

УДК 621.791.052:539.49

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН РОЗТЯГНУТОЇ ПЛАСТИНИ ПІСЛЯ УДАРНОЇ ОБРОБКИ

Рудка<sup>1</sup> І.Д., Сидоренко<sup>1</sup> Ю.М., Пашин<sup>2</sup> М.О.

1 – Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

2 – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

Зварювання є одним з основних технологічних процесів в машино-, суднобудуванні та будівництві. На сьогодні зварюють матеріали товщиною від декілька мікрон (в мікроелектроніці) до сотень метрів (суднобудування). Зварювання – з'єднання твердих тіл місцевим сплавленням або спільним пластичним деформуванням поверхонь, що прилягають. Воно ґрунтується на використанні міжатомних сил зчеплення.

Під впливом внутрішніх залишкових напружень з'являються деформації деталей, зокрема, згин, скручування, повздожне укорочення та інші. Таким чином, дані напруження мають негативний вплив як на міцність з'єднань, так і міцність конструкції в цілому [1, 2]. Серед основних причин виникнення залишкових напружень і деформацій є нерівномірне нагрівання матеріалу, що зварюється, ливарна усадка металу шва зі зміною його об'єму в зоні термічного впливу.

В даній роботі представлені результати математичних досліджень, метою яких було визначення напружено-деформованого стану попередньо розтягнутої пластини після ударної обробки (рис. 1).

Ударне навантаження на пластину виготовленої з алюмінієвого сплаву АМгб, здійснювалося за допомогою мідного

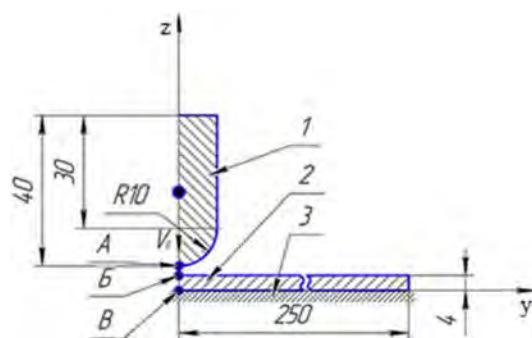


Рис. 1. Розрахункова схема процесу динамічного навантаження пластини, що динамічно обробляється: 1 – індентор; 2 – пластинка; 3 – абсолютно жорстка опора, А – точка на зовнішній поверхні індентора, В – точка на зовнішній поверхні пластини, В – точка на тильній поверхні пластини

індентора, що рухався зі швидкістю  $V_0 = 5$  м/с та  $V_0 = 10$  м/с. Попередній розтяг пластини, за допомогою якого здійснюється спроба змоделювати початкові напруження у зварному шві, здійснювався за допомогою зусилля, що створює в ній початковий рівень напружень розтягу у напрямках  $x$  та  $y$ :  $\sigma_0 = 50$  та  $150$  МПа (рис. 1).

Розрахунок проводився за допомогою програмного комплексу Ansys Workbench [3].

В математичній постановці поведінка матеріалів пластини та електрода-індентора під дією зовнішнього імпульсного навантаження описувався за допомогою ідеальної пружно-пластичної реологічної моделі матеріалу. Для даної моделі значення динамічної границі текучості матеріалу  $Y$  приймалося рівним значенню границі текучості  $\sigma_T$ . Відповідні величини параметрів даної моделі в роботі були прийняті такими:

Пластина – АМг6: густина  $\rho=2640$  кг/м<sup>3</sup>; модуль пружності першого роду  $E=71$  ГПа; коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,34$ ; границя текучості  $\sigma_T=150$  МПа;

Електрод-індентор – Мідь М1: густина  $\rho=8940$  кг/м<sup>3</sup>; модуль пружності першого роду  $E=128$  ГПа; коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,35$ ; границя текучості  $\sigma_T=300$  МПа [4].

Розрахункові величини глибини вдавлювання індентора в пластину та величини ефективних пластичних деформацій  $\varepsilon_{eff}^p$  середині пластини представлені в таблиці 1.

Таблиця 1.

**Глибина вдавлювання індентора в пластину та величина ефективних пластичних деформацій середині пластини**

| Початкове напруження розтягу пластини, МПа | Швидкість руху індентора            |  |  |                                     |   |   |
|--|-------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---|---|
|  | 5 м/с                               |  |  | 10 м/с                              |   |   |
|  | Глибина вдавлювання $\Delta u$ , мм | Максимальне значення $\varepsilon_{eff}^p$ в т.Б при $V_0 = 5$ м/с | Максимальне значення $\varepsilon_{eff}^p$ в т.Б при $V_0 = 5$ м/с | Глибина вдавлювання $\Delta u$ , мм | Максимальне значення $\varepsilon_{eff}^p$ в т.Б при $V_0 = 10$ м/с | Максимальне значення $\varepsilon_{eff}^p$ в т.Б при $V_0 = 10$ м/с |
| 0  | 0,28                                | 0,145  | 0,04   | 0,55                                | 0,198   | 0,137   |
| 50   | 0,31                                | 0,132  | 0,043  | 0,59                                | 0,190   | 0,145   |
| 150  | 0,33                                | 0,08   | 0,075  | 0,61                                | 0,149   | 0,178   |

З табл. 1 видно, що при збільшенні величини початкового розтягу пластини  $\sigma_0$  від 0 [4] до 150 МПа призводить до збільшення глибини вдавлювання в неї індентора на 18 та 11% при його швидкості руху 5 та 10 м/с відповідно. З іншої сторони, зростання значення  $\sigma_0$  призводить до зменшення значення ефективних пластичних деформацій на поверхні пластини в точці контакту з індентором на 45 та 25% при швидкості руху індентора 5 та 10 м/с відповідно

На тильній поверхні пластини в т.Б (рис. 1) спостерігається збільшення  $\varepsilon_{eff}^p$  на понад 30%.

На рис. 2, 3 представлено зміну значень компоненти нормального напруження спрямованого вздовж лінії удару ( $\sigma_z$ ) в точці контакту та на тильній стороні пластини за різних значень початкового напруження розтягу пластини  $\sigma_0$  та швидкостях руху індентора.

Як можемо побачити, що не залежно від швидкості руху індентора при відсутності початкового напруження розтягу пластини, величина  $\sigma_z$  стабілізується вже на 50 мкс, а при його наявності – стабілізація відбувається на 150 мкс процесу зіткнення тіл.

Також з рис.2а та рис.3а видно, що максимальне значення компоненти напружень  $\sigma_z$  на лицьовій поверхні пластини становить майже 500 МПа та не залежить від швидкості індентора (5 чи 10 м/с). На тильній стороні пластини зростання швидкості індентора призводить до зростання величини  $\sigma_z$  з майже 250 МПа до 350 МПа.

Крім того, зростання швидкості ударника призводить до того, що на формування значення  $\sigma_z$  практично перестає впливати попередній до зіткнення тіл розтяг пластини  $\sigma_0$ . Хоча момент формування максимального значення  $\sigma_z$  для попередньо розтягнутої пластини настає через 50...60 мкс пізніше ніж у попередньо ненапруженої пластини.

Також такий висновок можна зробити й для моменту стабілізації значень нормальних

напружень  $\sigma_z$ , який відбувається для моделі без заданого початкового напруження розтягу при 50 мкс, а коли в пластині існує початкове напруження розтягу 50 або 150 МПа – 120 мкс. Причому такий результат не залежить від швидкості руху індентора і значення нормального напруження  $\sigma_z$  знаходяться у нульовій лінії в точці зіткнення (т.Б, рис.2а, 3а) і відхиляються від неї до 50МПа на тильній стороні пластини по лінії зіткнення (т.В, рис.2б, 3б).

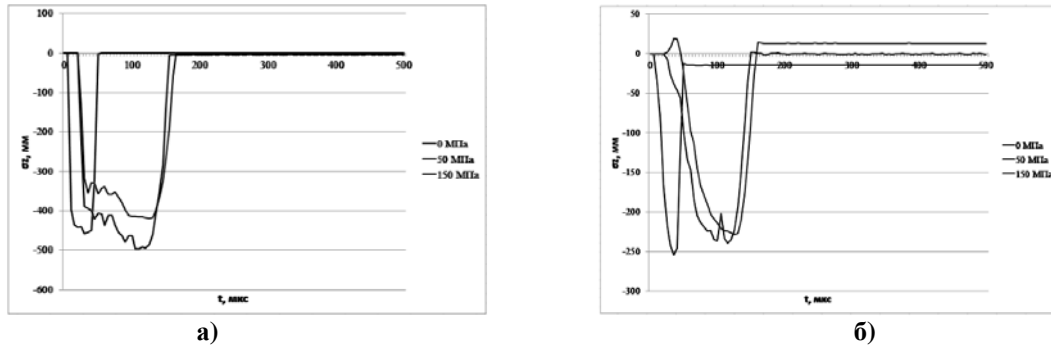


Рис. 2. Розподіл значень нормальних напружень  $\sigma_z$  в т.Б (а) та т.В поверхні пластини (б) при швидкості індентора  $V_0 = 5$  м/с

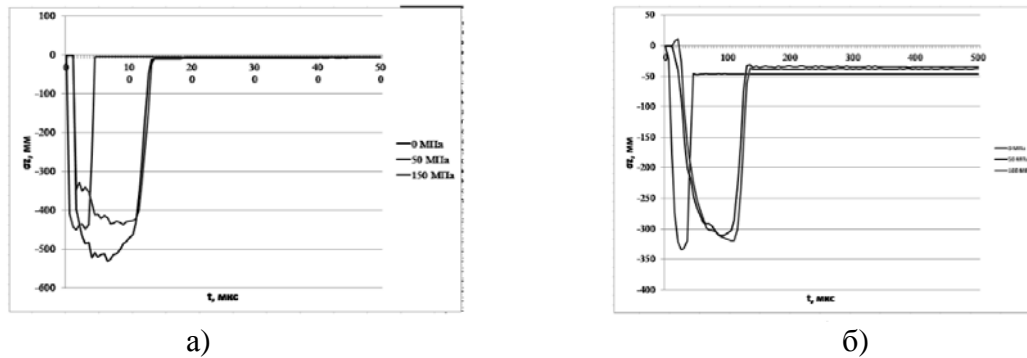


Рис. 3. Розподіл значень нормальних напружень  $\sigma_z$  в т.Б (а) та т.В поверхні пластини (б) при швидкості індентора  $V_0 = 10$  м/с

Для повноти оцінки напруженого стану пластини на рис. 4, рис.5 представлений відповідний підсумковий розрахунковий розподіл компонент залишкових нормальних напружень за різних значень швидкості зіткнення з індентором по її поперечному перерізу.

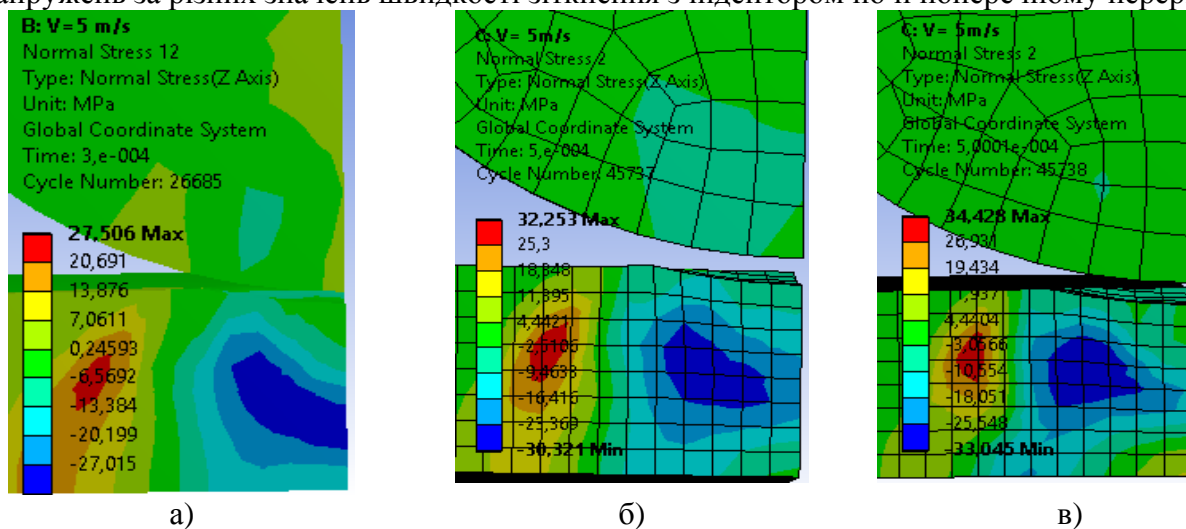


Рис. 4. Підсумковий розрахунковий розподіл компонент залишкових нормальних напружень  $\sigma_z$  при  $V_0 = 5$  м/с за різних значень початкового напруження розтягу пластини: а) 0 МПа, б) 50 МПа, в) 150 МПа

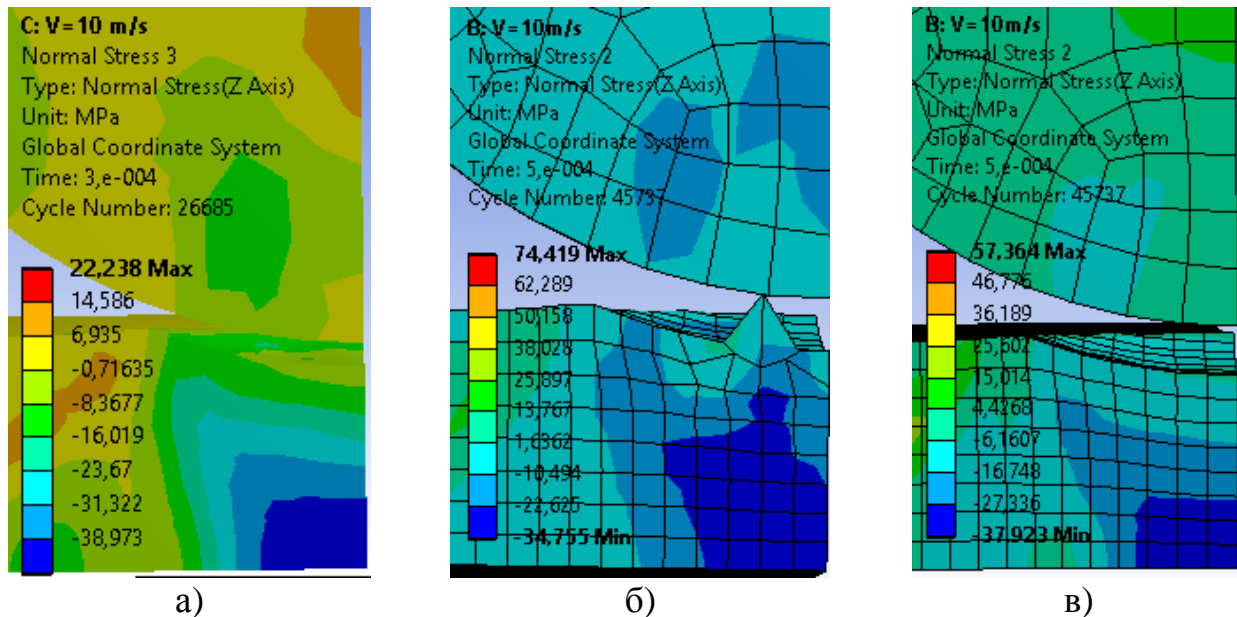


Рис. 5. Підсумковий розрахунковий розподіл компонент залишкових нормальних напружень  $\sigma_z$  при  $V_0 = 10$  м/с за різних значень початкового напруження розтягу пластини: а) 0 МПа, б) 50 МПа, в) 150 МПа

Рис. 4 та рис. 5 показують, що не залежно від початкового напруження розтягу у пластині і швидкості руху в неї ударника напруження по лінії удару змінюються на напруження стиску.

#### За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. При збільшенні величини початкового напруження спостерігається тенденція збільшення глиби вдавлювання пластини до 20%.
2. Якщо ефективні пластичні деформації в точці контакту ударника і пластини за різних значень початкових напружень розтягу пластини і швидкостях руху індентора зменшуються (від 9 до 15%), то на тильній стороні пластини вони навпаки збільшуються (від 8 до 50%).
3. Ударна взаємодія індентора, що рухається зі швидкістю 10м/с, з попередньо розтягнутою пластиною до величини  $\sigma_0 = 150$ МПа призводить до формування в ній по лінії удару зони зі стискаючими компонентами напруження  $\sigma_z$ , але їх абсолютні значення на 40% менше ніж у ситуації зіткнення індентора з попередньо ненапруженою пластиною.

#### Список використаних джерел

1. Masubuchi K. Analysis of Welded structures. – Pergamon Press, 1980. – 642p.
2. Lobanov L.M., Pashchin N.A., Sydorenko Y.M... Effect of the electrodynamic treatment on the life of AMg6 aluminum alloy weld joints // Strength of Materials. – 2017. – Vol.49. Issue 2. – PP. 234-238.
3. [www.ansys.com](http://www.ansys.com)
4. Lobanov L.M., Pashchyn M.O., Mykhodui O.L., Sydorenko Y.M. Effect of the Indenting Electrode Impact on the Stress-Strain State of an AMg6 Alloy on Electrodynamic Treatment // Strength of Materials. – 2017. – Vol.49. Issue 3. – PP.369-380.