

УДК 621.791.927.7

Ч. Пулька¹, д.т.н., проф., М. Михайлишин¹, к.ф.-м.н., доц., В. Сенчишин¹, к.т.н.,
О. Прохоренко², к.т.н., доц., Віт. Сенчишин¹

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ, ДЕФОРМАЦІЙ ТА ПЕРЕМІЩЕНЬ ПРИ ІНДУКЦІЙНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ТОНКИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

Ch. Pulka¹, Dr., Prof., M. Mykhailyshyn¹, Ph.D., Assoc. Prof., V. Senchyshyn¹, Ph.D.,
O. Prokhorenko², Ph.D., Assoc. Prof., Vit. Senchyshyn¹

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Ukraine

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF RESIDUAL STRESSES, DEFORMATIONS AND DISPLACEMENTS DURING INDUCTION CLADDING OF THIN STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract. The paper proposes a mathematical model for determining the fields of residual stresses, deformations and displacements that occur in the process of induction cladding, taking into account the fact that the product of the modulus of elasticity and the coefficient of thermal expansion of base metal and deposited metal is $E \cdot \alpha_T \cong const$. Simplified calculation formulas were obtained and corresponding algorithms were built, which allow determining residual stresses and displacements. Based on this, it is necessary to use low-gradient temperature fields, which allow to avoid the operation of preheating or tempering.

При наплавленні деталей машин із використанням різних методів виникають залишкові напруження та деформації які призводять до появи тріщин, що в свою чергу призводять до зниження експлуатаційних характеристик наплавленого металу та геометричної форми наплавлених деталей. Особливо це стосується індукційного наплавлення тонких елементів конструкцій товщиною 2..6 мм і 0.5...2 мм відповідно основного і наплавленого металу, при якому відбувається отримання біметалу без розплавлення основного металу. В даному випадку розплавляється тільки порошкоподібний твердий сплав, а з'єднання його з основним металом здійснюється шляхом термодифузії за допомогою тонкого перехідного шару, а далі здійснюється спільне деформування системи «основний і наплавлений метал».

Виникнення залишкових напружень і деформацій зумовлені різними причинами. Найважливішою є та, що матеріал основного і наплавленого металів мають різні механічні і теплофізичні властивості. Одним із таких показників є коефіцієнт температурного розширення α_T . При наплавленні необхідно враховувати те, щоб даний коефіцієнт був як найбільш наближений основного і наплавленого металу. Крім того виникнення в процесі наплавлення незворотних, зокрема пластичних деформацій які також спричиняють утворенню залишкових полів напружень і деформацій, що призводить до появи тріщин в наплавленому шарі металу. Авторами розроблена математична модель з урахуванням факту, що для багатьох матеріалів в досить широкому діапазоні зміни температур добуток модуля пружності і коефіцієнта температурного розширення основного і наплавленого металу $E \cdot \alpha_T \cong const$. Отримано спрощені розрахункові формули і побудовані відповідні алгоритми

визначення залишкових напружень та переміщень. На рис.1 наведено залишкові напруження σ_2 по товщині ненаплавленої (в точках 1,2,3,4) та наплавленої (в точках 5,6,7) частини диска при товщині наплавленого шару $\delta = 1$ мм, а при $\delta = 1,5$ мм на рис.2. Як бачимо з рисунків кільцеве напруження змінює знак при переході з основного металу в наплавлений шар. В зоні наплавлення основний метал в кільцевому напрямку перебуває в стані розтягу і стиску, а в наплавленому шарі діють кільцеві напруження розтягу. Максимальне кільцеве напруження σ_2 виникає в наплавленому шарі безпосередньо біля границі з'єднання його з основним металом і рівне $\sigma_2 = 0,54\sigma_B^H$ при товщині наплавленого шару $\delta = 1$ мм та $0,517\sigma_B^H$ при $\delta = 1,5$ мм, де σ_B^H границя міцності наплавленого матеріалу, яка для твердого сплаву ПГ-С1 (сормайт) становить $\sigma_B^H \cong 150$ МПа. При цьому виконуються умови міцності по критерію найбільших нормальних напружень та по енергетичному критерію Губера, як для наплавленого, так і основного металу, а це означає, що виникнення тріщин неможливе. Дані результати підтверджуються експериментально.

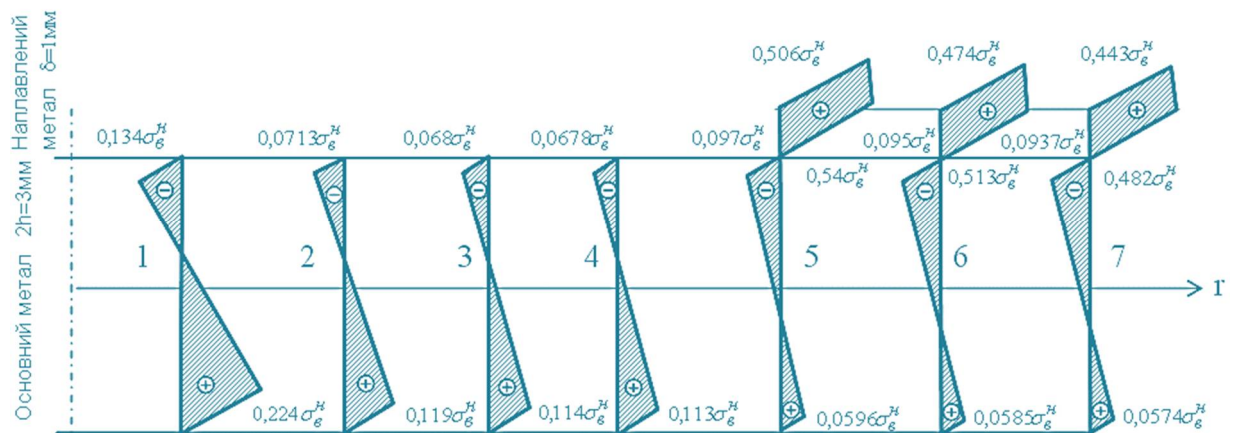


Рис. 1. Розподіл залишкових напружень σ_2 по товщині ненаплавленої (у точках 1, 2, 3, 4) та наплавленої (в точках 5, 6, 7) частин диска при $\delta = 0,001$ м, $\beta = 0,35$

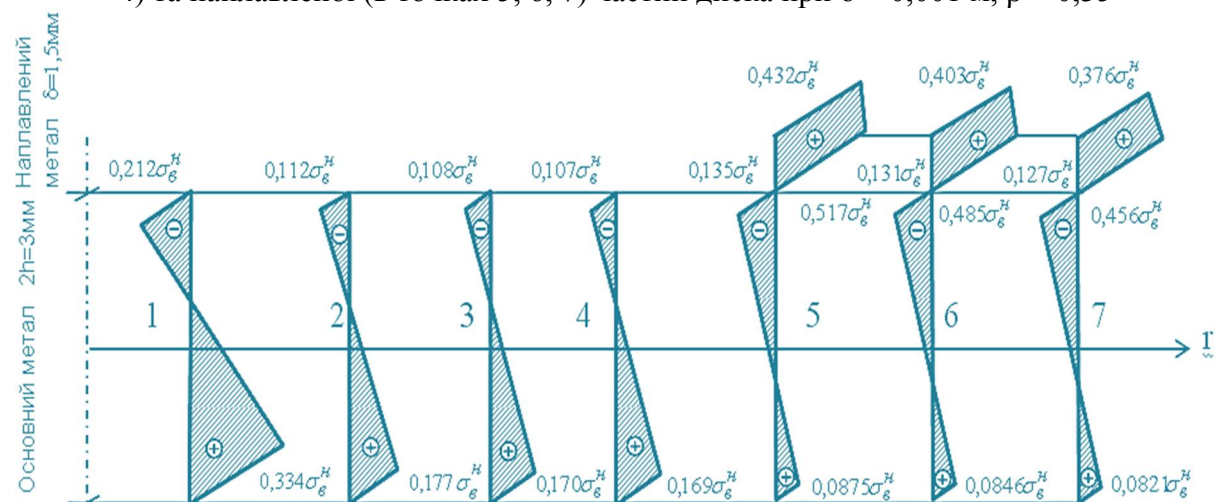


Рис. 2. Розподіл залишкових напружень σ_2 по товщині ненаплавленої (у точках 1, 2, 3, 4) та наплавленої (в точках 5, 6, 7) частин диска при $\delta = 0,0015$ м, $\beta = 0,35$

Аналізуючи результати досліджень, які наведені в роботі авторів, приходимо до висновку, що для здійснення наплавлення тонких деталей, створюючи при цьому низький рівень залишкових напружень, необхідно використовувати температурне поле з низьким рівнем градієнтності по радіусу диска, які наведено на рис. 3. Це дає

можливість уникнути операцій попереднього підігріву або операції відпалу, що пов'язано з значними матеріальними та трудовими затратами при реалізації технологічного процесу індукційного наплавлення тонких деталей.

На рис.4 показано залежність максимальних кільцевих напружень σ_2 від товщини наплавленого шару. Як видно з рисунку, із збільшенням товщини наплавленого шару максимальні кільцеві напруження зменшуються.

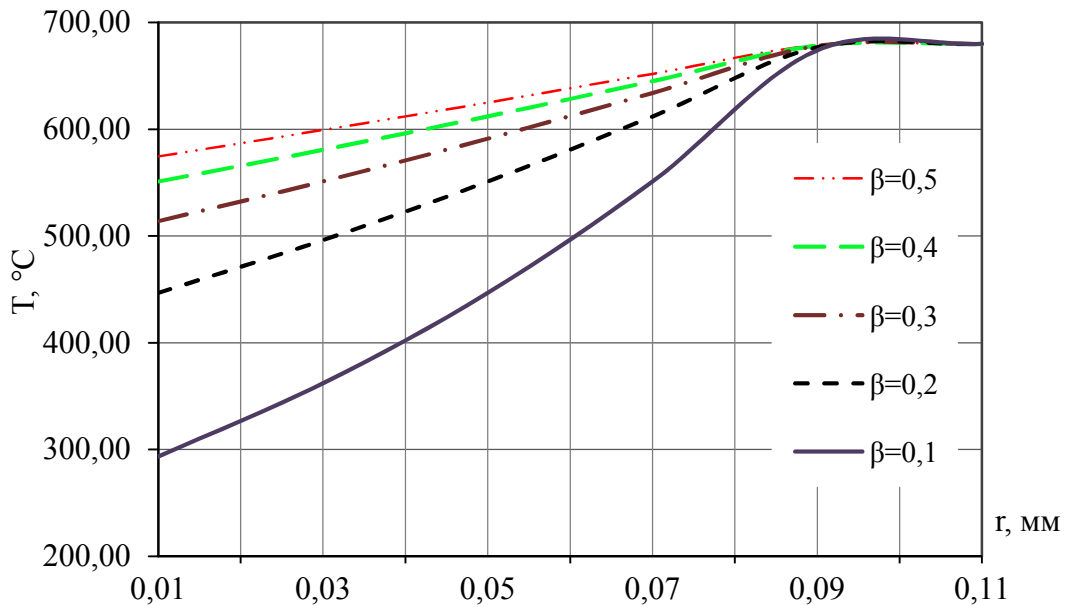


Рис. 3 Розподіл температури по радіусу диска в момент початку деформування системи основний і наплавлений метали як пружного тіла при різних значеннях β

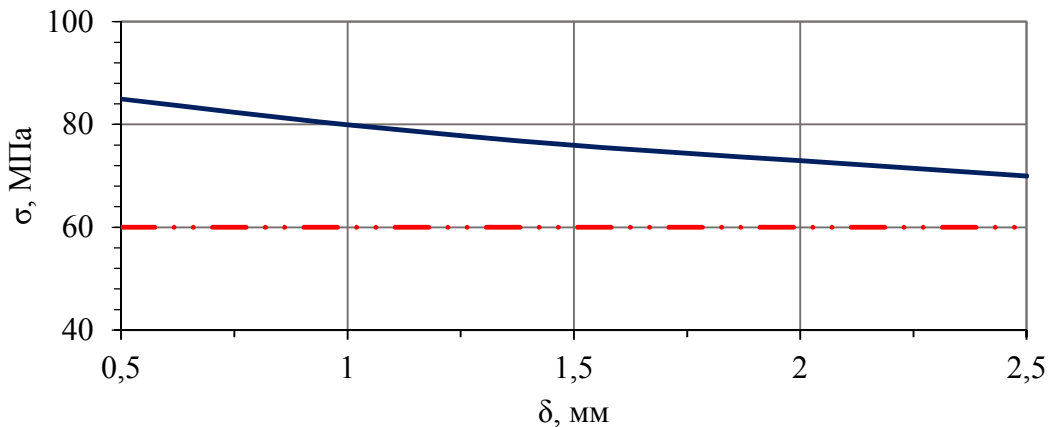


Рис. 4. Залежність максимальних кільцевих напружень в зоні наплавлення від товщини наплавленого шару при коефіцієнті градієнтності $\beta = 0,35$

Література.

1. Шаблій О. М. Дослідження залишкових напружень, деформацій та переміщень при індукційному напавленні тонких елементів конструкцій з урахуванням комбінованого екранування теплових та електромагнітних полів / О. Шаблій, Ч. Пулька, М. Михайлишин // Вісник ТДТУ. — Т. : ТДТУ, 2007. — Том 12. — № 2. — С. 101–117.