

Школяренко В.П., Нурадинов А.С., Пригунов С.В., Нурадинов І.А.
(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**СПОСІБ УНИКНЕННЯ ГАРЯЧЕЛАМКОСТІ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК ЗІ
СПЛАВУ АМГ6 ПРИ ЛИТТІ У КОКІЛЬ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ
ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛИТТЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЇ**
E-mail: hvp@ukr.net

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 сплавом АМГ6 не проводилось, що обумовлює актуальність таких досліджень.

Згідно ДСТУ 9051:2020 [2] гарячі тріщини є одним з дефектів у розділі несучільностей 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 вилівка.

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, мас. %

Кремній	Залізо	Мідь	Марганець	Магній	Цинк	Титан	Берилій	Калій	Сурма
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 АМгб відбувалася при температурі 740 °С. Заливання і охолодження виливків проводили в холодну форму на відкритому повітрі, вилучення виливків з форми проводилось механічним вибиванням вилка із форми. Перший вилков 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. 1, а). У другому вилку, який сформувався за умови, коли розплав заливали в кокіль з прогрітим до 500 °С центральним стрижнем, тріщини відсутні, але залишились незначні дефекти неповного пролиття форми (рис. 1, б). Третій вилков, який одержано заливанням рідкого металу в кокіль з прогрітим 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 вилков неможливо було від'єднати від форми, тому вилков прийшлося розрізати (рис. 1, в).



а б в

Рис. 1. Фото кільцевих проб: а – без прогрівання форми, без покриття кокілю фарбою; б – з прогріванням, без покриття кокілю фарбою; в – з прогріванням, вібрацією та покриттям кокілю графітовою фарбою

З рис. 1 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 вилівка із форми. Для покращення роз'єднувальної здатності при від'єднанні вилівка від форми в ході наступного експерименту на форму було нанесено покриття на основі цирконієвої фарби, рис. 2.



Рис. 2. Фото кільцевих проб, покритих фарбою на основі цирконію

У результаті застосування покриття на основі цирконію вилівок легко відділився від форми, але поверхня вилівка 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 табл. 3.

Таблиця 2 – Температурні параметри прогріву кокілю

№ експ.	Температура прогрівання 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 прогрівання 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 АМгб 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 трубною заготовкою у кокілі під дією вібрації. Вібрацію кокілю починали перед заливанням розплаву, нагрітого до температури 700...740 °С, і закінчували через 1 хв після завершення заливання.

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 вилівка – 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 вилівка 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 непрогрітий

кокіль, 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 кокіль 700 °С, амплітуда вібрації кокілю 0,2 мм, частота вібрації кокілю від 4 Гц до 23 Гц.

Література:

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». – 15 с.

3. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. Москва: «Наука», 1966. – 300 с.

4. Оптимізація технологічних процесів лиття безшовних труб у кокіль 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 moldduring solidification. Steel №37.5, 2007. 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 BlockCasting Advanced Materials Research №154-155, 2010. 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 PublishingIOP 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. 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>

Школярєнко В.П., Серєденко О.В., Нурадинов А.С., Баранов І.Р., Пригунов С.В.
(ФТІМС НАН України, м. Київ)

**СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИЛИВКІВ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК ЗІ
СПЛАВУ АМг6 ВІДЛИТИХ У КОКІЛЬ ГРАВІТАЦІЙНИМ МЕТОДОМ ПІД
ДІЄЮ ВІБРАЦІЇ**

E-mail: hvp@ukr.net

У попередніх дослідженнях [1-7] було проведено оптимізацію параметрів лиття алюмінієвих трубних заготовок у кокіль, але через обмежений обсяг статті не було опубліковано частину результатів експериментальних досліджень.