

<https://doi.org/10.15407/plit2023.02.024>

УДК: 669.715: 621.74: 669.788

В.І. Белік, канд. техн. наук, ст. наук. співр.; 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

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

А.Г. Вернидуб, гол. технолог; e-mail: onmlptima@ukr.net

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ СПЛАВУ АМ4,5Кд (ВАЛ10). Повідомлення 1: ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ КІЛЬЦЕВОЇ ПРОБИ

На прикладі сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10), обробленого в рідкому стані воднем, досліджено ефективність використання загальновідомої кільцевої проби для дослідження фізико-хімічних методів впливу на тріщиностійкість широкоінтервальних алюмінієвих сплавів, схильних до утворення гарячих тріщин при твердненні. Для досягнення поставленої мети виготовлено копію кільцевої проби за рекомендованими розмірами, проведено експерименти із впливу водневої обробки розплаву на тріщиностійкість виливків. Насичення воднем здійснювали продуванням розплаву парами води, ступінь газонасиченості оцінювали за величиною пористості виливків, розрахованої за зміною їх щільності порівняно з контрольним зразком, одержаним у кокілі з гарним живленням виливка. Незважаючи на вжиті заходи для підвищення чутливості кільцевої проби й одержання стабільних результатів, які полягали в коригуванні розмірів кокілю, зокрема розміру центрального стрижня, при обтисканні якого розплавом, що твердне, утворюються розтягувальні напруження, які призводять до формування гарячої тріщини, а також в оптимізації теплового режиму тверднення виливка шляхом підвищення початкової температури кокілю від 22 °С до 217–249 °С, чутливість даної проби в умовах експерименту залишилася занадто низькою. У 60 % випадків газонасичення розплаву сприяло скороченню процесу розвитку тріщини при використанні кокілю з кімнатною температурою до 100 % – при підігріві кокілю до температури від 228 °С до 260 °С. Проте і в першому, і в другому випадках 28 % аналогічних даних одержано на виливках із вихідного розплаву, не насиченого воднем. Це поставило під сумнів достовірність позитивного впливу водневої обробки і стало підґрунтям для висновку про недоцільність використання даного типу проби в дослідженнях фізико-хімічних дій на розплав із метою підвищення тріщиностійкості сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) через можливу помилку в оцінці ефективності їхнього впливу, а також зумовило прийняття рішення щодо необхідності розробки нової проби, позбавленої виявлених недоліків.

Ключові слова: тріщиностійкість, кільцева проба, воднева обробка розплаву, сплав АМ4,5Кд (ВАЛ10).

Сплав АМ4,5Кд (ВАЛ10), як і більшість сплавів із широким інтервалом кристалізації, має схильність до утворення гарячих тріщин. Серед численних фізико-хімічних методів підвищення тріщиностійкості сплаву, окремі з яких буде досліджено в даній роботі, є воднева обробка (ВО) розплаву, тобто насичення його воднем. Для цього найчастіше використовується продування розплаву парами води. В одній із найбільш повних монографій, присвячених проблемі гарячеламкості металів і сплавів [1], воднева обробка розглядається як ефективний спосіб підвищення тріщиностійкості. Проте автор [1] висловлює сумнів щодо перспектив її широкого використання в промисловості через загальновідомий негативний вплив водню на властивості виливків, пов'язаний зі зниженням їхньої щільності внаслідок утворення пор та раковин при виділенні водню в процесі тверднення металу. Разом із тим численні результати робіт Ф. М. Котлярського [2, 3, 4, 5], що були виконані в останні десятиліття, переконливо свідчать про позитивну роль водню у формуванні сприятливої форми газоусадкових дефектів, які утворюються у фасонних виливках складної конфігурації. Зокрема, за певних умов відбувається заміна великих раковин дрібною розосередженою газовою пористістю, що підвищує як механічні, так і експлуатаційні властивості. З огляду на це зрозумілим є поновлення інтересу до використання водневої обробки розплаву як до технологічного способу підвищення тріщиностійкості литих виробів.

Постановка проблеми і мета роботи. Проблема підвищення тріщиностійкості металів і сплавів є однією з основних у ливарному виробництві, вирішується доволі тривалий час і не втрачає своєї актуальності. Для оцінки тріщиностійкості металевих матеріалів використовуються проби різних конструкцій, що нерідко призводить до одержання суттєво відмінних результатів. Не викликає сумніву, що дослідження можливостей водневої обробки розплаву для підвищення тріщиностійкості доцільно проводити з використанням такої проби, яка б дозволила одержати найбільш достовірну інформацію щодо такого впливу. За даними роботи [1], у якій розглянуто гарячеламкість сплавів у багатьох пробах, найдосконалішим варіантом визнано т. зв. кільцеву пробу.

Оскільки чутливість до тріщиностійкості визначається не тільки особливостями структури, хімічного й фазового складу сплаву, але й такими технологічними параметрами, як геометрична форма і розмір кокільної проби, її робоча температура, метою роботи є перевірка валідності рекомендованої кільцевої проби для досліджень тріщиностійкості сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) після фізико-хімічних впливів на розплав, у тому числі ВО.

Об'єкт і методика дослідження. Роботу проведено на сплаві АМ4,5Кд (ВАЛ10). Об'єктом дослідження є кільцева проба для визначення тріщиностійкості, що виготовлена за розмірами, описаними в роботі [1] (рис. 1), із дотриманням вимог щодо корегування діаметра стрижня кокіль таким чином, щоб тріщина поширювалася лише на частину висоти виливка. У такому випадку проба

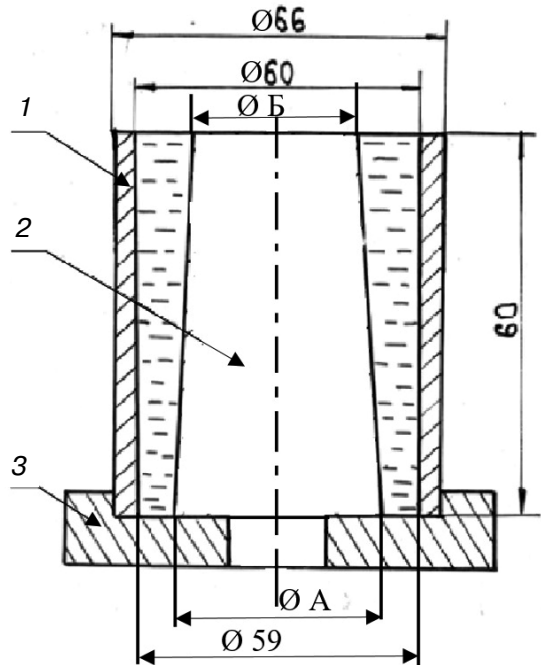


Рис. 1. Кокіль кільцевої проби для визначення тріщиностійкості: 1 — стрижень; 2 — обичайка кокіль; 3 — підставка

Твердіння сплавів

стає чутливою до чинників впливу на тріщиностійкість сплаву, що проявляється збільшенням чи зменшенням довжини тріщини. Крім того, при виготовленні кільцевої проби враховано той факт, що збільшення діаметра стрижня за інших рівних умов призводить до збільшення ймовірності утворення тріщини.

Таблиця 1

Діаметри стрижнів (див. рис. 1), використаних в експериментах

№ стрижня	Діаметр А, мм	Діаметр Б, мм
1	54,5	47,81
2	49,8	43,68
3	43,5	38,16
4	46,28	40,75
5	47,75	41,75

У табл. 1 наведено розміри стрижнів, що їх використано в експериментах. На першому етапі досліджень застосовано стрижні № 1, 2 і 3. Рівень чутливості проби визначався можливістю використання даного комплекту для встановлення характеру впливу водневої обробки розплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10), що, як було зазначено вище, суттєво підвищує тріщиностійкість сплаву.

Газонасичення розплаву здійснювали в заливному ковші, розміщеному в тиглі з розплавом у плавильній печі, зануренням ливарного дзвіночка з тампоном мінеральної вати вагою 25 г, який насичували водою масою 21 г. Перед заливкою газонасиченого розплаву в кокілю кільцевої проби заливний ківш витримували у розплаві в плавильній печі впродовж 3 хв. Режими експерименту наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Режими експериментів із використанням стрижнів кільцевої проби № 1, 2, та 3

№ стрижня	Маркування вилівка	Тривалість ВО, с	Температура, °С		Наявність тріщини, +/-	Пористість, %
			газо-насичення	заливки		
1	1	60	742	744	+	3,22
1	2	10	735	718		0,86
2	5	0		737		0,62
2	6	60	749	718		2,33
3	3	60	747	736	-	3,77
3	4	0	-	734		0,37

Пористість виливків кільцевої проби розраховували за зміною щільності сплаву порівняно з контрольним зразком, одержаним у кокілі, що забезпечує достатнє живлення вилівка [6].

Результати дослідження та їх обговорення. Установлено (див. табл. 2), що ВО за наведеними режимами дозволяє досягти значного рівня газонасичення розплаву, про що свідчать показники величини пористості. Однак виявилось, що цей комплект проби неможливо використовувати для вирішення поставлених у роботі завдань, оскільки при максимальному та середньому діаметрі стрижня (№ 1 і № 2) утворюються тріщини по всій висоті вилівка. Це спостерігається як при наводненні розплаву, так і без нього. Проби з мінімальним діаметром стрижня (№ 3) у тих самих умовах тріщини не давали. Тому для підвищення чутливості проби була проведена корекція розмірів стрижня кокілю. Виготовлено стрижні № 4 і № 5 з діаметрами нижньої частини більшими, ніж діаметр стрижня № 3, але меншими, ніж діаметр стрижня № 2 (див. табл. 1).

Твердіння сплавів

Газонасичення розплаву в другій серії експериментів також проводили в ідентичних умовах, у заливному ковші: обсяг розплаву — від 120 см³ до 150 см³, вага тампона з мінеральної вати — 7 г, наповнення його водою — від 5 г до 7 г. Тампон занурювали в розплав у дротяній петлі. Температура розплаву на початку ВО становила 755–760 °С. Режими експерименту наведено у табл. 3.

Таблиця 3
Режими та результати експерименту з кільцевою пробою та стрижнем № 4

Маркування вливка	Тривалість, с		Т заливки, °C	Вид тріщини
	газонасичення	газонасичення		
4-1	0	–	730	по всій висоті вливка
4-2	0	–		
4-4	10	30		
4-6 *	6	–		
3	0	–	713	тріщини немає
4-3	12	10	715	
4-5	20	10	730	
4-7*	8			

Примітка: *пористість вливка 4-6 — 0,73 %, вливка 4-7 — 1,58 %

Дослідження показали, що при використанні в кільцевій пробі стрижня № 4 одна з трьох проб (33%), залитих із негазионасиченого розплаву, виявилася без тріщини, а дві з п'яти проб (40%) із розплаву після ВО — з тріщиною. Подальші дослідження впливу ВО на тріщиностійкість проведено з кільцевою пробою зі стрижнем № 5. Газонасичення розплаву об'ємом від 250 до 300 см³ і його витримку проводили з дотриманням однакових із попередніми експериментами умов. Режими та результати експерименту представлено в табл. 4.

Таблиця 4
Режими та результати експерименту з кільцевою пробою зі стрижнем № 5

Маркування вливка	Т розплаву на початку ВО, °С	Тривалість, с		Т заливки, °С	Вид тріщини
		газонасичення	витримка		
1	—	0	—	716	по всій висоті вливка
2	—	0	—	749	
2-2	—	0	—	730	
5	786	90	45	740	
7	752	90	150	726	
4	785	90	55	732	2/3 висоти вливка
6	780	90	52	740	2/3–3/4 висоти вливка
2-1	—	0	—	730	½ висоти вливка
2-3	778	10	35	730	½ висоти вливка

Твердіння сплавів

Аналізуючи дані, наведені в таблицях 3 і 4, можна відзначити, по-перше, що воднева обробка розплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) у 6 випадках з 10 (60%) позитивно позначилася на тріщиностійкості, тоді як у виливках із вихідного розплаву зафіксовано відсутність чи зменшення довжини тріщин у 2 виливках із 7 (28%). По-друге, лише в одному випадку (див. табл. 4, зразок 2–1) на виливку з вихідного розплаву зафіксована тріщина довжиною меншою, ніж висота виливка, а саме з довжиною, що дорівнює половині висоти, як рекомендовано в [1]. Логічно було б зменшити діаметр стрижня № 5, але оскільки діаметр стрижня № 4 менший, ніж стрижня № 5, і при цьому він показав результат гірший, ніж стрижень № 5, подальші пошуки в цьому напрямку вважалися недоцільними.

З огляду на важливість умов тверднення виливка та його схильність до тріщиноутворення, було проведено експерименти з вивчення впливу початкової температури кокілю на стійкість до формування тріщин. Передбачалося, що оптимізація теплового режиму сприятиме підвищенню чутливості проби до дії ВО та стабільності одержаних результатів.

Кокіль кільцевої проби витримували в печі опору при заданій температурі. Після вилучення кокілю з печі, безпосередньо перед заливкою розплаву фіксували температуру стрижня. Використовували стрижень № 5. Отримані результати представлено на рис. 2. На рис. 3 як приклади наведено фотографії виливків із різними видами тріщин.

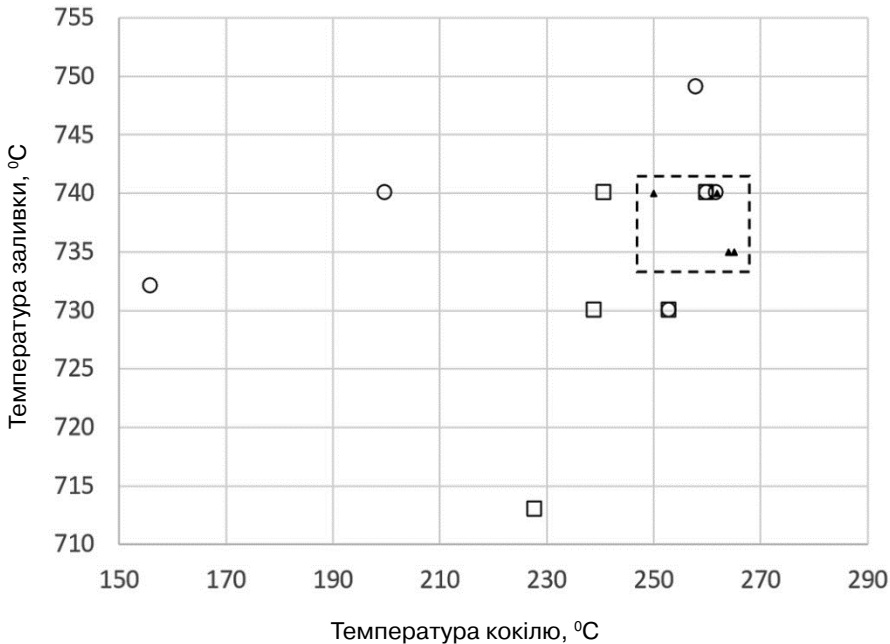


Рис. 2. Вплив температур кокілю та заливки розплаву на вид тріщин у виливках, одержаних у кільцевій пробі: ○ — тріщина по всій висоті виливка; □ — тріщина волосоподібна на верхньому надливковому торці виливка або тріщина відсутня; ▲ — тріщина займає частину висоти виливка

Зазначимо, що у 8 випадках із 14, представлених на рис. 2, підвищення температури стрижня підвищило тріщиностійкість сплаву. У восьми виливках, що складає 57%, зафіксовано повне або часткове усунення тріщини. Виділена область (див. рис. 2) обмежує сукупність температур кокілю та заливки, при яких утворюються тріщини довжиною меншою, ніж висота виливків. Це температура кокілю в межах 250–265 °C при температурі розплаву, що заливається, 735–740 °C. Оптимізація температур кокілю і розплаву, що заливається, дозволила б створити умови, у яких кільцева проба на тріщиностійкість була б чутливою до досліджуваних у даній

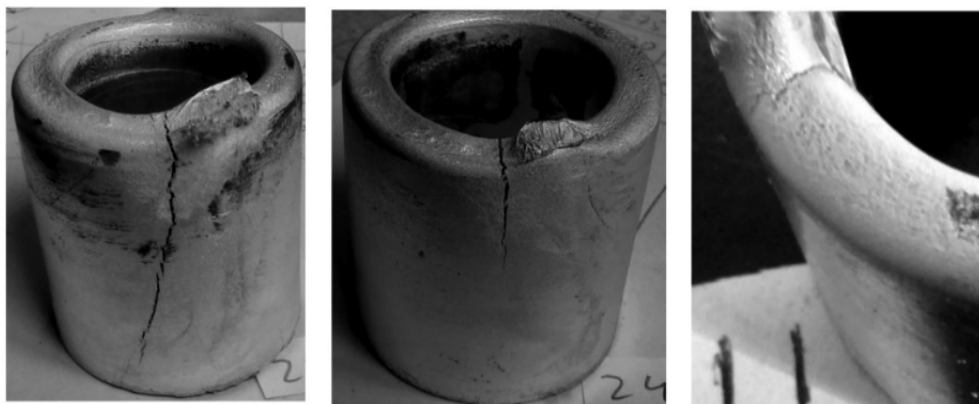


Рис. 3. Різновиди тріщин у виливках, одержаних у кільцевій пробі

роботі факторів. Однак, крім таких виливків (їх число 4, або 57%), до даної області температур попадає один виліток із тріщиною по всій висоті (14%) і два виливки без тріщин (28%), що може поставити під сумнів достовірність оцінки ефективності того чи іншого методу підвищення тріщиностійкості сплаву.

Для остаточного вирішення питання щодо можливості використання кільцевої проби в запланованих дослідженнях із підвищення тріщиностійкості сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10) проведено експерименти з водневою обробкою розплаву, який заливали в кокіл із підігрітим стрижнем. Газонасичення проводили в заливному ковші, зануреному в розплав, вага мінеральної вати — 25 г, води — від 20 г до 21 г. Використовувався стрижень кільцевої проби № 5. Режими експерименту та види тріщин, що утворюються, наведено в табл. 5.

Як показано вище, підвищення температури стрижня кільцевої проби знижує можливість утворення тріщини. Відомо [7, 8, 9, 10, 11], що зниження швидкості тверднення виливка, зумовлене підвищенням температури форми, сприяє більш

Таблиця 5

Наявність та вид тріщин у виливках кільцевої проби, отриманих із газонасиченого розплаву залежно від температури стрижня

Маркування виливка	Температура, °С			Тривалість, с		Вид тріщини
	стрижня	розплаву на початку ВО	заливки	газонасичення	витримка	
28	249	791	756	60	95	тріщина на внутрішній поверхні виливка, ¼ висоти
29	244	775	740	90	102	
30	228	784	745	68	110	тріщина зверху виливка, ½ висоти
31	22	715	680	70	—	тріщина на внутрішній поверхні виливка в зоні заливки зверху, не на всю товщину
32	217	0	690	0	0	невелика тріщина в зоні заливки на внутрішній поверхні виливка

повному виділенню газу в процесі кристалізації. Це дозволило припустити, що поєднання нагріву кокілю кільцевої проби і водневої обробки розплаву дозволить підвищити стійкість до утворення тріщин. Дійсно, як видно з наведених даних (див. табл. 5), випадків утворення тріщини по всій висоті виливка не виявлено. Не зафіксовано і повної їх відсутності. Разом із тим ступінь розвитку тріщин значно скоротився.

Таким чином, встановлено, що поєднання підігріву стрижня з ВО розплаву підвищує тріщиностійкість виливків зі сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10). Однак використання кільцевої проби, навіть із підігрівом стрижня, не забезпечує підвищення чутливості проби та стабільної повторюваності одержаних результатів. Так, порівнюючи виливки № 31 і 32 (див. табл. 5), можна помітити, що подібні за виглядом та розміром тріщини сформувалися як при початковій температурі стрижня 217 °С (№ 32) у разі відсутності ВО, так і при проведенні ВО з використанням холодного стрижня (№ 31).

Отже, у процесі експериментів встановлено позитивний вплив ВО розплаву на тріщиностійкість: у 60% випадків газонасичення розплаву стало причиною скорочення розвитку тріщини при використанні кокілю з кімнатною температурою і до 100% при підігріві кокілю до температури від 228 до 260 °С. Однак і в першому, і в другому випадках 28 % аналогічних результатів одержано на виливках із вихідного розплаву, що ставить під сумнів достовірність позитивного впливу водневої обробки.

Висновки та перспективи дослідження

Результати проведених експериментів показали, що використання кільцевої проби (як у холодному, так і підігрітому станах) для оцінки ефективності того чи іншого методу впливу на тріщиностійкість сплаву АМ4,5Кд (ВАЛ10), у тому числі й ВО розплаву, є недоцільним, що пов'язано з нестабільністю одержуваних даних. Це зумовлює нагальну потребу дослідження інших типів проб або розробки нової, позбавленої зазначеного недоліку.

Список літератури

- 1 Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. Москва: Наука, 1966. 300 с.
- 2 Котлярский Ф.М., Белик В.И. Влияние водорода на формирование отливок из алюминиевых сплавов. *Современные технологические процессы получения высококачественных изделий методом литья и порошковой металлургии*. Чебоксары: ЧЦНТИ, 1989. С. 37–38.
- 3 Котлярский Ф.М., Белик В.И. Управление качеством силуминовых отливок путем обработки расплава. *Современные технологические процессы и оборудование для литья в металлические формы*. Ч. 1. Москва: ПНИИинформации, 1989. С. 41–42.
- 4 Котлярский Ф.М., Борисов Г.П., Белик В.И. Формирование и качество отливок из газонасыщенных алюминиевых сплавов. *Металл и литье Украины*, 1994. № 9–10. С. 31–33.
- 5 Котлярский Ф.М., Борисов Г.П., Белик В.И. Формирование и качество отливок из газонасыщенных алюминиевых сплавов. *Металл и литье Украины*, 1994. № 9–10. С. 31–33.
- 6 Белик В.И., Котлярский Ф.М., Борисов Г.П., Шейгам В.Ю., Семенченко А.И., Дука В.М. Выбор литой заготовки для исследования прочностных свойств алюминиевых сплавов. *Процессы литья*. 2009. № 2. С. 17–24.
- 7 Гудченко А.П. Образование газовой пористости в отливках из алюминиево-кремниевых сплавов. *Вопросы технологии литейного производства*. Москва: Оборонгиз, 1961. Труды МАТИ. Вып. 49. С. 120–135.
- 8 Шевцов И.В., Шевцова Г.Б., Елагин В.И., Колачев Б.А. Влияние водорода на структуру и механические свойства слитков из сплава АК-8. *Газы в легких металлах*. Москва: Металлургия, 1970. Труды МАТИ. Вып. 71. С. 67–74.

- 9 Берг П.П., Глотов Е.Б. Герметичность отливок из сплава АЛ9. *Литейное производство*. 1967. № 3. С. 26–28.
- 10 Мерфи А. Дж. Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Москва: Гос. науч.-тех. изд-во по черн. и цвет. металлург., 1959. 646 с.
- 11 Gruzleski J.E., Thomas P.M., Entwistle R.A. An experimental study of the distribution of microporosity in cast aluminum base alloys. *British Foundryman*. 1978. 71. P. 69–78.

Надійшла 06.03.2023

References

- 1 Novikov I. I. Hot brittleness of non-ferrous metals and alloys. Moskva: Nauka, 1966. 300 p. [in Russian].
- 2 Kotlyarsky F. M., Belik V. I. Influence of hydrogen on the formation of castings from aluminum alloys. *Modern technological processes for obtaining high-quality products by casting and powder metallurgy*. Cheboksary: CHTSNTI, 1989. P. 37–38 [in Russian].
- 3 Kotlyarsky F. M., Belik V. I. Quality control of silumin castings by melt processing. *Modern technological processes and equipment for casting into metal molds*. Part 1. Moskva: PNII-information, 1989. P. 41–42 [in Russian].
- 4 Kotlyarsky F.M., Borisov G.P., Belik V.I. On the positive role of hydrogen in the formation and quality of the casting/ *Diffusion-cooperative phenomena in metal-hydrogen isotope systems*. Donetsk: DPI, 1992. P. 40–41 [in Russian].
- 5 Kotlyarsky F. M., Borisov G. P., Belik V. I. Formation and quality of castings from gas-saturated aluminum alloys. *Metal and casting of Ukraine*, 1994. No. 9-10. With. P. 31–33 [in Russian].
- 6 Belik V.I., Kotlyarsky F.M., Borisov G.P., Sheigam V.Yu., Semchenko A.I., Duka V.M. Selection of a cast billet for studying the strength properties of aluminum alloys. *Casting processes*. 2009. No. 2. P.17–24 [in Russian].
- 7 Gudchenko A.P. Formation of gas porosity in castings from aluminum-silicon alloys. *Questions of foundry technology*. Moskva: Oborongiz, 1961. Proceedings of MATI. Issue 49. P.120–135.
- 8 Shevtsov I.V., Shevtsova G.B., Elagin V.I., Kolachev B.A. Influence of hydrogen on the structure and mechanical properties of ingots from AK-8 alloy. *Gases in light metal alloys*. Moskva: Metallurgy, 1970. Proceedings of MATI. Issue. 71. S. 67–74.
- 9 Berg P.P., Glotov E.B. Tightness of castings from AL9 alloy. *Foundry*, 1967. No. 3. P. 26–28.
- 10 Murphy A.J. Melting and casting of non-ferrous metals and alloys. Moskva: State. scientific those. publishing house in black. and color. metallurg., 1959. 646 p. [in Russian].
- 11 Gruzleski J.E., Thomas P.M., Entwistle R.A. An experimental study of the distribution of microporosity in cast aluminum base alloys. *British Foundryman*. 1978. 71. P. 69–78.

Received 06.03.2023

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

V.Yu. Shaigam, Researcher Scientist; e-mail: onmlptima@ukr.net

A.G. Vernydub, Chief Tehnologist; e-mail: onmlptima@ukr.net

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 1: EXPERIENCE OF USING AN RING SAMPLE

On the example of the AM4.5Kd (VAL10) alloy treated in the liquid state with hydrogen, the efficiency of using the well-known ring test for the study of physicochemical methods of influencing the crack resistance of wide-range aluminum alloys, which are prone to the formation of hot cracks during solidification, was studied. To achieve this goal, an annular mold mold was made according to the recommended dimensions, experiments were carried out on the effect of hydrogen treatment of the melt on the crack resistance of castings. Saturation with hydrogen was carried out by blowing the melt with water vapor, the degree of gas saturation was estimated from the porosity of the castings, calculated from the change in their density compared to the control sample obtained in a mold with sufficient power. Despite the measures taken to increase the sensitivity of the annular sample and obtain stable results, which consisted in adjusting the dimensions of the mold, in particular, the size of the central rod, during compression of which the hardening melt creates tensile stresses leading to the formation of a hot crack, as well as optimizing the thermal regime for obtaining a casting by increasing the initial mold temperature from 22 °C to 217–249 °C, the sensitivity of this sample under the experimental conditions remained too low. In 60 % of cases, gas saturation of the melt contributed to a reduction in the crack propagation process when using a mold at room temperature and up to 100 % when the mold was heated to a temperature of 228 °C to 260 °C. However, in both the first and second cases, 28 % of similar data were obtained on castings from the initial melt not saturated with hydrogen. This casts doubt on the reliability of the positive effect of hydrogen treatment and became the basis for the conclusion that it is inappropriate to use this type of sample in studies of physical and chemical effects on the melt in order to increase the crack resistance of the AM4.5Kd (VAL10) alloy due to a possible error in assessing the effectiveness of their impact, and also to decide on the need to develop a new sample, devoid of the identified shortcomings.

Keywords: crack resistance, ring test, hydrogen treatment of the melt, alloy AM4.5Kd (VAL10)