

УДК 621.74.045

Голтвяніца Ю.Г.¹, Голтвяница В.С.², Сажнев В.М.³, Торба Ю.І.⁴, Бехтер Р.В.⁵

¹аспірант НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

²канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

³канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

⁴канд. техн. наук, ДП ЗМКБ «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка, м. Запоріжжя

⁵ДП ЗМКБ «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка, м. Запоріжжя

ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КЕРАМІЧНИХ ФОРМ У ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Лиття за витоплюваними моделями є одним з основних методів отримання заготовок деталей авіаційних двигунів, в т.ч. лопаток, імелера, моноколів. Однак цей вид лиття потребує прецизійного підходу до організації виробництва. Нажаль вихід придатного при даному виді лиття є нестабільним, і може опускатися до 35%, внаслідок виявлення у виливках, що отримуються, таких не виправних дефектів, як значне сміття, гарячі тріщини, механічні пошкодження, рихлоти, недоливи, «корольок», «спай».

Міжопераційний контроль ускладнений мінімальним набором кількісних показників, які можна виміряти.

Вважається, що одним із найбільш значущих дефектів є «засор», тобто відкриті (зовнішні) або закриті (внутрішні) порожнини в тілі виливка, які заповнені частинками керамічних стрижнів форми, футеровки тигля, тощо. У випадку зовнішніх порожнин, встановити походження раковини практично не є можливим. Треба сказати, що з дефектом типу «сміття» можна сплутати утяжини. Для усунення такого роду дефектів покращують технологічність виливка (використовуючи симуляцію процесу в середовищі комп'ютерного моделювання), а також додаючи до конструкції форми додаткові конструктивні елементи литникової системи.

Статистика виробництва налічує не менше 20 причин, утворення зазначеного дефекту, проте, традиційно, дефекти типу «сміття» пов'язують з дефектами багат шарових керамічних оболонкових форм, такі як тріщини, зниження міцності форми після виплавлення модельної маси та погіршення інших параметрів, що призводять до руйнування лицьового шару вогнетривкого покриття [1].

Існує кілька критичних властивостей керамічних форм, які визначають їхню придатність для лиття за витоплюваними моделями будь-яких сплавів. Основними властивостями, які наразі виділяють як критичні для визначення подальшого застосування керамічної форми, є міцність на вигин, хімічна інертність, пористість, мікроструктура, теплопровідність і теплове розширення. Властивості та методи їх визначення можна конкретизувати як: міцність на вигин (при 3-точковому вигині), морфологія/мікроструктура поверхні, що визначається за допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ), пористість, що визначається за допомогою інтрузійної порозиметрії, композиція, що визначається за допомогою електронного зондового мікроаналізу, теплове розширення, що визначається за допомогою теплової дилатометрії, коефіцієнт теплопровідності, що визначається за допомогою методу лазерного спалаху, лінійна усадка, контрольована за допомогою розмірних вимірювань. Також у технологічному процесі часто використовують відеозонд, але його застосування обмежене розмірами камери та абсолютною суб'єктивністю контрольного майстра [2].

Виробництво зацікавлене у неруйнівних методах контролю, які допоможуть безпосередньо під час контрольної операції технологічного процесу відсіяти форму, яка з великою імовірністю несе у собі приховані дефекти, що спричиняють дефекти у виливку.

Цифрова рентгенографія набуває все більшого поширення, хоча проблеми, пов'язані з стандартами інтерпретування результатів, ще не вирішено остаточно [3].

До неруйнівних методів також можна віднести фотограмметричний, термовізійний, комп'ютерну томографію [4]. Перераховані методи все ж відносяться до громіздких лабораторних.

Існують більш гнучкі методи неруйнівного контролю, пов'язаних з випромінюванням звукових коливань. Ехо-імпульсний, резонансно-імпедансний, тіньовий, зеркально-тіньовий, і, зокрема, резонансно-акустичний метод. Перелічені методи, окрім останнього, застосовуються у вітчизняному виробництві.

Резонансно-акустичний метод неруйнівного контролю (NDT-RAM) розроблено та впроваджується компанією «The Modal Shop by Amphenol Company», США, і набув поширення під час інспектування деталей, виготовлених різними методами, литтям, адитивними технологіями та

порошковою металургією.

Резонансно-акустична дефектоскопія вимірює структурну реакцію об'єкта у процесі випромінювання звуковими хвилями, та оцінює її у порівнянні з варіацією від контрольного набору якісних деталей до дефектів на екрані пристрою збирання даних. Об'ємний підхід перевіряє всю деталь, як на зовнішні, так і на внутрішні структурні дефекти або відхилення, забезпечуючи об'єктивні та кількісні результати. Ця структурна реакція є унікальною і вимірюваною характеристикою, яка визначається механічними резонансами. Ці резонанси є функцією геометрії деталі та властивостей матеріалу. Вимірюючи резонанси деталі, можна визначити структурні характеристики цієї деталі за один тест. [5].

Дотепер методом резонансно-акустичної дефектоскопії досліджувалися лише металеві деталі, принцип налаштування обладнання для отримання доволі точного висновку про придатність вже описані [6].

Цікаво перевірити на практиці запропонований метод у застосуванні для контролю саме керамічної оболонкової форми, оскільки є кілька факторів, які можуть вплинути на впевненість сегрегації форм на придатні та непридатні – це індивідуальність кожної форми за розмірами, бо форми виготовляються вручну, та неоднорідність структури. Водночас, цих факторів позбавлені металеві прутки вихідного металу, який використовується для виготовлення шихтового матеріалу. Skorиставшись методом NDT-RAM абсолютно точно можливо зробити висновок про наявність шлакових пор у товщині металевих прутків вихідного металу.

Список використаних джерел

1. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – с. 587.
2. Kanyo, J. E., Schafföner, S., Uwanyuze, R. S., & Leary, K. S. (2020). An overview of ceramic molds for investment casting of nickel superalloys. *Journal of the European Ceramic Society*. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2020.07.013
3. Ford, David A. "Future Trends in Investment Casting–Drivers for Development." (2008).
4. Žaba, K., et al. "Application of non-destructive methods to quality assessment of pattern assembly and ceramic mould in the investment casting elements of aircraft engines." *Archives of Metallurgy and Materials* 59.4 (2014): 1517-1525.
5. Stultz, Gail & Bono, R. & Schiefer, Mark. (2005). *Fundamentals of Resonant Acoustic Method NDT*.
6. Obaton, A.-F., Butsch, B., Carcreff, E., Laroche, N., Tarr, J., & Donmez, A. (2020). Efficient volumetric non-destructive testing methods for additively manufactured parts. *Welding in the World*.