

УДК 621.721.052:539.4.014

Прохоренко О.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОЇ ПРАВКИ ЗАЛИШКОВОГО  
ПРОГИНУ ОДНОМІРНИХ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.  
Повідомлення 1. КОНСТРУКЦІЇ ПЕРШОГО ТИПУ

## Анотація

Запропоновано наближений інженерний метод розрахунку засобами математичного пакета MathCAD технологічних параметрів теплового виправлення залишкового прогину, обумовленого зварюванням подовжніх швів одномірних зварених конструкцій першого типу. Метод має особливо важливе значення для одномірних зварених конструкцій зниженої твердості, є практично безвитратним, енергозберігаючим, прогнозованим за отриманими результатами, придатним для інженерного використання.

## Abstract

The approximate engineering method for calculation technological parameters thermal correcting of residual flexure one-dimensional first type welded designs by mathematical package MathCAD facilities is proposed. This method have important matter for one-dimensional welded designs with low rigidity and practically be inexpensive, energy efficient, forecast by the expecting results, comfortable in use.

Одномірні зварні конструкції (ОЗК) з однією або двома осями симетрії поперечного перерізу типової конфігурації у вигляді зварного тавра, двотавра з полицями однакової або різної ширини, коробчаті перерізи прямокутної форми тощо можна розділити на два типи.

До першого типу відносяться ОЗК, у яких в поперечному перерізі центри відносних об'ємів подовжнього пластичного скорочення всіх швів, яких може бути один або декілька, знаходяться в одній з чотирьох напівплощин перерізу по обидві сторони кожної з двох центральних осей. Серед таких конструкцій можна назвати: зварний тавр з однією зоною пластичних деформацій скорочення (ЗПДС) у поперечному перерізі в околі місця приварювання полиці до ребра; штабу прямокутного перерізу з однією ЗПДС в поперечному перерізі в околі нагрітого крайка, стержень прямокутного коробчатого перерізу з двома ЗПДС в околі швів, зосереджених в одній з чотирьох згаданих вище напівплощин тощо.

До другого типу відносяться ОЗК з двома або більшою кількістю ЗПДС у перерізі, розташованих на одній з центральних осей перерізу чи симетрично до неї, але в різних напівплощинах перерізу, утворених другою його центральною віссю. Прикладом таких конструкцій може бути зварний двотавр з полицями різної ширини.

В даній роботі розглядається перший тип ОЗК, другий буде розглянуто в наступній роботі.

При розташуванні ЗПДС від всіх швів в ОЗК першого типу асиметрично відносно однієї з центральних осей перерізу принципово неможливо запобігти утворенню залишкового прогину шляхом оптимізації погонної енергії зварювання швів другої черги, як це розглядалось у нашій роботі [1], оскільки всі згинальні моменти від усалочних сил зварених швів будуть мати однаковий знак.

В таких випадках доцільним є застосування теплової правки конструкції після зварювання подовжніх швів шляхом зосереджено-рухомого нагрівання в той чи інший спосіб вздовж всієї довжини конструкції визначених одного або декількох місць у поперечному перерізі конструкції з оптимально розрахованими технологічними параметрами нагрівання.

До технологічних параметрів нагрівання відносяться: ширина зони нагрівання визначеного конструктивного елемента поперечного перерізу конструкції; необхідний розподіл температури по ширині зони нагріву та її середнє значення, яка б забезпечувала утворення під час теплової правки додаткового об'єму подовжнього пластичного скорочення для зрівноваження згинального моменту від сумарного об'єму подовжнього пластичного скорочення всіх попередньо (перед тепловою правкою) зварених подовжніх швів; за необхідністю координата центра перерізу зони нагрівання; погонна енергія джерела нагрівання для правки.

Для нагрівання при тепловій правці можуть використовуватись різні джерела тепла – індукційний нагрів, газове полум'я, електрична дуга, лазерний або електронний промінь тощо.

В залежності від різних обставин і міркувань застосовують ті чи інші джерела нагрівання, але завжди, необхідно намагатись створити градієнтний нагрів, тобто забезпечити різкий перепад температур від зони нагріву до основного металу прилеглих зон конструкції в найкоротший час по всій її довжині. Взагалі, найкращим було б швидко нагрівання до заданої температури визначеного місця в перерізі конструкції по всій її довжині. Технологічно найбільш підходящим з цих міркувань для маловуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей є індукційний нагрів, але цей спосіб вимагає наявності спеціального устаткування.

Широкого використання у виробництві, особливо у суднобудуванні, набув спосіб більш „м'якого” нагрівання за допомогою газового полум'я з використанням шпирокої

гами пальників як звичайної, так і спеціальної конструкції. З метою швидкого нагрівання конструкції по всій довжині правку здійснюють декілька робітників відповідної професії. Температуру нагрівання при правці конструкцій із маловуглецевих чи низьколегованих сталей контролюють наближено, спостерігаючи за кольорами мінливості на металі в зоні нагрівання або за допомогою термоолівців.

Для правки конструкцій з алюмінієвих сплавів, в основному, використовують нагрівання зварювальною дугою несплавним вольфрамовим електродом під захистом інертного газу аргону.

Теплова правка зварних конструкцій в науковому відношенні ще недостатньо вивчена. Як зазначається в літературі [2], тепла правка скоріше є мистецтвом правильника, аніж технологічним процесом з чітко розрахованими значеннями його технологічних параметрів.

В залишковому стані після зварювання (нагрівання) напружено-деформований стан ОЗК розраховується за методом складних перерізів (МСП) [1] на основі визначення функції усадки.

Особливістю деформування ОЗК першого типу при нагріванні для правки є збільшення нахилу площини повної залишкової деформації до площини поперечного перерізу штаби порівняно із залишковим станом після зварювання. Внаслідок цього залишкови пружні деформації розтягу від зварювання в ЗПДС шва будуть зменшуватись, а залишкова пластична деформація скорочення на стадії нагрівання для правки не зміниться. В залишковому стані після правки пружна деформація в ЗПДС теплової правки має бути розподілена рівномірно і дорівнювати  $\epsilon_s = \sigma_s / E$ , де  $\sigma_s$  і  $E$  – відповідно межа текучості і модуль пружності матеріалу штаби. У процесі охолодження до залишкового стану після правки відбувається вирівнювання по перерізу ОЗК повної деформації до величини  $\epsilon_f = const$ , що спричиняє деяке зменшення залишкової пластичної деформації скорочення в ЗПДС заварених швів за рахунок пластичного видовження.

При розв'язуванні різних задач по розрахунку напружено-деформованого стану в ОЗК, як правило, застосовують прямий спосіб, при якому послідовно розглядають спочатку етап нагрівання, а потім залишковий стан при зварюванні кожного шва. В даному випадку такий підхід реалізувати неможливо, оскільки при розгляді стадії нагрівання для теплової правки безпосередньо після залишкового стану зварювання кількість невідомих перевищує кількість можливих рівнянь системи, яку необхідно скласти для розв'язування задачі. З цієї причини задачу будемо розв'язувати напівоберненим способом, сутність якого полягає в наступному.

Спочатку розглядаємо остаточно кінцевий залишковий стан ОЗК після теплової правки. Однозначно відомо, що в цьому стані, за умови відсутності залишкового прогину, в поперечному перерізі ОЗК має бути рівномірно розподілена залишкова повна деформація  $\epsilon_f = const$ . У зв'язку з пластичним видовженням на стадії охолодження після правки хоча б в ЗПДС окремих швів, можуть

з'явитись невідомі у вигляді нових значень ширини розповсюдження в сторону від осі шва зони пластичного видовження, кількість яких залежить від конкретної форми перерізу ОЗК і розподілу пружних та пластичних залишкових деформацій в ЗПДС кожного шва, якщо їх декілька. Всі ці питання необхідно відслідковувати і контролювати суцільним моніторингом процесу розрахунку при розв'язуванні конкретної задачі. Окрім того, якщо швів було більше одного, то при певних розмірах і конфігурації перерізу ОЗК в ЗПДС різних швів може бути різний розподіл залишкових пластичних деформацій скорочення після зварювання, що змусить зміщувати зону нагрівання для правки з осі симетрії перерізу ОЗК в ту чи іншу сторону для відповідного вирівнювання по перерізу ОЗК повної кінцевої залишкової деформації після правки  $\epsilon_f = const$ . Таке зміщення зони нагрівання має бути і у випадку однієї ЗПДС після зварювання, якщо вона розташована не в площині симетрії перерізу ОЗК. Отже, з цієї причини з'явиться ще одне невідоме у вигляді координати центра перерізу зони нагріву для правки. Таким чином, якщо після зварювання маємо всього одну ЗПДС з центром на центральній осі перерізу ОЗК, то для залишкового стану будемо мати такі невідомі: повну залишкову деформацію  $\epsilon_f$ ; ширину  $S$  зони нагріву для правки; одне або декілька значень ширини зони деформацій пластичного видовження на стадії охолодження після правки в залежності від конфігурації ЗПДС зварювання. Якщо швів більше одного, то окрім невідомих  $\epsilon_f$  та  $S$  практично завжди буде декілька невідомих значень ширини зони пластичного видовження в різних ЗПДС швів, а також для координати зони нагріву для правки.

Після складання і розв'язування системи рівнянь у порядку моніторингу правильності процесу розрахунку будемо графіки розподілу в залишковому стані після правки повних, пружних і пластичних деформацій в конструктивних елементах перерізу ОЗК. За необхідності вносимо відповідну корекцію в систему рівнянь і повторюємо розрахунок. Досвід розрахунків свідчить, що вірогідність появи такої необхідності дуже мала.

Наступний крок у реалізації методу розрахунку технологічних параметрів теплової правки – повернення до розрахунку напружено-деформованого стану на стадії нагрівання, тобто далі рухаємось у зворотному напрямку від залишкового стану до стадії нагрівання для правки. Головним на стадії нагрівання є розрахунок параметрів повної деформації розрахункового перерізу, оскільки цими параметрами визначається розподіл температури по ширині зони нагрівання. Отже, попередньо треба визначитись з орієнтацією відносно центральних осей перерізу ОЗК площини повної деформації розрахункового перерізу на стадії нагрівання. У більш простому варіанті: при правці штаби або тавра, нахил площини повної деформації буде у площині згинальних моментів від зварювання і теплової правки (моменти діють в одній площині), а довільним нахил буде, наприклад, при правці стержня коробчатого перерізу з двома швами в площині однієї з чотирьох стінок стержня і в багатьох інших



випадках. У першому, більш простому варіанті, в довільній плоскій системі декартових координат  $XOY$  з осями, паралельними осям центральної системи  $X_0O_0Y_0$ , повна деформація розрахункового перерізу визначається рівнянням прямої лінії, наприклад,  $\epsilon f_{np}(x) = g \cdot x + d$ , якщо вісь розташована у площині прогину. У другому, більш складному варіанті, довільно нахилена площина повної деформації ОЗК перетинає бічну поверхню умовної прямокутної призми, поперечний переріз якої, у вигляді замкненого прямокутника частково або повністю співпадає з середньою лінією бічних сторін перерізу ОЗК там, де вони фізично існують, і тому на цих ділянках є матеріальним. Частина перерізу призми, яка не співпадає з перерізом ОЗК, не є матеріальною. Повна деформація кожного з конструктивних елементів ОЗК в цьому випадку може бути представлена трьома невідомими параметрами  $c$ ,  $d$  і  $e$ , координатами  $x$  або  $y$  точки конструктивного елемента та габаритними розмірами  $B$  і  $H$  прямокутного перерізу згаданої умовної призми. Таким чином, невідомих може бути два або три, в залежності від симетрії перерізу ОЗК. Звідси і система рівнянь буде складатись з одного рівняння для осьової сили і одного або двох рівнянь відповідно для одного або двох згинальних моментів внутрішніх осьових напружень у розрахунковому перерізі ОЗК.

Наступний крок – визначення температури правки по ширині зони нагріву. З цією метою для елемента перерізу ОЗК, в якому знаходиться зона нагріву, можна записати по відповідній координаті  $x$  або  $y$  (узагальнено  $\xi$ ) залежність для температурної деформації  $\epsilon T(\xi)$ , використовуючи для елемента залежність для повної деформації на стадії нагріву  $\epsilon f_{np}(\xi)$ , значення  $-\epsilon_s$  пружної деформації і значення необхідної пластичної деформації скорочення  $(-\epsilon_s + \epsilon f)$  в зоні нагріву, яка відома із залишкового стану. Отже,

$$\epsilon T(\xi) = \epsilon f_{np}(\xi) - (-\epsilon_s) - (-\epsilon_s + \epsilon f) = \epsilon f_{np}(\xi) + 2\epsilon_s - \epsilon f \quad (1)$$

Поділивши праву частину (1) на коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha$ , отримаємо залежність для температури по ширині зони нагріву при тепловій правці

$$T(\xi) = \frac{1}{\alpha} [\epsilon f_{np}(\xi) + 2\epsilon_s - \epsilon f] \quad (2)$$

Погонну енергію нагрівання  $q_n^{np}$  у Дж/см зони розігріву при тепловій правці можна визначити за кількістю тепла, яке треба витратити на нагрів металу об'ємом  $S \cdot \delta \cdot 1 \text{ см}^3$  до середньої температури  $T_{ср}$  по ширині  $S$  зони розігріву за залежністю

$$q_n^{np} = c_p \cdot S \cdot \delta \cdot T_{ср} \quad (3)$$

де  $c_p$  – об'ємна теплоємність, Дж/см<sup>3</sup>·°С.

Апробацію запропонованого методу розрахунку технологічних параметрів теплової правки залишкового прогину ОЗК виконаємо на модельній задачі про напружено-деформований стан довгої штаби прямокутного поперечного перерізу  $B \times \delta$  з поздовжнього крайкою, яка нагрівалась потужним швидкодіючим лінійним джерелом

тепла з погонною енергією  $q_n$  і наступним повним охолодженням. Дана задача є класичною в теорії напружень і деформацій при зварюванні і неодноразово досліджувалась в різних аспектах [3–5]. Розглянемо у фронтальній площині проекцію вертикально зорієнтованої штаби із маловуглецевої сталі ВСт. Зсп ( $\epsilon_s = 1,2 \cdot 10^{-3}$ ). Ширина штаби  $B = 20$  см, товщина  $\delta = 1$  см, ліва крайка нагрівалась зварювальною дугою з погонною енергією  $q_n = 7,65 \cdot 10^3$  Дж/см. Прямокутна система координат  $XOY$  з початком на лівій крайці зорієнтована так, що її осі  $X$  та  $Y$  спрямовані відповідно вздовж крайки вверх та впоперек штаби вправо. За розрахунками залишкового напружено-деформованого стану штаби методом складних перерізів [1] розподіл повних  $\epsilon f(y)$ , пружних  $\epsilon er(y)$  і пластичних  $\epsilon pr(y)$  деформацій ширині штаби показано на рис. 1.

Залишкова усадочна сила  $P_{yc} = 100$  кН, на довжині 6 м залишковий прогин  $f_{yc} = 2,832$  см. Як бачимо, залишковий прогин є значним і зменшити його практично до нульового за розрахунками значення (реальне значення при виготовленні може бути дещо більшим з різних не врахованих причин) можна застосуванням теплової правки шляхом нагріву вздовж штаби вільної крайки на деякій ширині  $S$  до потрібної температури. Таким чином, переходимо до залишкового стану після правки і визначаємо три невідомі: рівномірну по ширині штаби повну деформацію  $\epsilon f$ , ширину зони нагріву  $S$  і ширину  $sn$  зони пластичних деформацій видовження на стадії охолодження при правці в ЗПДС першої крайки, яка нагрівалась зварювальною дугою. З цією метою складаємо і розв'язуємо таку систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{sn} \epsilon_s dy + \int_{sn}^{bn} \epsilon f - \epsilon pr(y) dy + \int_{bn}^{B-S} \epsilon f dy + \int_{B-S}^B \epsilon_s dy &= 0, \\ \epsilon f - \epsilon pr(sn) - \epsilon_s &= 0, \\ \int_0^{sn} \epsilon_s y dy + \int_{sn}^{bn} [\epsilon f - \epsilon pr(y)] y dy + \int_{bn}^{B-S} \epsilon f \cdot y dy + \int_{B-S}^B \epsilon_s y dy &= 0. \end{aligned} \right\} (4)$$

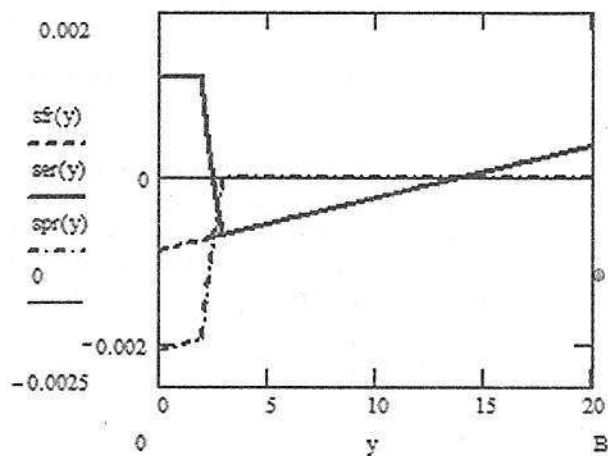


Рис. 1. Розподіл по ширині штаби в залишковому стані після нагрівання і охолодження лівої крайки повних  $\epsilon f(y)$ , пружних  $\epsilon er(y)$  і пластичних  $\epsilon pr(y)$  деформацій

де  $\epsilon_{pr}(x)$  – залишкова пластична деформація скорочення в ЗПДС лівої крайки до теплової правки нагріванням правої крайки.

В результаті розв'язання системи (4) отримуємо такі значення невідомих:  $\epsilon_f = -3,926 \cdot 10^{-4}$ ,  $s_n = 2,087$  см,  $S = 2,463$  см. Графіки розподілу по ширині штаби повної  $\epsilon_f$ , пружної  $\epsilon_e(y)$  і пластичної  $\epsilon_p(y)$  деформацій показані на рис. 2.

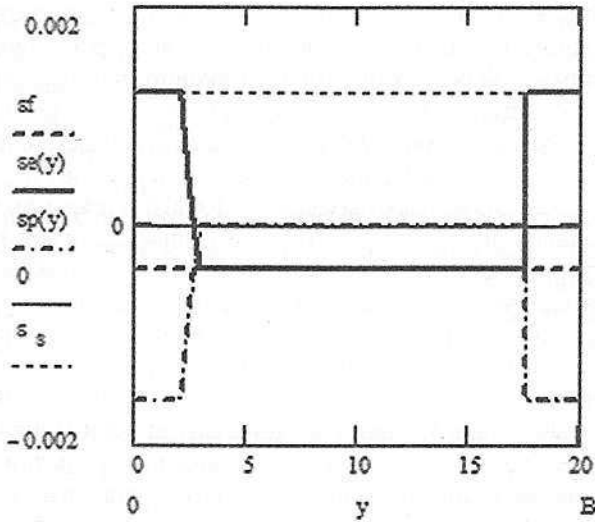


Рис. 2. Розподіл в залишковому стані після теплової правки по ширині штаби повної  $\epsilon_f$ , пружної  $\epsilon_e(y)$  і пластичної  $\epsilon_p(y)$  деформацій

Далі повертаємось до розгляду стадії нагрівання при теплової правці і визначаємо параметри  $g$  і  $d$  повної деформації  $\epsilon_{np}(y) = g \cdot y + d$  розрахункового поперечного перерізу, що проходить через рухому зону максимального розігріву до визначеної температури. Визначальна система рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{bn} g \cdot y + d - \epsilon_{pr}(y) dy + \int_{bn}^{B-S} g \cdot y + d dy + \int_{B-S}^B -\epsilon_s dy &= 0, \\ \int_0^{bn} [g \cdot y + d - \epsilon_{pr}(y)] y dy + \int_{bn}^{B-S} (g \cdot y + d) y dy + \int_{B-S}^B -\epsilon_s y dy &= 0. \end{aligned} \right\} (5)$$

Результати розв'язання системи (5):  $g = -1,459 \cdot 10^{-4}$  1/см,  $d = -1,382 \cdot 10^{-3}$ .

Нарешті, використовуючи формулу (2) із заміною в ній  $\xi$  на  $y$ , записуємо залежність для температури по ширині зони розігріву при теплової правці у вигляді:

$$T(y) = \frac{1}{\alpha} [g \cdot y + d + 2\epsilon_s - \epsilon_f] \quad (6)$$

Розподіл  $T(y)$  по ширині інтервалу  $[B - S, B]$  показано на рис. 3.

На кінцях інтервалу при  $y = B - S$  та  $y = B$  за розрахунками маємо відповідно температури  $\sim 331^\circ\text{C}$  і  $\sim 361^\circ\text{C}$ . Середня температура на всьому інтервалі  $[B - S, B]$  становить близько  $\sim 346^\circ\text{C}$ . Величина сумарної стискаючої

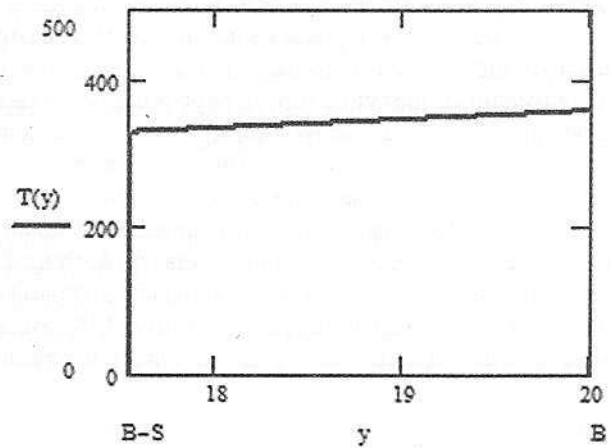


Рис. 3. Розподіл температури по ширині зони нагріву  $S$

усадочної сили  $P_{uc}$  після теплової правки, зумовленої як пластичними деформаціями скорочення після нагрівання лівої крайки, так і аналогічними деформаціями після теплової правки, становить  $-164,3$  кН, а залишковий прогин  $f = 0,022$  см на довжині штаби  $L = 6$  м.

Як бачимо, порівняно незначний нагрів штаби зосереджено-рухомим джерелом, наприклад, індукційним на ширині  $S \approx 2,5$  см повністю вирішує проблему зменшення залишкового прогину практично до нульового значення. Розподіл деформацій по ширині штаби на стадії нагрівання в розрахунковому перерізі показано на рис. 4.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонований наближений інженерний метод розрахунку технологічних параметрів теплової правки залишкового прогину ОЗК першого типу є достатньо простим і

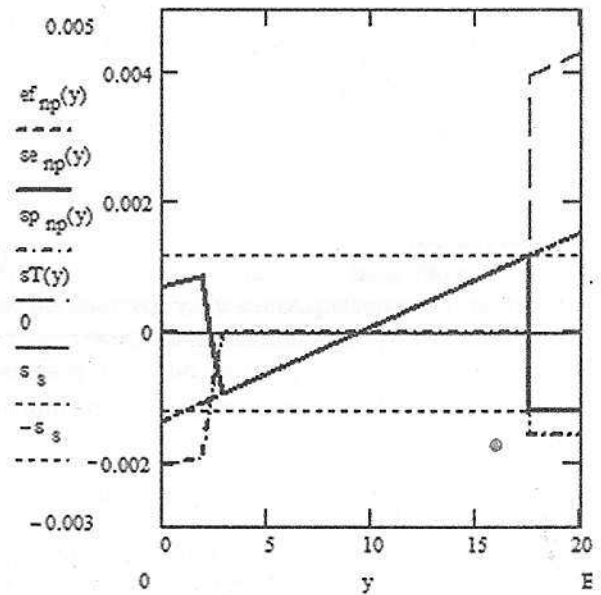


Рис. 4. Розподіл повних  $\epsilon_{np}(y)$ , пружних  $\epsilon_e(y)$ , пластичних  $\epsilon_p(y)$  і температурних  $\epsilon T(y)$  деформацій по ширині штаби

ефективним інструментом у практичній діяльності для інженерно-технічних працівників зварювального виробництва при виготовленні згаданих конструкцій.

#### Література

1. Прохоренко В.М., Карпенко А.С., Прохоренко Д.В. Расчет функции усадки при сварке одномерных конструкций. Сообщение 1. Нагрев мощным быстро движущимся линейным источником // Технологические системы. – 2005. – №4. – С. 49–55.

2. Михайлов В.С. Основы технологии правки конструкций. – Л.: Судостроение, 1983. – 204 с.

3. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

4. Гатовский К.М., Кархин В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений. Учеб. пос. Ленингр. кораблестр. ин-т, 1980. – 331 с.

5. Тальтов Г.Б. Сварочные деформации и напряжения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1973. – 278 с.

УДК 621.891

Кіндрачук М.В., Мансур Д.І., Федорчук С.В., Корпійенко А.О.

Національний авіаційний університет. Україна, м. Київ

### ФОРМУВАННЯ МЕТАСТАБІЛЬНОСТІ ТА ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТЕРМОЦИКЛІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

#### Анотація

Проведено комплексне дослідження структури та властивостей плазмових покриттів, після термоциклічної обробки. Показано, що така обробка суттєво підвищує адгезійно-когезійну міцність покриттів. Керуючи величиною дисперсних кристалів фаз проникнення і одночасно станом металевої матриці, можна підібрати режими термоциклічної обробки, при яких покриття отримують оптимальні триботехнічні властивості.

#### Abstract

The complex investigation of structure and properties of plasma coating after thermocyclic treatment are fulfilled. It is shown that such treatment essentially raises adhesive-cohesive durability of coating. Controlling the dispersity of introduction phases and at the same time the conditions of metallic matrix, one can select the regimes thermocyclic treatment, in which the coating receive optimum tribotechnical properties.

#### Вступ

Більшість існуючих підходів в розробці сплавів і зміцнюючих технологій ґрунтуються на одержанні заданих складу і структури у вихідному, зазвичай стабільному стані до експлуатації. При цьому в більшості випадків цілком не враховується еволюція фазово-структурного стану сплаву під дією зовнішніх і внутрішніх впливів, таких як структурні, термічні або механічні напруження і деформації, тертя та зношування, кавітація і ін. Таким впливам піддаються різноманітні деталі та вироби в реальних умовах експлуатації. Разом з тим, адекватне врахування цих факторів дозволяє створювати більш

ефективні метастабільні матеріали, значно краще адаптовані до умов експлуатації.

Кероване і раціональне використання фазово-структурної метастабільності дозволяє досягати аномально високих показників властивостей і особливо їх поєднання, які не вдається одержати в звичайних матеріалах. Це стає можливим завдяки включенню додаткових, скритих резервів і механізмів, якими потенційно володіє матеріал.

#### Сутність проблеми

Евтектичні сплави, так як і сталі, можуть знаходитися в різних нерівноважних станах. Ці стани виявляються у виді нерівноважної структури або появи метастабільних фаз, що має місце при створенні екстремальних умов кристалізації з рідкого стану, наприклад, за великих швидкостей охолодження [1]. Зі зміною швидкості охолодження відбувається зміна механізму евтектичної кристалізації з утворенням трьох типів структур: грубого конгломерату фаз, структур кооперативного росту, тонкого конгломерату фаз [2]. Кожна з перерахованих структур відповідає різному ступеню відхилення від положення термодинамічної рівноваги і контролюється швидкістю роздільної дифузії атомів перед фронтом кристалізації. Найбільш рівноважна структура грубого конгломерату фаз (малі швидкості охолодження), найбільш нерівноважна структура – тонкого конгломерату фаз (максимальні швидкості охолодження). У широкому діапазоні швидкостей охолодження між ними формуються колоніальні структури, обумовлені кооперативним ростом фаз, що складають евтектику. У залежності від ступеня відхилення від термодинамічної рівноваги, ці структури мають різну стабільність – найбільш стабільна структура грубого конгломерату фаз.