
ЗАТВЕРДІННЯ СПЛАВІВ

УДК 621.746.62

В. Є. Хричиков, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедри,
e-mail: litpro.kaf@gmail.com

О. Д. Семенов, аспірант, e-mail: aldmsem@gmail.com

О. В. Меньяйло, д-р. техн. наук, доц., проф.

І. А. Шалевська*, д-р. техн. наук, доц., заст. зав. відділу

Я. В. Мянговська, д-р. техн. наук, доц., проф.

Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна)

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

УСУНЕННЯ УТЯЖИНИ У ХУДОЖНІХ ВИЛИВКАХ З РІЗНОЮ ТОВЩИНОЮ СТІНКИ

Мета роботи – усунення утяжини у художніх виливках з різною товщиною стінки. В роботі розглядається принципово новий метод попередження утворення утяжини. Дефект лиття – утяжина має вигляд заглиблення із заокругленими гладкими краями на поверхні у потовщеній частині виливку, що відрізняє його від усадкової раковини. Виникнення утяжини обумовлено утворенням в масивних частинах виливку теплових вузлів, з центру яких розплав фільтрується для живлення усадки затверділого шару на всі найближчі поверхні виливку. Тому в роботі вважали, що при переміщенні розплаву з теплового вузла, в його центрі утворюється пустота та розрядження, що призводить до втягування і викривлення затверділого шару металу на частині поверхні виливку з меншою міцністю. Для попередження утворення утяжини, як правило, використовують стрижні, що зменшують різнотовщинність стінки художнього виливку, надливи і потовщені ливники для живлення усадки термічного вузла виливка, холодильники внутрішні та зовнішні. Але не завжди можливо встановити надливи із-за недотримання конфігурації поверхні художнього виливку, внутрішні стрижні для невеликих виливків виготовити у ливарній формі важко. Тому на прикладі виготовлення художнього виливку «Буйвол» при литті по моделям, що витоплюються, запропоновано нову методику усунення утяжини. В роботі враховували, що усадкові раковини і пористість в середині виливку не контролюються на відміну від високих вимог до точності форми поверхні художніх литих виробів. Розрядження, що виникає в центрі теплового вузла, усунули за рахунок переміщення атмосферного повітря по тонкій трубчастій голці із аустенітної нержавіючої сталі, яка використовується для медичних ін'єкцій. Трубку із зовнішнім діаметром 0,80 мм встановлювали в прес-формі одним кінцем в центрі термічного вузла потовщеної частини виливка, а другим – в ливарній формі з боку не робочої поверхні, яка недоступна для огляду і не порушує естетичний вид художнього виливку. Завдяки з'єднанню другого кінця трубки з атмосферним повітрям розрядження в центрі усадкової раковини не виникає. Нова ливникова система без масивного центрального живильника, який раніше підводили в тепловий вузол, дозволила усунути усадкові дефекти

на зовнішній поверхні, зменшити витрати на ливникову систему, карбування поверхні в місці з'єднання живильника з художнім виливком, уникнути формування утяжини. Результати роботи рекомендовано використовувати при литті художніх і ювелірних виробів, що мають температуру розплаву меншу, ніж у трубчастій голці із нержавіючої сталі.

Ключові слова: художній виливок, утяжини, тепловий вузол, усадка, розрядження, трубчаста голка, атмосферний тиск.

Вступ

Одним з видів браку виробів, отриманих способом лиття, є утяжина (Shrinkage depression – англ.) – дефект (1 на рис. 1) у вигляді заглиблення із заокругленими гладкими краями на поверхні виливка, який утворився внаслідок зсідання металу під час твердіння, що відрізняє його від усадкової раковини з шорсткою, інколи окисненою поверхнею [1, 2]. Як відзначено в [3–5], утяжини розташовуються зазвичай в тих частинах виливку, де метал охолоджується в останню чергу і твердне в умовах недостатнього живлення усадку, внаслідок чого тонка поверхнева корка затверділого металу продавлюється в сторону усадкової раковини. Аналогічний підхід щодо взаємозв'язку усадкової раковини (2 на рис. 1) і утяжини підтримують багато інших дослідників [6–9], але не вказують причини заглиблення на поверхні виливка.

Причиною виникнення утяжин, як ми вважаємо, є утворення в масивних частинах виливку теплових вузлів, з центру яких розплав фільтрується для живлення усадки затверділого шару на всі найближчі поверхні виливку. Тепловий вузол у виливку після заливки металу охолоджується повільніше, ніж інші ділянки. Тому при переміщенні розплаву з теплового вузла, в його центрі утворюється порожнина (2 на рис. 1) та розрядження, що призводить до втягування і викривлення затверділого шару металу на частині поверхні виливку з меншою міцністю (1 на рис. 1).

Для попередження утворення утяжини встановлюють надливи, але неможливо їх використати, якщо масивні частини фасонного виливку знаходиться в різних місцях. В литті по моделям, що витоплюються, найчастіше встановлюють потовщені ливники для живлення усадки термічного вузла з стояку. Однак при видаленні залишків ливника з поверхні виливку можливе порушення його художньої цінності, а карбування потребує занадто багато роботи. Використання зовнішніх та внутрішніх холодильників не завжди припустимо реалізувати для художніх і фасонних виливків з неоднаковою товщиною стінки і розвиненою поверхнею.

Мета роботи – усунення утяжини у художніх виливках з різною товщиною стінки.

Методика дослідження. Об'єктом дослідження обрано художній виливок «Буйвол» (1 на рис. 2), в якому, згідно діючої технології лиття по моделям, що витоплюються, живлення теплового вузла в центральній масивній частині реалізується за рахунок додаткового ливника Ø12 мм (4 на рис. 2, б), який у 1,5 рази більший за стандартний (3 на рис. 2, а). Масивний стояк (2 на рис. 2), як надлив, забезпечував живлення усадки всіх виливків.

Підведення металу виконували ливником 3 до нижньої частини виливку, масивним ливником 4 до центральної частини, а зверху – ливником 5 з випарами Ø5 мм до рогів 6.

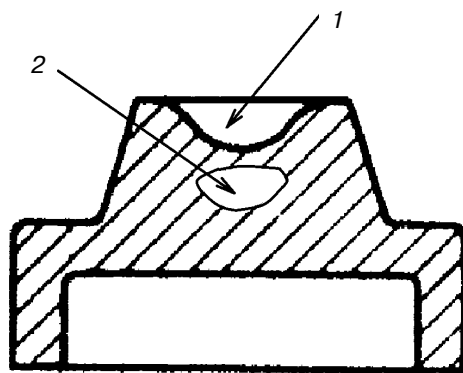


Рис. 1. Типовий вигляд утяжини (1) у потовщеній частині виливку з усадковою раковиною (2)

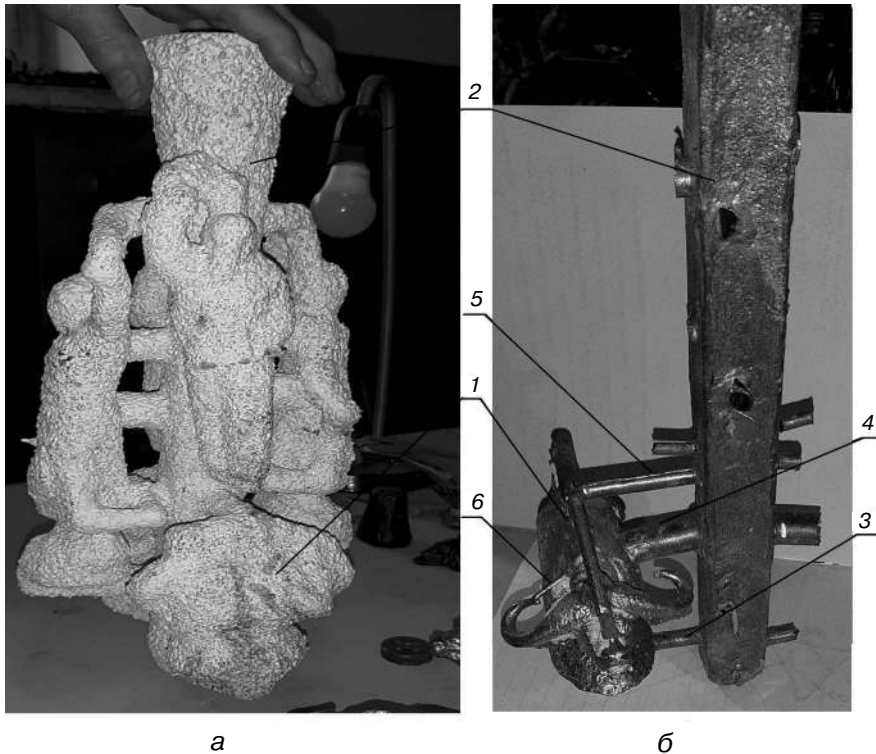


Рис. 2. Загальний вигляд форми при литті по моделям, що витоплюються (а), і виливок «Буйвол» з ливниково-живильною системою (б): 1 – виливок «Буйвол»; 2 – стояк; 3 – живильник в нижню частину виливку; 4 – живильник в центральну масивну частину «Буйвола»; 5 – живильник в верхню частину виливку; 6 – живильники до рогів

Плавку олов'яної бронзи БрО5Ц5С5 (ГОСТ 613-79) з 30 % ливниками власного виробництва виконували у графітовому тиглі в печі Таммана. Дзеркало металу захищали деревним вугіллям, перегрів розплаву виконували до 1180 °С, потім розкисляли міддю фосфористою МФ-9, а після витримки 1–2 хв і зчищення шлаку заливали при температурі 1140 °С. Температура керамічної форми при заливанні становила 910 °С.

Контроль температури виконували хромель-алюмелевими (ХА) термopарами, що мають межу короточасного процесу вимірювання 1370 °С [10], а термо-ЕДС записували потенціометром КСП-4. Припустиму сумарну інструментальну похибку (G_{Σ}) термоелектричного комплексу (термопара, компенсаційні дроти і прилади) визначали за формулою [11]:

$$G_{\Sigma} = \sqrt{G_T + G_K + G_{\Pi}} ,$$

де G_T – припустима похибка внаслідок відхилення термо-ЕДС від стандартного градування;

G_K – погрішність, що обумовлена відмінністю термо-ЕДС термopари і компенсаційних дротів;

G_{Π} – приведена погрішність вимірювального приладу.

При використанні потенціометра КСП- 4 з класом точності 0,25 зі шкалою 700 ... 1370 °С у комплекті з термopарою ХА мали наступні значення припустимої похибки: $G_{\Pi} = 1,5$ °С, $G_K = 0$ і $G_T = 8$ °С, а сумарне значення: $G_{\Sigma} = 8,14$ °С. Похибку, зумовлену відмінністю термо-ЕДС термopари і компенсаційних дротів (G_K), приймали рівною нулю, оскільки термopари кріпили безпосередньо до клем потенціометра.

Результати та їх обговорення.

Художній виливок «Буйвол» виготовляли за технологією лиття по моделям, що ви-топлюються, з ливниковою системою, в якій для попередження утворення утяжини в зоні теплового вузла встановлено додатковий масивний ливник (4 на рис. 2, б), який забезпечував живлення усадки центральної частини виливка. Однак після видалення масивного ливника зафіксовано утворення усадкової пористості (рис. 3), яка при-звела до браку виливка.

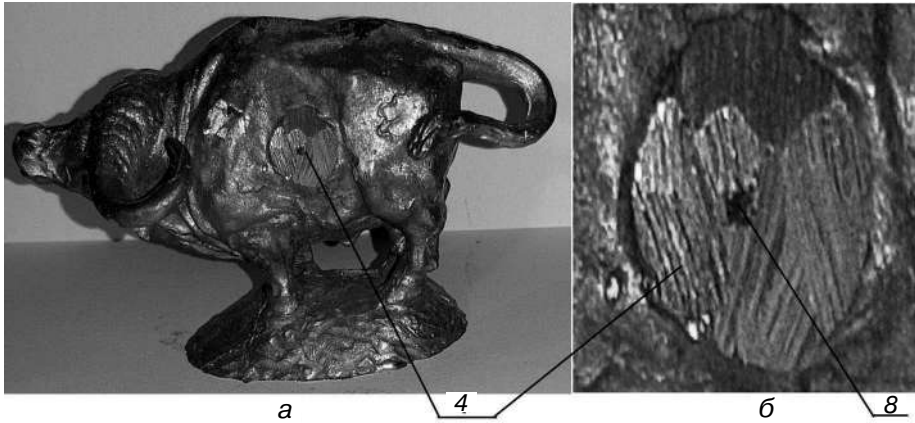


Рис. 3. «Буйвол» після видалення ливника $\varnothing 12$ мм (а) і збільшене зображення (б) усадочної пористості в центрі масивної частини виливку: 4 – залишки живильника до масивної частини виливка; 8 – усадочна пористість в центрі живильника

Виникнення усадкової пористості обумовлено наявністю теплового вузла в масивній частині виливка. Варіанти усунення виявлених дефектів у художньому виливку «Буйвол» розглянуто нижче:

- Ще збільшити діаметр центрального живильника 4 і забезпечити достатню тривалість живлення розплавом з стояку. Але після охолодження, при видаленні ливника, поверхню художнього виливка буде порушено.
- Встановити стрижень або внутрішній холодильник у тепловий вузол, що забезпечить прискорене твердіння і усунення термічного вузлу. Але у виливку з невеликими розмірами зробити стрижень, який відображає конфігурацію поверхні художнього виробу, закріпити його у порожнині форми технологічно важко.
- Відмовитись від встановлення живильника (4 на рис. 3) у масивну частину, а заповнен-ня розплавом виливка забезпечать живильники 3 і 5 (рис. 5). Але в процесі кристалізації зовнішньої поверхні виливка в центрі теплового вузла утворюється усадкова раковина. Тому переміщення розплаву для живлення усадки поверхні виливка зумовить виникнення розрядження і утяжини, яка спотворить зовнішню поверхню художнього виливка.

Особливістю отримання художніх литих виробів з металів є високі вимоги до точності виготовлення форми поверхні. Наявність усадкових раковин і пористості в середині виливка не контролюється, а незначне зменшення фізико-механічних властивостей металу не впливає на їх використання.

Усунути усадкові дефекти на зовнішній поверхні за новою технологією пропонується за рахунок з'єднання усадкової порожнини у центрі виливка з атмосферою навколишнього середовища. Розрядження, що виникає у центрі теплового вузла, планується зняти за рахунок переміщення атмосферного повітря по тонкій трубчастій голці із аустенітної нержавіючої сталі, яка використовується для медичних ін'єкцій. Причому, температура плавлення голки суттєво більша за температуру бронзи, що заливають у форму.

Для реалізації нової розробки трубку із зовнішнім діаметром 0,80 мм і порожни-ною діаметром $\approx 0,49$ мм [12] встановлювали в прес-формі моделі виливку «Буйвол» таким чином, щоб один кінець голки трубчастої знаходився в центрі термічного вузла потовщеної частини виливка (рис. 4). Другий кінець трубки встановлювали в ливарній формі з боку неробочої поверхні, яка недоступна для огляду, і її порожнина з'єднується з атмосферним повітрям.



Рис. 4. Розміщення трубки голчастої $\varnothing 0,8$ мм в прес-формі

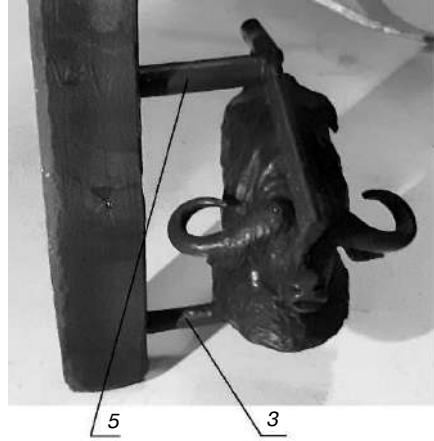


Рис. 5. Нова схема підведення живильників до нижньої (3) і верхньої (5) частин моделі без масивного центрального ливника в тепловий вузол

Нову ливниково-живлячу систему (рис. 5) з живильниками до нижньої (3) і верхньої (5) частин моделі зробили без масивного центрального ливника, який раніше підводили в тепловий вузол (див. 4 на рис. 2, б).

При заливанні бронзи в ливарну форму, що має голку трубчасту, також починається твердіння металу на поверхні виливку, що обумовлює переміщення розплаву з центру термічного вузла для живлення усадки шару металу, що кристалізується. Тому утворюється усадкова раковина, в якій виникає розрядження, але по отвору трубки повітря має змогу переміщуватись з навколишнього середовища. Це вирівнює тиск в порожнині термічного вузла з атмосферним тиском, запобігає розрядженню і, як наслідок, утворенню утяжини на поверхні художнього виливку (рис. 6).



Рис. 6. «Буйвол» без утяжини і усадочних дефектів на поверхні, залитий із застосуванням нової технології

Однак в центрі масивної частини виливку «Буйвол» усадкова раковина залишається, але побачити її не можливо. Залишок трубки $\varnothing 0,8$ мм на неробочій поверхні художнього виливка легко усунути карбуванням. На поверхні виливку (див. рис. 6) усадкова пористість відсутня, конфігурацію виливка не порушено, що підтверджує доцільність розробленої методики лиття художніх виробів.

Крім того, усунення розрядження в центрі теплового вузла забезпечить краще переміщення розплавленого металу до зовнішньої поверхні виливку і підвищить щільність шару металу, що

кристалізується. Це положення підтверджує робота надливу з атмосферним тиском, де стрижень встановлюють в верхній частині надливу таким чином, щоб одна його частина знаходилась у розплаві, а інша з'єднувалась з атмосферою [13]. Стрижень виконують, наприклад, з формувальної суміші, що має високу газопроникність. Тому при затвердінні дзеркала металу у надливі розрядження в тепловому вузлі надливу не виникає завдяки фільтрації атмосферного повітря через формувальну суміш.

Висновки

В процесі виготовлення художніх виливків з різною товщиною стінки нерідко виникає дефект – утяжини. Для їх попередження використовують стрижні, що зменшують різнотовщинність стінки художнього виливку, надливи, потовщені ливники для живлення усадки термічного вузла виливка, холодильники внутрішні та зовнішні. Але не завжди можливо встановити надливи із-за порушення конфігурації поверхні художнього виливку, внутрішні стрижні для невеликих виливків виготовити і закріпити у ливарній формі важко. Тому на прикладі виготовлення художнього виливку «Буйвол» запропоновано нову методику усунення утяжини.

Наведено діючу технологію лиття по моделям, що витоплюються, з ливниковою системою, в якій живлення усадки центральної масивної частини «Буйвола» забезпечує живильник зі збільшеною товщиною для переміщення розплаву із стояку в термічний вузол. Однак після видалення живильника в місці його підведення зафіксовано утворення усадкового дефекту, а для ліквідації залишків живильника, карбування і відновлення поверхні художнього виливку необхідно докласти занадто багато роботи.

В новій розробці враховували, що усадкові раковини і пористість в середині виливку не контролюються на відміну від високих вимог до точності форми поверхні художніх литих виробів.

Причиною виникнення утяжини є утворення в масивних частинах виливка теплових вузлів, з центру яких розплав фільтрується для живлення усадки затверділого шару на поверхні виливка. Тому при переміщенні розплаву з теплового вузла, в його центрі утворюється пустота та розрядження, що призводить до втягування і викривлення більш гарячого шару металу на частині поверхні виливка з меншою міцністю. Розрядження, що виникає в центрі теплового вузла, усунули за рахунок переміщення атмосферного повітря по тонкій трубчастій голці із аустенітної нержавіючої сталі, яка використовується для медичних ін'єкцій.

Трубку із зовнішнім діаметром 0,80 мм встановлювали в прес-формі одним кінцем в центрі термічного вузла потовщеної частини виливка, а другим – в ливарній формі з боку неробочої поверхні, яка недоступна для огляду, і з'єднується з атмосферним повітрям. Нова ливникова система без масивного центрального живильника, який раніше підводили в тепловий вузол, дозволила усунути усадкові дефекти на зовнішній поверхні, зменшити витрати на ливникову систему, карбування поверхні художнього виливку і уникнути формування утяжини.

Список літератури

- 1 ДСТУ 9051:2020. Виливки з чавуну і сталі. Дефекти. Терміни та визначення. Начало дії 01.04.2021. С. 15.
- 2 ГОСТ 19200-80. Виливки з чавуну і сталі. Терміни та визначення дефектів. С. 13.
- 3 American Foundry Society. International Atlas of Casting Defects. American Foundry Society. ASM International. Pages: 340, 2007. - ISBN: 978-0874330533.
- 4 С. П. Казанцев, Е. Л. Фурман. Дефекты отливок при литье по выплавляемым моделям// Информационный портал УрФУ <http://study.urfu.ru> - ЦНОТ ИТОО. Екатеринбург.- 2019.- С. 110. (Утяжина с. 72-73).
- 5 Ефимов В. А. Специальные способы литья : справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др. ; под общ. ред. В. А. Ефимова. – Москва : «Машиностроение», 1991. 436 с.
- 6 Атлас литейных дефектов / 136 Summit avenue. Montvale, NJ 07645-1720. Институт литья по выплавляемым моделям. www.investmentcasting.org // Технопарк. 2004. С. 23. (Усадка - утяжина с. 21).
- 7 Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. Атлас литейных дефектов. М. Машиностроение. 2005. С. 327 (Усадка 234).

- 8 Timothy L. Donohue & Dr. Helmut F. Frye. «Characterization and Correction of “Casting Defects», TechForm - Advanced Casting Technology, L.L.C. - pg no. 89–97. 1999.
- 9 B. Chokkalingam & S.S. Mohamed Nazirudeen, «Analysis of Casting Defect Through Defect Diagnostic Study Approach», Journal of Engineering Annals of Faculty of Engineering Hunedoara, Vol. 2, pg no. 209–212, 2009.
- 10 Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар (справочник). М.: Metallurgy, 1983, 360 с.
- 11 Ефимов В.А., Легенчук В.И., Осипов В.П., Ищук А.Я., Хорунжий Ю.Н. Экспериментальные методы определения температурных полей и тепловых потоков при затвердевании стальных слитков. К.: ИПЛ АН УССР. 1973. 36с.
- 12 ГОСТ Р ИСО 9626-2020. Трубы игольные из нержавеющей стали для изготовления медицинских изделий. Требования и методы испытаний. Дата введения 2021-02-01. 28с.
- 13 Лейбензон В. О., Пілюшенко В. Л., Кондратенко В. М., Хричиков В. Є., Недопьокін Ф. В., Білоусов В. В., Дмитрієв Ю. В. Тверднення металів і металевих композицій / Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. Київ. Наукова думка. 2009. – 447 с.

Надійшла 28.09.2021

References

- 1 DSTU 9051:2020. (2021). Castings of cast iron and steel. Defects. Terms and definitions. Effective 01.04.2021. P. 15. [in Ukrainian].
- 2 GOST 19200-80. (1980). Castings of cast iron and steel. Terms and definition of defects. P. 13. [in Ukrainian].
- 3 American Foundry Society. (2007). International Atlas of Casting Defects. American Foundry Society. ASM International. Pages: 340, ISBN: 978-0874330533
- 4 Kazantsev S. P., Furman E. L. (2019). Casting defects in investment casting. Information portal of UrFU. <http://study.urfu.ru>. TsNOT YTOO. Ekaterynburh. P. 110. (Utiazhyna, p. 72–73). [in Russian].
- 5 Efymov V. A., Anysovykh H. A., Babych V. N. et al. (1991). Special methods of casting: a reference book. (Spetsyal'nye sposoby lyt'ia : spravochnik). Edited by V. A. Efymova. Moscow: «Mashynostroenye». 436 p. [in Russian].
- 6 Atlas of foundry defects. (2004). 136 Summit avenue. Montvale, NJ 07645-1720. Investment Casting Institute. www.investmentcasting.org. Technopark. 2004. P. 23. (Usadka – utiazhyna, p. 21). [in Russian].
- 7 Voronyn Yu. F., Kamaev V. A., (2005). Atlas of foundry defects. M. Mashynostroenye. 2005. P. 327 (Usadka, 234). [in Russian].
- 8 Timothy L. Donohue & Dr. Helmut F. Frye. (1999). "Characterization and Correction of “Casting Defects”, TechForm – Advanced Casting Technology, L.L.C. p. 89–97.
- 9 B. Chokkalingam & S.S. Mohamed Nazirudeen., (2009). "Analysis of Casting Defect Through Defect Diagnostic Study Approach", Journal of Engineering Annals of Faculty of Engineering Hunedoara, Vol. 2, p. 209–212.
- 10 Rohel'berh Y. L., Bejlyn V. M. (1983). Alloys for thermocouples (reference). M.: Metallurhiya, 360 p. [in Russian].
- 11 Efymov V. A., Lehenchuk V. Y., Osypov V. P., Yschuk A. Ya., Khorunzhyj Yu. N., (1973). Experimental methods for determining temperature fields and heat fluxes during solidification of steel ingots. K.: YPL AN USSR. 36 p. [in Russian].
- 12 GOST R ISO 9626-2020. Needle pipes made of stainless steel for the manufacture of medical devices. Requirements and test methods. Date of introduction 2021.02.01. 28 p. [in Russian].
- 13 Leibenzon V. O., Pilyushenko VL, Kondratenko VM, Khrychikov VE, Nedopyokin FV, Bilousov VV, Dmitriev YV Hardening of metals and metal compositions. Textbook for universities. Second edition, revised. Kyiv. Naukova dumka. 2009. 447 p. [in Ukrainian].

Received 28.09.2021

V. E. Khrychikov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of Sub-Department;
e-mail: litpro.kaf@gmail.com

A. D. Semenov, Postgraduate; e-mail: aldmsem@gmail.com

O. V. Menailo, Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor

I. A. Shalevska*, Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor

Y. V. Mianovska, Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor

National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

*Phisico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

REMOVAL OF SHRINKAGE DEPRESSION IN ART CASTINGS WITH DIFFERENT WALL THICKNESS

The purpose of the work is to eliminate the shrinkage depression in artistic castings with different wall thickness. The paper considers a fundamentally new method of preventing the formation of shrinkage depression. The casting defect has the form of a recess with rounded smooth edges on the surface in the thickened part of the casting, which distinguishes it from the shrinkage shell. Occurrence of a shrinkage depression is caused by formation in massive parts of a casting of thermal knots from which center the melt is filtered for food of shrinkage of the hardened layer on all nearest surfaces of a casting. Therefore, it was believed that when moving the melt from the thermal unit, in its center, a void and discharge is formed, which leads to the retraction and curvature of the hardened layer of metal on the surface of the casting with less strength. To prevent the formation of shrinkage depression, as a rule, use rods that reduce the thickness of the wall of the artistic casting, fillings and thickened spouts to feed the shrinkage of the thermal unit of the casting, internal and external refrigerators. But it is not always possible to install fillings due to non-compliance with the configuration of the surface of the artistic casting, internal rods for small castings are difficult to manufacture and fix in the mold. Therefore, on the example of making an artistic casting "Buffalo" when casting on melted models, a new method of removing the shrinkage depression is proposed. The paper took into account that the shrinkage shells and the porosity in the middle of the casting are not controlled in contrast to the high requirements for the accuracy of the surface shape of artistic cast products. The discharge that occurs in the center of the heat unit was eliminated by moving atmospheric air through a thin tubular needle made of austenitic stainless steel, which is used for medical injections. The tube with an outer diameter of 0.80 mm was installed in the mold with one end in the center of the thermal unit of the thickened part of the casting, and the other in the mold from the non-working surface, which is inaccessible to inspection and does not violate the aesthetic appearance of the artistic casting. Due to the connection of the other end of the tube with atmospheric air, the discharge in the center of the shrinkage does not occur. The new foundry system without a massive central feeder, which was previously fed into the thermal unit, eliminated shrinkage defects on the outer surface, reduced the cost of the foundry system, minting the surface at the junction of the feeder with the artistic casting, avoiding the formation of shrinkage depression. The results of the work are recommended for casting of artistic and jewelry products that have a lower melt temperature than in a stainless steel tubular needle.

Keywords: artistic casting, shrinkage depression, thermal unit, shrinkage, discharge, tubular needle, atmospheric pressure.