

среднечастотные преобразователи в системах электропитания индукционных установок // Электротехника, 2002, № 9. С.9-18.

6. Rudnev V. Induction Heating and Heat Treating for Aerospace Applications. Adv Mater Process. 2018 Feb-Mar;176(2). P.58-61.

7. Branover H. et al. Novel potentialities of electromagnetic stirring of melts in metallurgy //Proceedings of the joint. – 2005. – С. 31-34.

8. Eckert S, Nikrityuk P., Rabiger D., et al. Efficient melt stirring using pulse sequences of a rotating magnetic field: Part I. Flow field in a liquid metal column. Metallurgical and Materials Transactions: Process Metallurgy and Materials Processing Science, B; New York T38B, №6, (Dec 2007). P.977-988.

9. Ma X., Yang Y., Wang B. Effect of pulsed magnetic field on superalloy melt // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2009. – Т. 52. – №. 23-24. – С. 5285-5292.

10. Wang X. et al. A periodically reversed flow driven by a modulated traveling magnetic field: Part I. Experiments with GaInSn // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2009. – Т. 40. – №. 1. – P. 82.

УДК 621.74

В. П. Школяренко, А. С. Нурадинов, С. В. Пригунов, І. А. Нурадинов

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

E-mail: hvp@ukr.net

МЕТОД УНИКНЕННЯ ГАРЯЧЕЛАМКОСТІ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК ЗІ СПЛАВУ АМг6 ПРИ ЛИТТІ У КОКІЛЬ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛИТТЯ ТА ЗАСТОСУВАННЮ ВІБРАЦІЇ

Відомо, що алюмінієві сплави чутливі до гарячого розтріскування, наприклад, сплави Al-Cu або Al-Mg-Si [1]. У світі розроблено багато методів оцінки чутливості до утворення гарячих розривів [2-11], але дослідження проблеми гарячеламкості при литті у кокіль трубних заготовок зі сплаву АМг6 не проводилось, що обумовлює актуальність таких досліджень.

Згідно ДСТУ 9051:2020 [2] гарячі тріщини є одним з дефектів у розділі несучильностей у тілі вилівка. Схильність до утворення гарячих тріщин називається гарячеламкістю, яка залежить не тільки від піддатливої чи не піддатливої форми, температур

прогріву форми та розплаву перед заливанням, але й від його хімічного складу. Не дивлячись на важливу практичну значимість проблеми гарячеламкості сплавів, загальноприйнята проба для її оцінки ще не розроблена, а для кільцевих заготовок Зінгером і Дженінгсом розроблена кільцева проба [3]. У цій кільцевій пробі сплав заливають безпосередньо у відкриту порожнину форми – простий кокіль зі сталевим стрижнем. Показником гарячеламкості є сумарна довжина тріщин на поверхні кільцевого виливка.

У даній роботі дослідження гарячеламкості проведено на сплаві АМг6. Основу хімічного складу сплаву АМг6 складають Al \approx 93,69% легований Mg \approx 5%. Інші хімічні елементи наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сплаву АМг6

Кремній % мас. част.	Залізо % мас. част.	Мідь % мас. част.	Марганець % мас. част.	Магній % мас. част.	Цинк % мас. част.	Титан % мас. част.	Берилій % мас. част.	Калій % мас. част.	Сурма % мас. част.
0,4	0,4	0,1	0,5-0,8	5,8-6,8	0,2	0,02-0,01	0,0002-0,005	0,05	0,1

У ході проведення експериментів було відлито три кільцеві проби на гарячеламкість (рис. 2) в сталевий кокіль, пофарбований графітовою фарбою. Заливка сплаву АМг6 відбувалася при температурі 740 °С. Заливання і охолодження виливків проводили в холодну форму на відкритому повітрі, вилучення виливків з форми проводилось механічним вибиванням виливка із форми. Перший виливок був отриманий без попереднього нагріву кокілю, і, як видно з рис. 2, після тверднення утворилася гаряча тріщина. Також мало місце неповне пролиття форми через холодний кокіль (рис. 2, а). У другому виливку, який сформувався за умови, коли розплав заливали в кокіль з прогрітом до 500 °С центральним стрижнем, тріщини відсутні, але залишилися незначні дефекти неповного пролиття форми (рис. 2, б). Третій виливок, який одержано заливанням рідкого металу в кокіль з прогрітом до 500 °С центральним стрижнем та із застосуванням вібрації в процесі тверднення, не мав тріщини. Форма пролилася повністю, але вібрація настільки ущільнила структуру металу, що виливок неможливо було від'єднати від форми, тому виливок прийшлося розрізати (рис. 2, в).

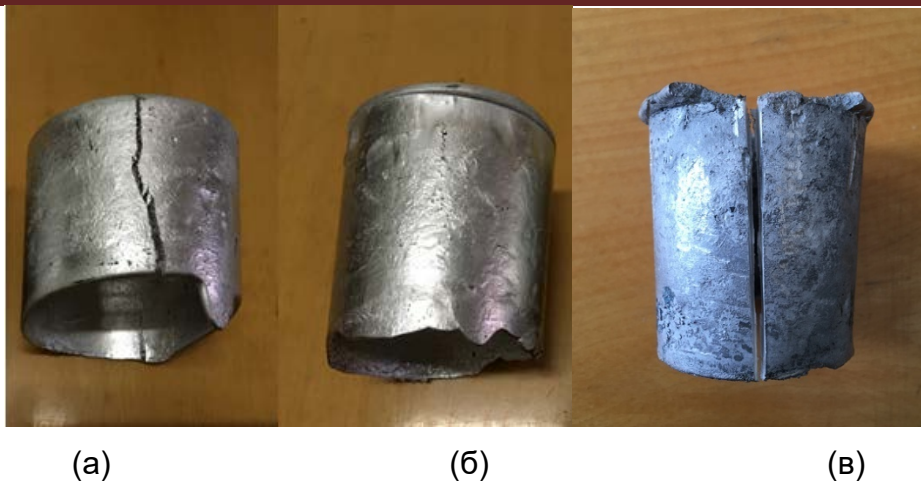


Рис. 2. Фото кільцевих проб: (а) – без прогріву форми, без покриття кокілю фарбою, (б) – з прогрівом, без покриття кокіль фарбою, (в) – з прогрівом, вібрацією та покриттям кокілю графітовою фарбою

З рисунку 2 видно, що прогрів форми перед заливкою забезпечив не тільки відсутність тріщини, а й покращив проливання форми. Покриття внутрішньої поверхні кокілю мастилом на основі графіту забезпечило гладку поверхню виливків, але недостатня роз'єднувальна здатність покриття призвела до ускладненого вивільнення виливка із форми. Для покращення роз'єднувальної здатності при від'єднанні виливка від форми в ході наступного експерименту на форму було нанесено покриття на основі цирконієвої фарби, рис. 3.



Рис. 3. Фото кільцевих проб покритих фарбою на основі цирконію

У результаті застосування покриття на основі цирконію виливок легко відділився від форми, але поверхня виливка виявилася шорсткою, з порами та раковинами через те, що фарба наносилась пензлем, а не розпиленням.

З метою виявлення впливу температур прогріву кокілю та температур заливання розплаву на утворення гарячих тріщин при литті кільцевих проб з вібрацією та без були проведені дослідження, результати яких наведено у табл. 2 та 3.

Таблиця 2 – Температурні параметри прогріву кокілю

№ експ.	Температура прогріву кокілю перед литтям °С	Температура розплаву перед литтям °С	Наявність тріщин без вібрації	Наявність тріщин з вібрацією
1.	20	740	+	+
2.	100	740	+	-
3.	200	740	+	-
4.	300	740	+	-
5.	400	740	-	-
6.	500	740	-	-

Таблиця 3 – Температурні параметри розплаву перед литтям

№ експ.	Температура прогріву кокілю перед литтям °С	Температура розплаву перед литтям °С	Наявність тріщин без вібрації	Наявність тріщин з вібрацією
1.	300	700	+	-
2.	300	710	+	-
3.	300	720	+	-
4.	300	730	+	-
5.	300	740	-	-
6.	300	750	-	-

За даними таблиць 2 та 3 в подальшому обирали раціональні технологічні параметри: температура кокілю – 300 °С, температура заливання розплаву при литті кільцевої проби з вібрацією та без – 700...740 °С. З метою визначення раціональних технологічних параметрів лиття трубних заготовок було проведено дослідження впливу вібрації на тріщиностійкість сплаву АМг6 при литті у кокіль. Амплітуда вібрації становила 0,2 мм, частота в ході кожного експерименту була однаковою, її змінювали у діапазоні від 4 Гц до 32 Гц. Дослідженню підлягав процес тверднення вилівка трубної заготовки у кокілі під дією вібрації. Вібрацію кокілю починали перед заливкою розплаву, нагрітого до температури 700...740 °С, і закінчували через 1 хв після завершення заливки.

Вібрація позитивно позначилася на тріщиностійкості сплаву АМгб. Під дією вібрації тріщина не утворювалась. З шести виливків, що тверділи під дією вібрації, у двох з них утворилася тріщина. Решта чотири виливка – без тріщин. Причиною цього є поліпшення живлення виливків за рахунок вібрації, що сприяє надходженню розплаву не тільки в зону формування тріщини, але і в зони усадкових дефектів. Встановлено, що вібрація виливка в процесі заливки та тверднення з амплітудою 0,2 мм підвищує тріщиностійкість виливків в діапазоні частот від 4 Гц до 23 Гц. Механізм цього явища полягає у посиленні заліковування усадкових тріщин при вібрації.

Висновки

1. Виявлено, що гарячі тріщини виникають через лиття у непрогрітій кокілю, високий перегрів розплаву та тривале охолодження виливка у кокілі.
2. Доведено, що в результаті гальмування формою лінійної усадки виливка виникають напруження, які можуть або зруйнувати виливок, або настільки стиснути внутрішню форму, що виливок дуже складно буде відокремити від форми.
3. Виявлено, що вібраційна обробка під час заливки призводить до заліковування гарячих тріщин, покращення проливання форми, ущільнення структури металу, але ускладнює роз'єднувальну здатність при відокремленні виливка від форми.
4. Визначено такі оптимальні параметри лиття: температура прогріву кокілю 300 °С, температура розплаву АМгб перед заливанням у кокілю 700 °С, амплітуда вібрації кокілю 0,2 мм, частота вібрації кокілю від 4 Гц до 23 Гц.

Список літератури

1. Hot tearing Susceptibility in Aluminum Alloys. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=390>
2. ДСТУ 9051:2020 «Виливки із чавуну та сталі. Дефекти. Терміни та визначення понять». 15с.
3. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. Москва : «Наука», 1966, 300 с.
4. Оптимізація технологічних процесів лиття безшовних труб у кокілю гравітаційним методом / Школяренко В.П., Нурадинов А.С., Сіренко К.А. // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Наука і Металургія. Дніпро, ІЧМ НАН України, 2022. С. 31-32. http://isi.gov.ua/wp-content/uploads/2022/11/%D0%9D%D0%9C_2022.pdf
5. Liu B.C., Kang J.W., Xiong S.M. A study on the numerical simulation of thermal stress during the solidification of shaped castings Science and Technology of Advanced

Materials. №2.1, 2001. P.p.157–164. [https://doi.org/10.1016/S1468-6996\(01\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S1468-6996(01)00041-9)

6. Ol'khovik E.O., Desnitskii V.V., Molchanyuk R.A. Interaction between casting and mold during solidification. Steel №37.5, 2007. P.p.422–424. <https://doi.org/10.3103/S0967091207050051>

7. Liu J.X., Liao R.D. Simulation of Thermal Stress and Hot Tearing in Engine Block Casting Advanced Materials Research №154-155, 2010. P.p.1571–1574. <https://www.scientific.net/amr.154-155.1571>

8. Ol'khovik E. Development the Methods for Preventing Hot Cracking With Use Analysis of Temperature Fields. VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering" IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering №142, 2016. P.p.1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/142/1/012084>

9. Causes of casting cracks and six kinds of common defects and their prevention. Yaang Pipe Industry Co., Limited, China. 2021. <https://www.epowermetals.com/causes-of-casting-cracks-and-six-kinds-of-common-defects-and-their-prevention.html>

10. Vishwakarma K, Chaturvedi M. A study of HAZ microfissuring in a newly developed Allvac 718 Plus superalloy. Superalloy, 2008. P.p.241–250. https://www.tms.org/Superalloys/10.7449/2008/Superalloys_2008_241_250.pdf

11. Singh S., Andersson J. Hot cracking in cast alloy 718, Science and Technology of Welding and Joining, №23:7, 2018. P.568-574, <https://doi.org/10.1080/13621718.2018.1429238>

УДК: 621.74

В. П. Школярєнко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

E-mail: hvp@ukr.net

ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО МЕТАЛУРГІЙНИХ ТА ЛИВАРНИХ ПЕЧЕЙ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ЇХ РОЗВИТКУ

Розвиток металургії та ливарного виробництва неможливий без розвитку пічного обладнання. Розробка нового та модернізація існуючого пічного обладнання завжди розпочинається з обґрунтування технічних вимог до їх розробки, що обумовлює актуальність таких досліджень.