

нарощування поверхневих шарів, так, можливо, і при зіткненні і зрощуванні подібних первинних утворень один з одним.

На основі розробленої аналітично-математичної моделі та проведених експериментальних досліджень [8, 10] показано, що застосування вібрації в процесі індукційного наплавлення призводить до подрібнення структурних складових наплавленого металу та підвищення зносостійкості в 1,5 рази.

Список посилань

1. Сенчишин В.С. Современные методы наплавки рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных сельскохозяйственных машин (обзор) / В.С. Сенчишин, Ч.В. Пулька // Автоматическая сварка. 2012. – №9. – С. 48–54.
2. Попов С.М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні / С.Н. Попов, Д.А. Антонюк, В.В. Нетребко // Навчальний посібник. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с.
3. Гуревич Я.Б. Влияние ультразвука на структуру и свойства стали / Я.Б. Гуревич, В.И. Леонтьев, И.И. Теумин // Сталь. – 1966. – №9.
4. Розенберг Л.Д. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. проф. Л.Д. Розенберга. – М., 1970 – 685 с.
5. Попов С.Н. Модель росту центрів кристалізації при ультразвуковому подрібненні зміцнюючої фази твердих наплавлених сплавів / С.Н. Попов // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – №38(1011). – С.15-21.
6. Сутырин Г.В. О влиянии вибрации низкой частоты на скорость зарождения центров кристаллизации / Г.В. Сутырин // Известия АН СССР. Металлы. – 1977. – № 4. – С. 108–110.
7. Термодинамический анализ условий зарождения и роста кристаллов при виброобработке // Черная металлургия. – 1989. – №9. – С. 27.
8. Пулька Ч.В. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч.В. Пулька, О.М. Шаблій, В.С. Сенчишин та ін. // Автоматическая сварка. – 2012. – № 1. – С. 27–29.
9. Говорков В.М., Шебалин К.Н. Влияние вибрации на затвердевание металлов / В.М. Говорков, К.Н. Шебалин. ЖТФ. – 1954, т. 24. – вып. 2, – С. 41–48.
10. Сенчишин В.С. Расчет размеров структурных составляющих наплавленного индукционным способом металла с наложением механической вибрации / В.С. Сенчишин, Ч.В. Пулька // Автоматическая сварка. – 2015. – №8. – С. 34–37.

УДК 621.793.620.172

Смирнов І.В., докт. техн. наук, професор
Лопата О.В., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ,
smirnovkpi@gmail.com,

Зіньковський А.П., член-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор
Лопата Л.А. канд. техн. наук, доцент

Кобзарь В.Л., аспірант
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, beryuza@ukr.net

АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ ТА ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ПОКРИТТЯХ, ОТРИМАННИХ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

Вступ. Покриття, отримані електроконтактним методом, на відміну від більшості покриттів, характеризуються товщинами 3мм і більше при хорошій адгезійній міцності [1]. Напруження в покритті можуть бути як наслідком технології їх нанесення (залишкові напруження), так і виникати в результаті експлуатаційного навантаження [2]. З аналізу роботи [3] випливає, що найбільш виражена форма прояву залишкових напружень - це залежність міцності зчеплення ($\tau_{зч}$) від товщини покриття (h). Як правило, залишкові

напруження не дозволяють збільшити товщину покриття до необхідного розміру [2]. Критична товщина покриття обмежена та залежить від номінальної міцності зчеплення [3].

Метою роботи є оцінка залишкових напружень у покриттях, отриманих електроконтактним методом, а також обґрунтування високої адгезійної міцності системи "основа - покриття" в умовах спільної дії експлуатаційних та залишкових напружень.

Оцінка залишкової напружень методом графічного диференціювання. З критерію рівномірності [4], замінивши когезійну міцність, викликану деформацією основи, еквівалентним залишковим напруженням $\sigma_n^{зал.}$, легко отримати критичну товщину покриття $h_{кр}$ під дією залишкових напружень з умови самовідшарування:

$$h_{кр} = \frac{\tau_{зч}}{\sigma_n^{зал.}} \frac{1}{kthkl} \quad (1)$$

де $\tau_{зч}$ – міцність адгезійного зв'язку;

$2l$ – базовий розмір;

k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення пружних та геометричних параметрів системи "основа - покриття".

Запишемо вираз (1) як:

$$\sigma_n^{зал.} = \frac{\tau_{зч}}{h} \frac{1}{kthkl} \quad (2)$$

Можна зробити висновок, що залишкові напруження в покритті характеризується тангенсом кута нахилу експериментальної кривої залежності міцності зчеплення при зсуві від товщини покриття.

Проаналізуємо залежність $\tau_{зч}=f(h)$ для покриття із самофлюсуючого сплаву на основі нікелю ПГ - С1, отриманого електроконтактним методом ($E = 2,4 \cdot 10^5$ МПа, $G = 0,94 \cdot 10^5$ МПа), нанесеного на основу із сталі 45. Режимі нанесення: сила струму $I = 10$ кА; час імпульсу $t_i = 0,04$; час паузи $t_n = 0,04$; тиск на електроді $P = 40$ МПа.

Аналіз експериментальної залежності показує, що для покриття спостерігається стабілізація міцності адгезійного зв'язку зі зростанням його товщини (рис. 1).

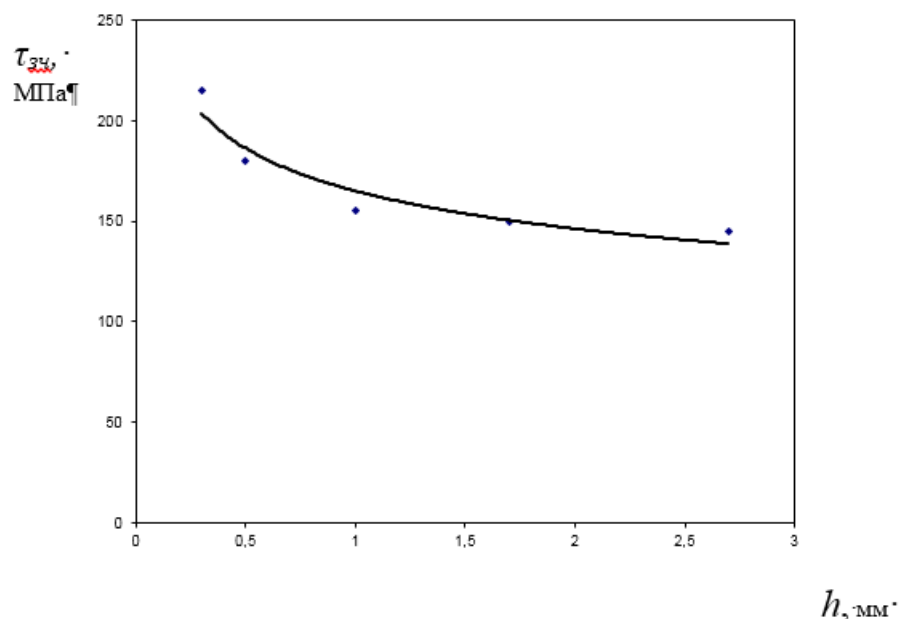


Рис. 1 – Залежність міцності адгезійного зв'язку від товщини покриття зі сплаву, що самофлюсується, на основі нікелю ПГС-1, отриманого електроконтактним методом

Застосування методу графічного диференціювання залежності $\tau_{зч}=f(h)$ з урахуванням поправочного коефіцієнта $1/kthkl$ дозволяє оцінити рівень залишкових напружень в покритті та показати, що зростання товщини покриття призводить до зниження середнього значення залишкових напружень аж до асимптотичного мінімального значення (рис. 2).

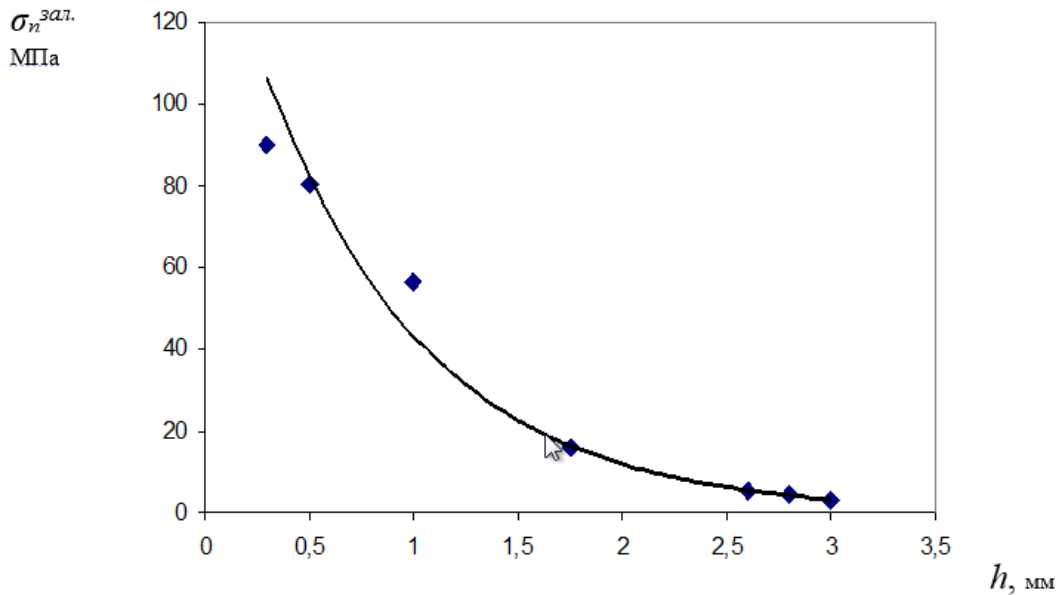


Рис. 2 – Залежність залишкових напружень від товщини покриття з сплаву, що самофлюсується, на основі нікелю ПГ-С1, отриманого електроконтактним методом.

Висновок. Методом графічного диференціювання експериментальної залежності адгезійної міцності від товщини покриття визначено залишкові напруження в покриттях, отриманих електроконтактним методом. За принципом еквівалентності залишкових напружень та критичної деформації основи при відшаруванні покриття встановлено функціональний зв'язок адгезійної міцності, товщини покриття, критичної деформації основи та залишкових напружень. Ця залежність дозволяє визначити характеристики «основа-покриття» для умов експлуатації

Список посилань

1. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский // Международный научный журнал «Проблемы трибологии» (Problems of Tribology). – 2015. – №4(78) – С.92-98. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-95-1-41-48>
2. Сорока Е.Б., Остаточные напряжения при упрочнении деталей электроконтактным припеканием / Е.Б. Сорока, В.Н. Яропуд, Л.А. Лопата // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – № 1(57). – С. 98-103. ISBN 5-77639123.
3. Лопата Л.А. Адгезионная прочность и остаточные напряжения при электроконтактном припекании порошковых покрытий / Л.А. Лопата // Международный научно-технический журнал Проблемы прочности «Strength of Materials». – 2010. – №4. – С. 41-77. ISSN 0556-171X.
4. Лопата Л.А. Условие адгезионно-когезионной равнопрочности покрытий при упрочнении деталей машин электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, Н.А. Долгов, Е.Е. Кожевникова // Збірник наукових праць “Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин” – Кіровоград: КДТУ. – 2010. – № 40, часть 2. – С. 117-124. ISSN 2664-262X