
НОВІ МЕТОДИ ТА ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ

УДК 621.74

О. В. Ноговіцин, д-р техн. наук, зав. відділу;

e-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com; ORCID – 0000-0003-2929-5300

В. П. Школяренко, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;

e-mail: hvp@ukr.net, ORCID – 0000-0001-5393-1077

К. А. Сіренко, мол. наук. співроб; e-mail: thermoexp.metal@gmail.com;

ORCID – 0000-0003-2613-8094

О. Л. Гончаров, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.;

e-mail: alexgoncharov51@gmail.com; ORCID – 0000-0002-7183-8981

Г. О. Антонов, канд. техн. наук; e-mail: geoant55@gmail.com;

ORCID – 0000-0001-9079-1691

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

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО МЕТОДУ ЛИТТЯ ОБИЧАЙОК З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ, ЩО ДЕФОРМУЮТЬСЯ

Мета роботи – створення наукових основ для вибору раціонального способу лиття обичайок з алюмінієвого сплаву типу АМг6М. Проведено огляд основних методів лиття алюмінієвих сплавів. Проаналізовано переваги та недоліки відомих методів лиття та їх вплив на якість обичайок з алюмінієвих сплавів, за результатами якого запропоновано раціональний спосіб лиття обичайок з алюмінієвого сплаву типу АМг6М. Обґрунтовано вибір раціонального методу лиття обичайок з алюмінієвих сплавів, що деформуються, на прикладі сплаву типу АМг6М. Раціональний вибір методу лиття обичайок залежить від конкретних вимог, які висуваються до обичайки з урахуванням критеріїв максимізації технічних і мінімізації економічних показників. Проведено експериментальні дослідження технології лиття обичайок в кокіль з перевіркою на гарячеламкість та проаналізовано одержані результати експериментів. Виявлено, що вібраційна обробка кокілю під час заливки призводить до покращення проливання форми, ущільнення структури металу, але ускладнює роз'єднувальну здатність при видаленні виливка із форми. Встановлено характерні особливості роз'єднувальних покриттів для вивільнення виливків із форми на основі графіту та цирконію. Виявлено, що для повного проливання форми, заливання алюмінієвого сплаву АМг6М в кокіль необхідно проводити з перегрівом до 740 °С; Встановлено, що для уникнення тріщин, внутрішню форму необхідно прогрівати до температури не вище 500 °С; Виявлено, що недоливи виникають при низькій температурі розплаву і кокіля перед заливанням або малій швидкості заливки. Встановлено, що тріщини виникають через високий перегрів розплаву та тривале охолодження виливка в кокілі. Визначено, що усадкові дефекти (раковини, стягання, поруватість) виникають через порушення спрямованого твердіння і недостатнього живлення виливка, через перегрів кокілю. Ураховуючи перспективність та раціональність технології лиття герметичних циліндричних

Нові методи та прогресивні технології лиття

оболонки із матеріалів системи Al–Mg (AMг6M) у кокіль, даний метод лиття спонукає до подальшого проведення досліджень.

Ключові слова: методи лиття, обичайки, алюмінієві сплави, що деформуються.

Для автомобілебудування, авіації та космічної техніки найбільший інтерес представляють високоміцні сплави систем Al–Cu (D16), Al–Zn(B95), Al–Mg (AMг6) [1]. Аналіз попередніх публікацій дозволив виявити, що недостатньо дослідженим науковим напрямом є вибір та обґрунтування раціональної технології лиття герметичних циліндричних оболонок з алюмінієвих сплавів, що деформуються. З урахуванням того, що механічна міцність зварного шва алюмінієвих обичайок, виготовлених з листового алюмінію, не завжди задовольняє вимоги, які до них висуваються, актуальною є проблема вибору та обґрунтування раціонального способу лиття безшовних алюмінієвих обичайок.

Раціональний метод лиття алюмінієвих обичайок визначається після аналізу таких технічних вимог замовника, як: матеріал виливків, форма та геометричні розміри, характеристики міцності, точність параметрів (ступінь шорсткості, товщина стінок та ін.). З урахуванням цих основних параметрів, а також характеристик міцності та вимог до структурних параметрів, обирається конкретний спосіб лиття.

Відомі такі основні види технології лиття обичайок з алюмінієвих сплавів, як: відцентрове лиття, лиття в піщані форми, лиття в кокіль, лиття за моделями, які газифікуються, лиття під тиском та ін. При детальному розгляді основних видів технологій лиття обичайок з алюмінієвих сплавів, що деформуються, визначено їхні переваги та недоліки.

Відцентрове лиття. Переваги: високі щільність і зносостійкість металу. Недоліки: ліквіація (розшарування металу) і необхідність подальшої механічної обробки внутрішньої поверхні відлитих заготовок.

Лиття в піщані форми. Переваги: один з найдешевших і часто використовуваних способів лиття. Недоліки: заготовки, відлиті даним методом, мають найменшу точність геометричних розмірів.

Лиття в кокіль (багаторазову металічну форму). Переваги: точний метод лиття, який широко використовується у виробництві для виплавки великих серій деталей. Недоліки: при недотриманні технології при литві обичайок може призводити до появи гарячих тріщин.

Лиття під тиском. Переваги: метод, що підходить для лиття деталей складної конфігурації, який дозволяє автоматизувати процес лиття і робить його менш трудомістким, тому підходить для серійного виробництва. Поверхня одержуваної деталі має високу якість і точність розмірів. Недоліки: вартісне обладнання для лиття.

Лиття за моделями, що витоплюються (лиття в одноразову форму, що руйнується). Переваги: метод використовується для отримання деталей складної форми з високою чистотою поверхонь і точністю виготовлення, що дозволяє зекономити кошти при механічній обробці. Недоліки: одноразова форма руйнується, коли виріб вивільняється, висока вартість формувальних матеріалів, складність модельного оснащення, підвищене виділення шкідливих хімічних речовин в ході термічного видалення моделі, вартісні допоміжні матеріали, тривалий цикл отримання заготовок, висока енергоємність процесу, обмеження по масі і розміру виливків.

Лиття по моделях, що газифікуються. Переваги: найбільш вигідний метод з точки зору економічності процесу виробництва. Недоліки: практичне застосування цього методу призводить до насичення виливків газами і утворення в них поруватості.

Лиття в оболонкові форми. Переваги: можливість отримання тонкостінних виливків складної форми, гладка і чиста поверхня виливків, невелика витрата суміші, якісна структура металу за рахунок підвищеної газопроникності форм, широка можливість автоматизації, невеликі допуски на обробку різанням. Недоліки: відносно висока

вартість смоляного зв'язуючого, складність модельного і стрижневого оснащення, підвищене виділення шкідливих хімічних речовин, недостатня міцність оболонок при отриманні складних виливків.

Раціональний вибір методу лиття обичайок залежить від конкретних вимог, які висуваються до обичайки з урахуванням критеріїв максимізації технічних і мінімізації економічних показників.

В даному випадку технічними вимогами до лиття обичайок є:

гомогенний склад обичайки з мінімально можливою подальшою механічною обробкою внутрішньої поверхні відлитих заготовок (не дозволяє в даному випадку застосовувати метод відцентрового лиття і його застосування залежатиме від вимог, які висуваються до обичайок);

точність геометричних розмірів та чистота поверхні (не дозволяє застосовувати метод лиття в піщані форми);

багаторазова форма для лиття (не дозволяє застосовувати метод лиття по виплавлюваних моделях);

відсутність газових пор та тріщин (не дозволяє застосовувати метод лиття по моделях, що газифікуються);

мінімальні економічні витрати на виготовлення форми та литві (не дозволяє застосовувати метод лиття в оболонкові форми).

З урахуванням вищевикладених переваг і недоліків методів лиття, раціональним методом лиття обрано метод лиття обичайок в кокіль та проведено дослідження на гарячеламкість при даному виді лиття.

Відомо, що лиття в кокіль має такі переваги [2]:

дає можливість багаторазового використання форм;

скорочує витрати на формувальні матеріали;

дозволяє отримати виливки підвищеної точності, з меншими припусками на механічну обробку;

забезпечує більш чистову поверхню лиття, знижує шорсткість поверхні виливка;

дозволяє корегувати якість, міцність і інші механічні властивості виливків;

дозволяє автоматизувати і механізувати процес;

є економічним і ефективним;

Недоліками лиття в кокіль є [2]:

щільність форми провокує поруватість виливків;

непіддатливість кокілю викликає внутрішні напруги у виливка, що призводить до утворення гарячих тріщин.

Один з найважливіших етапів при розробці технології виготовлення ливарної форми – визначення типу ливникової системи, яка повинна відповідати певним вимогам [3]. По-перше, забезпечувати заповнення розплавом форми так, щоб не відбувалося захоплення повітря в ході заливки. По-друге, сприяти вільному видаленню газів із роз'єднувального покриття та сплаву, що заливається. По-третє, забезпечувати оптимальний тепловий режим форми для більш сприятливого заповнення форми та направленої кристалізації майбутнього виливка.

Якість поверхні відлитих обичайок безпосередньо залежить від якості фарби та технології її нанесення. Найважливіші якості фарби – плинність, газопроникність, вогнетривкість, мінімальна газотворність; фарба повинна мати достатню твердість, міцність і седативність, в'язкість та роз'єднувальну здатність при відділенні від форми. При литті кокіль повинен мати оптимальну температуру. Мета підігріву [4]:

поліпшення якості виливків, попередження недоливів та тріщин;

подовження терміну експлуатації кокілю, усунення теплового удару;

попередження утворення газових раковин і дотримання правил техніки безпеки, запобігання конденсації вологи.

Перегрів кокілю неприпустимий, оскільки [4]:

знижується стійкість кокіля;

знижується продуктивність (збільшення часу охолодження).

Нові методи та прогресивні технології лиття

У ході проведення експерименту відлито три обичайки (рис. 1) в сталевий кокіль, змащений роз'єднувальним покриттям на основі графіту. Заливка сплаву АМг6М відбувалася при температурі 740 °С. Заливання і охолодження виливків проводили в холодну форму на відкритому повітрі, вилучення виливків з форми було складним – за допомогою механічного вибивання з форми. Перший виливок був залитий без попереднього нагріву кокіля і після кристалізації утворилися тріщина та значне неповне пролиття форми (рис. 1, а). На другому виливку, який був залитий при прогрітому до 500 °С центральному стрижні, тріщини відсутні, але залишились незначні дефекти неповного пролиття форми (рис. 1, б). Третій виливок, який був залитий при прогрітому до 500 °С центральному стрижні та при застосуванні вібрації, не мав тріщини, форма пролилася повністю, але вібрація настільки ущільнила структуру

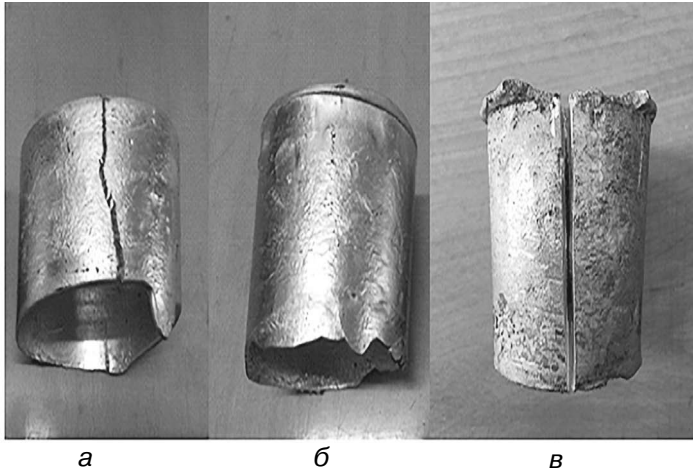


Рис. 1. Фото відлитих обичайок без прогріву форми (а), з прогрівом форми (б), з прогрівом та вібраційним ущільненням форми (в), яка оброблена покриттям на основі графіту

металу, що виливок неможливо було від'єднати від форми і прийшлося розрізати виливок для від'єднання його від форми (рис. 1, в).

Таким чином, прогрів форми перед заливкою забезпечив не тільки відсутність тріщини, а й покращив проливання форми. Застосування роз'єднувального покриття на основі графіту забезпечило гладку поверхню виливків, але недостатня роз'єднувальна

здатність покриття призвела до ускладненого вивільнення виливка із форми.

В ході наступного експерименту для покращення роз'єднувальної здатності при від'єднанні виливка від форми на форму було нанесено покриття на основі цирконію.

У результаті застосування покриття на основі цирконію виливок легко відділювався від форми, але поверхня виливка виявилася шаршавою, з порами

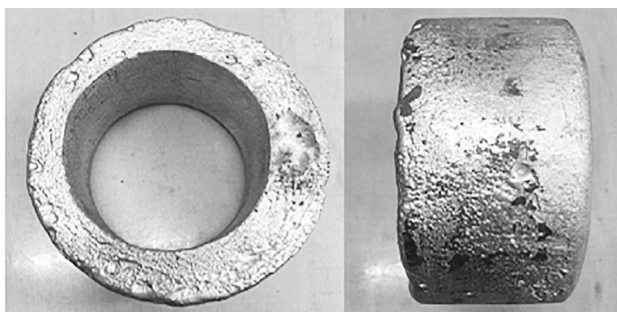


Рис. 2. Фото відлитих обичайок з обробкою форми покриттям на основі цирконію

та раковинами через те, що фарба наносилась пензлем, а не розпиленням (рис. 2).

Висновки

- Враховуючи перспективність та раціональність технології лиття герметичних циліндричних оболонок із матеріалів системи Al–Mg (АМг6М) у кокіль, даний метод

Нові методи та прогресивні технології лиття

лиття спонукає до подальшого проведення досліджень. При технічних вимогах, які висунуті в даній статті, раціональним методом лиття запропоновано лиття в кокіль. У результаті експериментів, проведених за технологією лиття обичайок в кокіль з алюмінієвого сплаву АМг6М, одержано такі результати:

Виявлено, що для повного проливання форми, заливання алюмінієвого сплаву АМг6М в кокіль необхідно проводити при температурі розплаву ~ 740 °С;

- Встановлено, що для уникнення тріщин, внутрішню форму необхідно прогрівати до температури не вище 500 °С;

- Виявлено, що недоливи виникають за недостатньої температури розплаву і кокілю перед заливанням або при малій швидкості заливки;

- Встановлено, що тріщини виникають через високий перегрів розплаву та тривале охолодження вилівка в кокілі;

- Виявлено, що вібраційна обробка під час заливки призводить до покращення проливання форми, ущільнення структури металу, але ускладнює роз'єднувальну здатність при роз'єднанні вилівка від форми;

- Визначено, що усадочні дефекти (раковини, стягання, поруватість) виникають через порушення спрямованого твердіння і недостатнього живлення вилівка, через перегрів кокілю.

Список літератури

1. Ноговіцин О. В., Русаков П. В., Школяренко В. П., Сіренко К. А. Моделювання процесів вібраційного ущільнення ливарних форм з урахуванням асиметрії фрикційних сил. *Процеси лиття*. 2021. № 1. С. 19–25.
2. Литье в кокиль – технология, преимущества, недостатки, изготовление. URL: <https://intehstroy-spb.ru/spravochnik/lit-e-v-kokil-opisanie-processa.html>.
3. Могильов В. К., Лев О. І. Довідник ливарника. М.: Машинобудування, 1988. 272 с.
4. Строганов Г. Б., Альтман М. Б., Мельников А. В. та ін. Фасонне лиття алюмінієвих сплавів: навч. Посібник. М.: Машинобудування, 1980. 296 с.

Надійшла 29.03.2021

References

1. Nogovitsyn O. V., Rusakov P. V., Shkolyarenko V. P., Sirenko K. A. (2021). Modeling of vibration compaction processes of foundry molds taking into account the asymmetry of frictional forces. *Casting processes*. No. 1. Pp. 19–25. [in Ukrainian].
2. Chill casting – technology, advantages, disadvantages, manufacturing. URL: <https://intehstroy-spb.ru/spravochnik/lit-e-v-kokil-opisanie-processa.html>. [in Russian].
3. Mogilev V. K., Lev O. I. (1988). *Foundry Handbook*. M.: Mechanical Engineering. 272 p. [in Ukrainian].
4. Stroganov G. B., Altman M. B., Melnikov A. W. and et al. (1980). *Shaped casting of aluminum alloys: textbook. Manual*. M.: Mechanical Engineering. 296 p. [in Ukrainian].

Received 29.03.2021

O. V. Nogovitsyn, Dr. Sci. (Engin.), Head of Department,

e-mail: alexey.nogovitsyn@gmail.com, ORCID – 0000-0003-2929-5300

V. P. Shkolyarenko, Ph.D. (Engin), Senior Research Scientist, e-mail: hvp@ukr.net,

ORCID – 0000-0001-5393-1077

K. A. Sirenko, Research Scientist, e-mail: thermoexp.metal@gmail.com,

ORCID – 0000-0003-2613-8094

O. L. Goncharov, Ph.D. (Engin), Senior Research Scientist,

e-mail: alexgoncharov51@gmail.com, ORCID – 0000-0003-2613-8094

G. O. Antonov, Ph.D. (Engin), e-mail: geoant55@gmail.com,

ORCID – 0000-0001-9079-1691

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

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE RATIONAL METHOD OF CASTING CUSTOMS FROM DEFORMABLE ALUMINUM ALLOYS

The purpose of the work is to create scientific bases for the choice of a rational method of casting shells from aluminum alloy type AMg6M. A review of the main methods of casting aluminum alloys. The advantages and disadvantages of the known methods of casting and their influence on the quality of shells made of aluminum alloys are analyzed, as a result of which a rational method of casting shells made of aluminum alloy type AMg6M is proposed. The choice of a rational method of casting shells from deformable aluminum alloys is substantiated on the example of AMG6M type alloy. The rational choice of the method of shell casting depends on the specific requirements for the shell, taking into account the criteria for maximizing technical and minimizing economic indicators. Experimental researches of technology of casting of shells in a mold with check for hot brittleness are carried out and the received results of experiments are analyzed. It was found that the vibration treatment of the mold during casting leads to improved shedding of the mold, compaction of the metal structure, but complicates the separation ability when removing the casting from the mold. Characteristic features of separating coatings for releasing castings from graphite and zirconium molds have been established. It was found that for complete shedding of the mold, pouring aluminum alloy AMg6M in the mold must be carried out with overheating to 740 °C; It is established that to avoid cracks, the internal form must be heated to a temperature not exceeding 500 °C; It was found that underfillings occur at low temperature of the melt and the mold before pouring or low pour rate. It is established that cracks occur due to high overheating of the melt and prolonged cooling of the casting in the mold. It is determined that shrinkage defects (shells, shrinkage, porosity) occur due to violation of directional hardening and insufficient nutrition of the casting, due to overheating of the mold. Given the prospects and rationality of the technology of casting sealed cylindrical shells from materials of the Al–Mg system (AMg6M) in the mold, this method of casting encourages further research.

Keywords: casting methods, shells, deformable aluminum alloys.

До уваги авторів!

Статті, що надходять в редакцію, повинні мати анотації і ключові слова українською та англійською мовами. Об'єм статті - не більше 12 стор., малюнків - не більше 5.

Статті подаються як на папері, так і в електронному форматі. Для текстових матеріалів бажано використати формат doc. Для графічних матеріалів - jpeg. Графічні матеріали необхідно зберігати в окремих файлах. Фотографії, малюнки, графіки і креслення мають бути чорно-білими, чіткими і контрастними.