
УДК 621.791

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ
ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВАННЯ
ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ**

Лабарткава А.В., Мартиненко В.О., Коваль С.С., Лабарткава О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Николаїв,
Україна

Анотація. При виготовленні деталей газотурбінних двигунів застосовуються жароміцні сплави. Для виправлення поверхневих дефектів литва використовують паяння з нагріванням деталей у вакуумних печах. Застосування локальних методів нагрівання з винесенням процесу в атмосферу дозволяє значно підвищити ефективність процесу, але ливарні сплави мають високу схильність до утворення гарячих тріщин. Методом комп'ютерного моделювання, було досліджено температурні поля дії різних типів джерел нагріву.

Ключові слова: жароміцні сплави, напружено-деформований стан, моделювання, температурні поля, джерела нагріву, малоамперна рагонова дуга, ацетилено-кисневе полум'я, мікроплазмова дуга

При виготовленні деталей газотурбінних двигунів застосовуються жароміцні нікелеві дисперсійнозміцненні ливарні сплави. Для виправлення поверхневих дефектів литва сьогодні використовують паяння з нагріванням деталей у вакуумних печах [1]. Застосування локальних методів нагрівання з винесенням процесу в атмосферу дозволяє значно підвищити ефективність процесу, але ливарні сплави мають високу схильність до утворення гарячих тріщин [2,3]. Тому і метою даної роботи є дослідження і визначення закономірностей формування напружено-деформованого стану (НДС), що дозволяє рекомендувати найбільш сприятливе джерело тепла за НДС та захистом металу. Для цього використовуємо метод математичного моделювання [4,5]. Дослідження виконувалось методом комп'ютерного моделювання, заснованим на методі кінцевих елементів, з використанням програмного комплексу ANSYS.

Досліджувався розподіл температур при локальному нагріванні основного матеріалу (сплав типу ЧС88У-ВІ) [6]. Як фізичну модель було обрано циліндр діаметром 200 мм і товщиною 5 мм. Внаслідок симетрії зразка щодо осі розв'язувалась осесиметрична задача із заданими відповідними граничними умовами.

З урахуванням специфіки завдання, наявності великих градієнтів температур у вузькій зоні поблизу впливу джерела тепла використовувалася розбивка зі змінними розмірами скінченні елементи (СКЕ). Використовувалися температурно-залежні властивості сплаву – коефіцієнт теплопровідності і ентальпія.

Модель навантажували тепловим потоком уздовж вертикальної осі Y . Тепловий потік точно описується нормальним законом розподілу, параметри якого тісно пов'язані з тепловими характеристиками джерела нагріву. Згідно з дослідженнями [7-11] коефіцієнт зосередженості теплового потоку k може змінюватися в межах від $0,17...0,39$ $1/\text{см}^2$ для ацетилено-кисневого полум'я, до $32...38$ $1/\text{см}^2$ для малоамперної аргонової дуги прямої полярності.

Досліджувалося три типи джерел нагріву: ацетилено-кисневе полум'я; мікроплазмова дуга; малоамперна аргонова дуга прямої полярності.

Час впливу джерела нагріву на зразок підбирався таким чином, щоб максимальна температура не перевищувала 1200 $^{\circ}\text{C}$.

За результатами моделювання побудовані температурні поля в момент часу після закінчення нагрівання, а також після 5 і 15 секунд охолодження.

Аналіз полів розподілу температур при мінімально можливих теплових потужностях джерел нагріву в момент часу після закінчення нагрівання показав, що при впливі ацетилено-кисневого полум'я протягом десяти секунд максимальна температура досягає 840 $^{\circ}\text{C}$. При впливі малоамперної аргонової дуги максимальна температура становить 1200 $^{\circ}\text{C}$, при цьому час дії джерела дорівнює 2 секундам. Мікроплазмова дуга на мінімальному режимі за 2 секунди нагріває сплав до 1100 $^{\circ}\text{C}$.

Для середніх теплових потужностей джерел нагріву в момент закінчення нагрівання ацетилено-кисневе полум'я за 10 секунд нагріває сплав до 1200 $^{\circ}\text{C}$. При дії малоамперної аргонової дуги протягом однієї секунди максимальна температура становить 2800 $^{\circ}\text{C}$. При середній тепловій потужності мікроплазмова дуга за 1 секунду нагріває сплав до $1500...1600$ $^{\circ}\text{C}$.

Ацетилено-кисневе полум'я з максимальною тепловою потужністю за 10 секунд нагріває сплав до 1750 $^{\circ}\text{C}$. Малоамперна аргонова дуга максимальної потужності, за 0,1 секунди нагріває сплав до 2150 $^{\circ}\text{C}$. Мікроплазмова дуга максимальної потужності за 1 секунду нагріває сплав до 2500 .

Аналіз епюр розподілу температур на верхній поверхні показав, що при використанні ацетилено-кисневого полум'я радіус (ширина) зони нагріву від максимальної температури до 500 $^{\circ}\text{C}$ знаходиться в інтервалі від 20 до 35 мм. При цьому час впливу джерела нагріву на сплав дорівнює 10 секундам. При використанні як джерела нагріву малоамперної аргонової дуги радіус (ширина) зони нагріву від максимальної температури до 500 $^{\circ}\text{C}$ лежить в інтервалі від 7 до 10 мм. Радіус зони нагріву від максимальної температури до 500 $^{\circ}\text{C}$ при використанні мікроплазмової дуги дорівнює від 12 до 18 мм.

Так, при нагріванні зразка ацетилено-кисневим полум'ям різної потужності протягом 10 с температура зворотної поверхні зразка становить від 600 до 1400 $^{\circ}\text{C}$, а радіус (ширина) зони нагріву від максимальної температури до 500 $^{\circ}\text{C}$ знаходиться в інтервалі від 10 до 32 мм. При впливі малоамперної аргонової дуги зворотна сторона зразка прогрівається до 300 $^{\circ}\text{C}$ на мінімальному режимі, до 450 $^{\circ}\text{C}$ на середньому режимі на максимальному режимі через короткий час нагріву (0,1 с) температура зворотної поверхні не перевищує 20 $^{\circ}\text{C}$. Використання як джерела нагріву мікроплазмової дуги призводить до підвищення температури зворотної поверхні зразка від 200 до 400 $^{\circ}\text{C}$ залежно від потужності і часу впливу джерела.

Висновки:

1. При ремонті та виготовленні деталей із високоміцних сталей та сплавів аргонодугове джерело нагрівання має обмежене застосування. Це пов'язано з високою швидкістю нагрівання та охолодження, що може сприяти появі гарячих тріщин та деформацій конструкції.

2. Найбільш оптимально для відновлення деталей з жароміцних сплавів використовувати ацетилено-кисневого полум'я або мікроплазмову дугу. При цьому потужність джерел повинна знаходитися в інтервалі від 400 до 800 Дж. Ацетилено-кисневе полум'я за рахунок великого коефіцієнта зосередженості дуги дає більш високу температуру і більш високий градієнт.

3. При використанні ацетилено-кисневого полум'я радіус (ширина) зони нагріву від максимальної температури до 500 °С знаходиться в інтервалі від 20 до 35 мм. При цьому час впливу джерела нагріву на сплав дорівнює 10 секундам. При використанні як джерела нагріву малоамперної аргонової дуги радіус (ширина) зони нагріву від максимальної температури до 500 С лежить в інтервалі від 7 до 10 мм. Радіус зони нагріву від максимальної температури до 500 С при використанні мікроплазменної дуги дорівнює від 12 до 18 мм.

Список літератури:

1. *Производство сварных конструкций судовых газовых турбин: Учебн. пособ.* / Ю.В. Бутенко, В.В. Квасницкий, В.Ф. Квасницкий, А.Ю. Бутенко. – Николаев: НУК, 2013, 164 с.
2. *Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов* / М.Х. Шоршоров, А.А. Ерохин, Т.А. Чернышов и др. М.: Машиностроение, 1973. – 224с.
3. *Пинчук, Н.И. Влияние первичной структуры литых никелевых сплавов на обособление горячих трещин при сварке* / Н.И. Пинчук, И.К. Рязанцев // Автоматическая сварка. – 2004 - №2. – С.20-27.
4. *Бараишков А.С., Шоршоров М.Х. К оценке эффективного радиуса подвижного нормально-кругового источника на поверхности плоского слоя по ширине зоны проплавления* // Сварочное производство. 1990. № 8. С. 12-14.
5. *Березовский Б.М., Стихин В.А. Расчет параметров распределения теплового потока поверхностной сварочной дуги* // Сварочное производство. 1980. № 2. С. 17-19.
6. *Структура, фазовый состав и свойства коррозионно-стойкого жаропрочного сплава ЧС88У* / Е.В. Монастырская, Г.И. Морозова, Ю.Б. Власов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2006. – №8. – с.39-44.
7. *Genetic algorithm based optimization of the process parameters for gas metal arc welding of AISI 904 L stainless steel* / P. Sathya [et al.] // Journal of Mechanical Science and Technology. 2013. Vol.27, Issue 8. P. 2457-2465.
8. *Гладкий, П. В. Плазменная наплавка* [Текст] / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. – К. : Экотехнология, 2007. – 292 с.
9. *Каховський, М.Ю. Взаємозв'язок теплових характеристик малоамперної дуги і напружено-деформованого стану зварних з'єднань зі жароміцних нікелевих сплавів вузлів газотурбінних двигунів військової і транспортної авіації* / М.Ю.Каховський, А.В.Гуляев, О.В.Яровіцин, М.О.Червяков // Озброєння та військова техніка 4(12)/2016
10. *Лыков А.В. Теория теплопроводности.* – М.: Высшая школа, 1964. – 599 с.
11. *Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке.* – М.: Машгиз, 1951. – 296 с.