим відхиленням від середнього значення. Відомо [1], що зі зменшенням розміру зерна знижується температура утворення каркаса, тобто температура початку лінійної усадки та її величина, що є основною причиною підвищення тріщиностійкості.

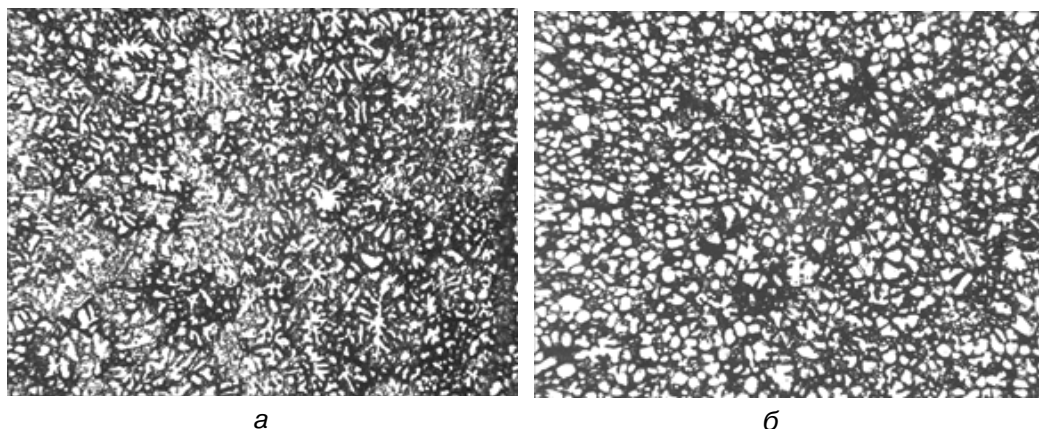


Рис. 4. Вплив роторної обробки розплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) на структуру виливка проби на тріщиностійкість: а — вихідний сплав; б — після роторної обробки

Узагальнюючі дані впливу фізико-хімічних способів оброблення розплаву, у тому числі ВО, на тріщиностійкість наведено на рис. 5. Їх ефективність, яку оцінювали як відсоткове відношення числа виливків з усуненою тріщиною до повного числа виливків, отриманих із використанням того чи іншого способу рідкофазної дії, найбільш висока при модифікуванні розплаву дрібнокристалічною алюмінієво-титановою лігатурою та при роторній обробці.

На рис. 6 представлено середні значення механічних властивостей, пористості двох видів контрольних виливків із вихідного необробленого сплаву за різних умов їх тверднення, а також виливків проби на тріщиностійкість залежно від способів оброблення сплаву в рідкому стані.

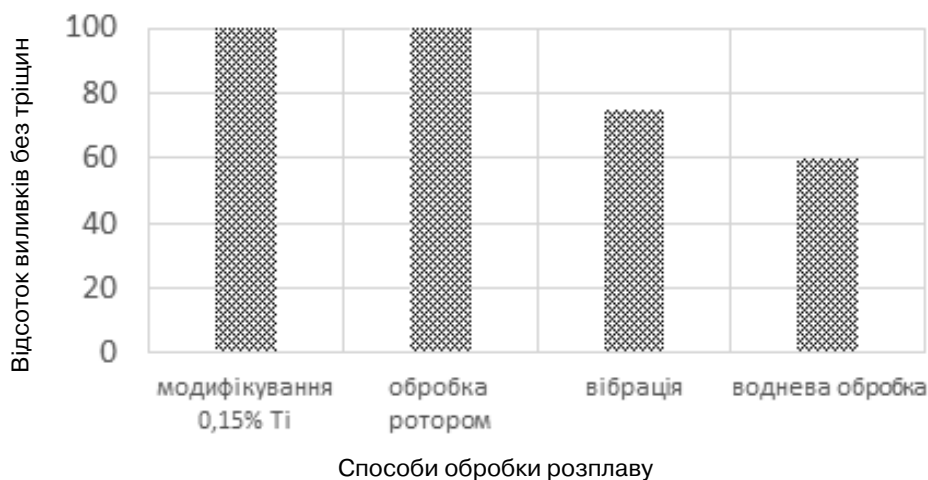
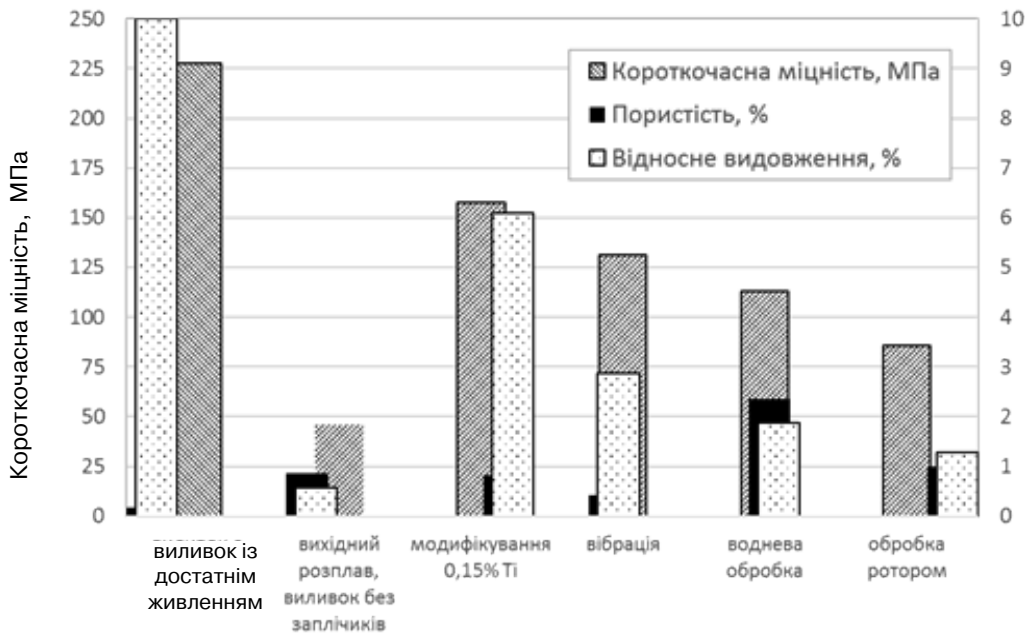


Рис. 5. Ефективність методів підвищення тріщиностійкості

Максимальну міцність та пластичність при мінімальній пористості мають контрольні виливки, отримані в кокілі з достатнім живленням (див. рис. 6), що зумовлено низькою пористістю, тобто малим сумарним об'ємом газоусадкових дефектів. Контрольні виливки проби на тріщиностійкість із вихідного сплаву, які отримані без заплічків, характеризуються мінімальними міцнісними та пластичними властивостями. Останнє спричинено високим значенням пористості через утруднене живлення виливків та гострокутну форму газоусадкових дефектів, оскільки міждендритна пористість



Умови тверднення та способи обробки розплаву

Рис. 6. Міцність, пластичність і пористість виливків проби на тріщиностійкість залежно від методу обробки розплаву та контрольних зразків, одержаних за різних умов тверднення

формується в утруднених умовах живлення та відіграє роль надрізів, концентраторів напружень, що значно знижують механічні властивості. Крім того, не виключено, що швидкість охолодження в зонах локалізації тріщин проби на тріщиностійкість нижча, ніж у виливка з достатнім живленням, товщина кокілю якого в зоні формування виливка становить 20 мм, тоді як у пробі на тріщиностійкість товщина утепленої мінеральною ватою стінки кокілю в зонах локалізації дорівнює 3 мм. Імовірно, це зумовило формування більш крупнозеренної структури виливка, ніж при твердненні проби з достатнім живленням, що також вплинуло на розглянуту вище різницю міцності та пластичності обох видів контрольних виливків.

Модифікування титаном приводить до найбільшого збільшення міцності і пластичності, проте ці показники не перевищують властивостей виливка з достатнім живленням. Причина полягає у рівні пористості, що практично не змінився. Зафіксоване при цьому подрібнення структури (див. табл. 2) стало основним фактором підвищення тріщиностійкості. Згідно з роботою [1], подрібнення зерна сприяє підвищенню пластичності в інтервалі крихкості, збільшуючи рівень перепаду температур, при якому лінійна усадка здійснюється за рахунок проковзування зерен одне щодо одного. Дійсно, із суто геометричних міркувань зрозуміло, що при рівній масі дотичних зерен, розташованих в одну лінію, у випадку дрібніших зерен довжина лінії буде більшою. Як видно з рис. 5, у 100 % випадків результатом модифікування титаном стало усунення тріщин.

Аналогічну ефективність має роторна обробка розплаву (див. рис. 5). Однак показники механічних властивостей найнижчі серед усіх використаних методів (див. рис. 6). Можлива причина — зміни структури під впливом даного виду обробки розплаву: зерна стають більш компактними, площа дотику гілок окремих дендритів зменшується. До того ж пористість виливків у даному випадку перевершує пористість контрольних виливків без заплічків. Вона найбільша серед досліджених методів за умови відсутності газонасичення. Це може бути пов'язано з погіршенням живлення через зниження температури заливки до 660 °С, що на 70 °С нижча, ніж при використанні всіх інших способів.

Наступною за показниками міцності, пластичності та підвищення тріщиностійкості виливків є вібрація. Її ефективність становить 75 % (див. рис. 5). Вона досягається за рахунок поліпшення живлення вилівка, що посилює процес заліковування тріщин, який є одним із важливих факторів підвищення тріщиностійкості [1].

Незважаючи на збільшену в декілька разів (порівняно з контрольними зразками з вихідного розплаву) пористість виливків після ВО, їх міцність і пластичність у 2—3 рази вищі за контрольні значення, хоча нижчі, ніж у випадку застосування вібрації. Причина полягає в заміні гострокутної міждендритної пористості, що формується в умовах утрудненого живлення, округлими роз'єднаними порами. Зони утворення пористості у виливках проби на тріщиностійкість із вихідного та газонасиченого розплаву наведено на рис. 7.

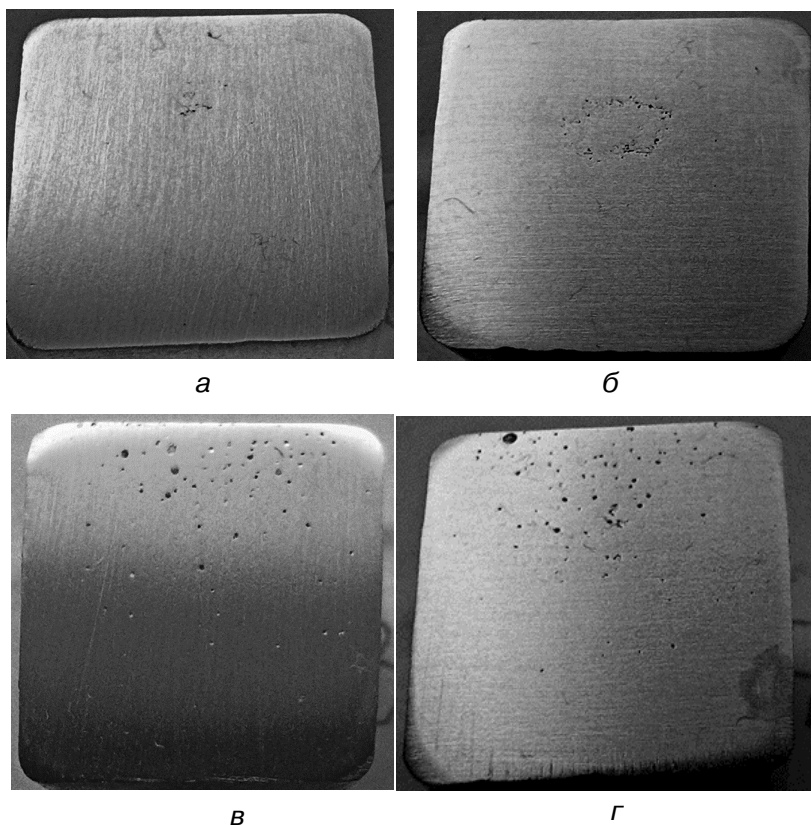


Рис. 7. Характер та величина пористості виливків проби на тріщиностійкість залежно від ВО: а, б — вихідний розплав, а — пористість виливка 0,8 %, б — 0,62 %; в, г — воднева обробка розплаву; в — тривалість ВО 30 с, г — 20 с; в — тривалість витримки після ВО 10 с, г — 22 с; в — пористість виливка 4,2 %, г — 4,4 %

Висновки

- Надійним, дієвим і 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 з утрудненим живленням, яке супроводжується утворенням значних газоусадкових дефектів, доцільно додатково провести водневу обробку розплаву.

- Модифікування дрібнокристалічними лігатурами, оброблення розплаву воднем і комбінацією цих способів ефективне як при кокільному литті, так і при литті в піщані форми.

- Використання вібрації можливе та раціональне лише за наявності спеціального обладнання, що тим складніше, чим більші маса й габарити виливка. 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 при низьких вимогах до механічних властивостей лиття і тільки для виливків нескладної геометрії, оскільки вимагає значного зниження температури заливки, що негативно позначається на процесі заповнення форми металом.
- Отримані результати дозволяють здійснити обґрунтований вибір способів підвищення тріщиностійкості алюмінієвих виливків з урахуванням умов виробництва.

Список літератури

- 1 Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. Москва: «Наука», 1966, 300 с.
- 2 Белік В.І. Фізико-хімічні методи підвищення тріщиностійкості сплаву АМ4,5КД (ВАЛ10). Повідомлення 2: Розробка проби на тріщиностійкість. *Процеси лиття*. 2023. № 3 (153). С. 18–24.
- 3 Пригунова А.Г., Жидков Є.А., Бабюк В.Д., Шеневідько Л.К., Цір Т.Г. Управління структурою і властивостями ливарного алюмінієвого сплаву АМ4.5Кд (ВАЛ10) модифікуванням дрібнокристалічними лігатурами. *Металознавство та обробка металів*. 2022. Т. 28 (103). № 3. С. 3–17.
- 4 Головаченко В.П., Шеневідько Л.К., Ісайчева Н.П., Кошелєв М.В., Вернидуб А.Г. Особливості тиксоформінгу високоміцного алюмінієвого сплаву ВАЛ10 в умовах імпульсного пресування. *Процеси лиття*. 2022. № 2 (148). С. 3–11.
- 5 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.

Надійшла 29.01. 2024

References

- 1 Novikov I.I. Hot brittleness of non-ferrous metals and alloys. Moskva: "Nauka", 1966, 300 p. [in Russian].
- 2 Belyk V.I. Physico-chemical methods of increasing the crack resistance of AM4.5KD (VAL10) alloy. Message 2: Development of a test for crack resistance. *Casting processes*. 2023. No. 3 (153). P. 18–24 [in Ukrainian].
- 3 Prigunova A.H., Zhidkov E.A., Babiuk V.D., Shenevidko L.K., Tsir T.G. Management of the structure and properties of cast aluminum alloy AM4.5Kd (VAL10) by modification with fine crystal ligatures. *Metallurgy and metal processing*. 2022. Vol. 28 (103). No. 3. P. 3–17 [in Ukrainian].
- 4 Holovachenko V.P., Prygunova A.G., Shenevidko L.K., Isaicheva N.P., Koshelev M.V., VERNYDUB A.G. Peculiarities of thixoforming of high-strength aluminum alloy VAL10 under conditions of pulse pressing. *Casting processes*. 2022. No. 2 (148). P. 3–11 [in Ukrainian].
- 5 Belyk V.I. Physico-chemical methods of increasing the crack resistance of AM4.5KD (VAL10) alloy. Message 3: Effect of hydrogen treatment on crack resistance. *Casting processes*. 2023. No. 4 (154). P. 3–24. [in Ukrainian].

Received 29.01.2024

V.I. Bielik, PhD (Engin.), Senior Research Scientist; e-mail: belikvi@ukr.net;
ORCID 0000-0001-8212-3159

A.G. Prigunova, Dr. Sci. (Engin.), Head of the Department;
e-mail: adel_nayka@ukr.net; ORCID 0000-0001-8030-9160

A.S. Nuradinov, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist; e-mail: nla_73@ukr.net;
ORCID 0000-0002-7286-8648

V.Y. Sheygam, Researcher; e-mail: onmlptima@ukr.net

V.D. Babiuk, Researcher; e-mail: vdbptima@ukr.net;
ORCID: ORCID 0009-0004-5650-1186

E.A. Zhytkov, Researcher; e-mail: ezh71@ukr.net; ORCID 0009-0003-1623-5314

V.P. Golovachenko, — Researcher

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

PHYSICO-CHEMICAL METHODS OF INCREASING THE CRACK RESISTANCE OF ALLOY AM4.5KD (VAL10). NOTICE 4: COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF PHYSICO-CHEMICAL INFLUENCES ON MELTS

The purpose of the article is to study the effectiveness of ways to increase the crack resistance of AM4.5Kd alloy (VAL10), including modification with rapidly cooled ($V_{охл.} \geq 103^\circ\text{C/s}$) ligatures, vibration in the process of solidification of the casting, treatment of the melt with hydrogen and a rotating cooling rotor. To achieve this goal, a special test was developed. Its design makes it possible to assess the susceptibility of the alloy to crack formation by the size and configuration of the hot crack in the casting, to make samples for mechanical tests, which contributes to the determination of productive methods of increasing its crack resistance and properties under various physical and chemical influences on the liquid state. The set of methods used in the work made it possible to obtain data on the effectiveness of the investigated methods of influence, which was calculated by the ratio of the number of castings that solidified without a crack to the total number of castings obtained using one or another action on the melt aimed at preventing the formation of a crack. The ability of the alloy to form cracks, its strength and plasticity after liquid-phase treatment were compared with each other, as well as with control samples obtained in this sample under conditions that exclude the formation of hot cracks and in a mold that provides good feeding of the casting. The obtained results can be used in the practice of foundry production for a reasoned choice of a method of increasing resistance to cracks depending on the technological capabilities of the enterprise and the features of the casting technology at this enterprise. In particular, 100 percent efficiency was shown by modification with a rapidly crystallized aluminum-titanium ligature based on the introduction of 0.15% titanium into the melt, as well as processing of the melt with a rotor. At the same time, in the first case, the strength and plasticity of the cast metal is significantly higher than in the second, and higher than when using other investigated methods.

Keywords: AM4.5Kd alloy (VAL10), hot cracks, crack resistance test, physical and chemical effects on melt, casting, strength, plasticity.