

НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 539.373:621.9.02

Я.Ф. Андрусик

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної механіки

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ РІВНЯ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗСУВУ

© Андрусик Я.Ф., 2009

Проведене дослідження, скероване на розроблення рекомендацій щодо вибору оптимальних режимів термопластичної обробки металів. Розглядається математичне моделювання такого напрямку оптимізації технологічного процесу зміцнення, коли використовується один з можливих чинників керування дислокаційною структурою металів за рахунок пластичної деформації матеріалу по складних траєкторіях навантаження. Встановлено, що завжди існує такий режим довантаження, за якого параметр зміцнення приймає максимальне значення.

We studied the possibility to give the recommendations on selection of optimal regimes of the thermoplastic processing of metals. We mathematically model such direction of optimisation of the strengthening process when one of the possible managing factors of metals dislocation structure (plastic deformation of material along complex load trajectory) is used. Our research showed that regime of additional loading with maximum rating of strengthening parameter always exists.

Актуальність дослідження. Екстенсивний шлях забезпечення надійності машин та споруд за рахунок збільшення перерізу в особливо відповідальних деталях і місцях з'єднання елементів конструкцій на цьому етапі промислового розвитку себе вичерпав [1].

Єдиним правильним напрямком вирішення проблем, пов'язаних з покращанням конструкційної міцності сталей, є удосконалення технологічних процесів оброблення тиском, порошкової металургії, дифузійного термогазонасичення, деформаційного зміцнення, створення нових матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі нагромадженого досвіду об'ємного зміцнення реальних сплавів здійснено спробу математичного обґрунтування оптимізації технологічних режимів і параметрів термопластичної обробки металів. Моделювання таких процесів ґрунтується на реалізації ідеї, яка передбачає зростання міцності матеріалів за рахунок збільшення густини дислокацій під час пластичного деформування [2]. Розглядається аналітичне дослідження одного з можливих напрямків технологічного процесу покращання фізико-механічних і експлуатаційних характеристик металів, що ґрунтується на дислокаційному механізмі зміцнення за рахунок пластичного деформування по складній траєкторії навантаження.

Формулювання мети дослідження. Мета дослідження – розробити математичні моделі оптимізації технологічного процесу зміцнення шляхом керування дислокаційною структурою пластичної деформації матеріалу по складних траєкторіях навантаження.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для характеристики сумарного поля пластичних деформацій зсуву за різних траєкторій навантаження використовується інтегральний

критерій рівня нагромадження пластичних деформацій зсуву J_g^P [3, 4] на основі синтезного варіанта теорії пластичності [5]:

$$J_\gamma^P = \int \int \int_{\alpha\beta\lambda} F(H_N) \sin \beta d\alpha d\beta d\lambda, \quad (1)$$

де $F(H_N)$ – характеристична функція матеріалу; a, b, l – кути, які задають орієнтацію нормалі \dot{N} до площини простору напружень R^5 .

Рекомендовану у [5] $F(H_N)$ за $H_N \geq \sigma_S$, прийняли у вигляді

$$F(H_N) = a \left[\left(\frac{H_N}{\sigma_S} \right)^2 - 1 \right], \quad (2)$$

де a – стала матеріалу; σ_S – межа плинності за одновісного розтягу; H_N – відстань від початку координат до площини з нормаллю \dot{N} простору компонент вектора напружень R^5 .

Для проведення аналітичного дослідження за вибором оптимального режиму технологічного процесу деформаційного зміцнення використаємо отримані на основі (1) і (2) [6] формули визначення інтегрального критерію J_g^P . Наведені нижче вирази дають змогу визначити рівень нагромадження пластичних деформацій зсуву за дволанкової траєкторії навантаження з прямолінійними ланками.

Співвідношення, що використовуються, мають вигляд

$$J_\gamma^P = U(\chi + \beta_1^{\sigma*}) U(\chi + \gamma) J_\gamma^{P'}(I) + W(\chi) J_\gamma^{P'}(II) + U(\beta_1^{\sigma*} - |\chi|) \left[\text{sign} \chi J_\gamma^{P''}(II) - \text{sign}(\chi + \gamma) J_\gamma^{P''}(I) \right]. \quad (3)$$

Ступеневі функції, застосовані у (3), визначаються так:

$$\text{sign } B = \begin{cases} -1, & B < 0, \\ 1, & B \geq 0, \end{cases} \quad U(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 0, \\ 0, & C < 0, \end{cases} \quad W(c) = \begin{cases} 1, & c < 0, \\ 0, & c \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

При цьому відповідні доданки визначаються в такий спосіб:

$$J_\gamma^{P'}(I) = \frac{\pi a}{3} \left(\text{tg} \beta_1^\sigma + 4 \cos \beta_1^\sigma \ln \frac{1 + \sin \beta_1^\sigma}{\cos \beta_1^\sigma} + \frac{1 - 6 \cos^2 \beta_1^\sigma}{\cos^2 \beta_1^\sigma} \beta_1^\sigma \right),$$

$$J_\gamma^{P''}(I) = \frac{a\pi}{12 \cos^2 \beta_1^\sigma} \left[\sin 2\beta_1^\sigma - \sin 2|\gamma + \chi| + 8 \cos^3 \beta_1^\sigma \ln \frac{(1 + \sin \beta_1^\sigma) \cos(\gamma + \chi)}{\cos \beta_1^\sigma (1 + \sin|\gamma + \chi|)} + 2(\beta_1^\sigma - |\gamma + \chi|)(1 - 6 \cos^2 \beta_1^\sigma) \right], \quad (5)$$

$$J_\gamma^{P'}(II) = \frac{\pi a}{3} \left(\text{tg} \beta_1^{\sigma*} + 4 \cos \beta_1^{\sigma*} \ln \frac{1 + \sin \beta_1^{\sigma*}}{\cos \beta_1^{\sigma*}} + \frac{1 - 6 \cos^2 \beta_1^{\sigma*}}{\cos^2 \beta_1^{\sigma*}} \beta_1^{\sigma*} \right),$$

$$J_\gamma^{P''}(II) = \frac{\pi a}{12 \cos^2 \beta_1^{\sigma*}} \left[\sin 2\beta_1^{\sigma*} - \sin 2|\chi| + 8 \cos^3 \beta_1^{\sigma*} \ln \frac{(1 + \sin \beta_1^{\sigma*}) \cos \chi}{\cos \beta_1^{\sigma*} (1 + \sin|\chi|)} + 2(\beta_1^{\sigma*} - |\chi|)(1 - 6 \cos^2 \beta_1^{\sigma*}) \right].$$

де γ і β – кути, які характеризують орієнтацію дволанкової ламаної [5]. Відповідні кути β_1^σ і $\beta_1^{\sigma^*}$ визначаються з рівностей:

$$\cos\beta_1^\sigma = \frac{\sigma_S}{\sigma}, \quad \cos\beta_1^{\sigma^*} = \frac{\sigma_S}{\sigma_Z^*}, \quad (6)$$

де σ – величина вектора напружень для другої ланки дволанкової траєкторії навантаження; σ_Z^* – напруження розтягу (стиску) на початковому етапі зламу траєкторії навантаження.

Схематично дволанкову траєкторію вектора напружень з прямолінійними ланками показано у площині осей σ_Z і S_3 на рис. 1, де по осі S_Z відкладається напруження розтягу (стиску), а по осі S_3 – компонента вектора напружень $S_3 = \sqrt{3}\tau_{XZ}$. Тут τ_{XZ} – відповідна компонента тензора напружень, яка викликає зсув під час кручення.

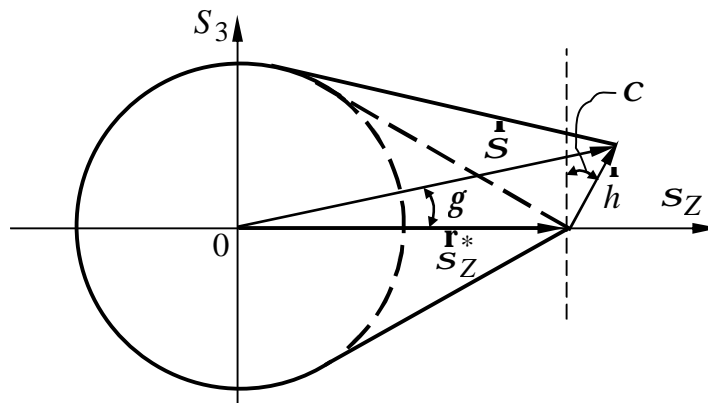


Рис. 1. Орієнтація дволанкової ламаної траєкторії навантаження та форма відповідної поверхні навантаження

Формування визначальних співвідношень та їх розв’язання. Подамо деякі пояснення і уточнення стосовно траєкторії навантаження, показаної на рис. 1.

На початковому етапі зразок розтягують або стискають за межею пружності до напруження $\sigma_Z = \sigma_Z^* \rangle \sigma_S$. Подальше довантаження здійснюється шляхом поєднання розтягу (стиску) із зсувом (крученням), коли $(\tau_{XZ} \geq 0)$, яке в просторі компонент вектора напружень характеризується вектором \mathbf{h} , сталим за величиною. Для підрахунку взято, що $h = \frac{1}{2}\sigma_S$. Орієнтація вектора \mathbf{h} задається кутом χ , який змінюється у межах $\chi \in \left[-\beta_1^{\sigma^*}, \frac{\pi}{2}\right]$. Вектор напружень \mathbf{S} для другої ланки траєкторії навантаження утворює з вектором \mathbf{S}_Z^* кут γ .

Враховуючи параметри дволанкової траєкторії навантаження з рис. 1, для g і S можна записати

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h \cos \chi}{\sigma_Z^* + h \sin \chi}, \quad \sigma = \sqrt{(\sigma_Z^*)^2 + h^2 + 2\sigma_Z^* h \sin \chi}. \quad (7)$$

Використовуючи взяті для розрахунку значення $h = \frac{1}{2}\sigma_S$, на основі (6) і (7), запишемо вирази з визначення кутів γ і β_1^σ , які залежатимуть від кута зламу траєкторії навантаження χ і кута $\beta_1^{\sigma^*}$, що визначається з рівності (6):

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\cos \beta_1^{\sigma*} \cos \chi}{2 + \cos \beta_1^{\sigma*} \sin \chi}, \quad \cos \beta_1^{\sigma} = \frac{2 \cos \beta_1^{\sigma*}}{\sqrt{4 + \cos^2 \beta_1^{\sigma*} + 4 \cos \beta_1^{\sigma*} \sin \chi}}. \quad (8)$$

Для визначення оптимального режиму технологічного процесу деформаційного зміцнення металів за складної траєкторії навантаження з точки зору економії силових затрат і енергії введемо величину відносного приросту інтенсивності напружень над межею плину, яку позначимо так:

$$\delta = \frac{\sigma - \sigma_S}{\sigma_S} = \frac{1 - \cos \beta_1^{\sigma}}{\cos \beta_1^{\sigma}}. \quad (9)$$

Поділивши δ на інтегральний критерій рівня пластичних деформацій зсуву J_γ^P , отримаємо безрозмірний параметр θ , на основі якого можна проводити дослідження з оптимізації процесу деформаційного зміцнення металів:

$$\theta = \frac{\delta}{J_\gamma^P} = \frac{1 - \cos \beta_1^{\sigma}}{J_\gamma^P \cos \beta_1^{\sigma}}. \quad (10)$$

За допомогою рівнянь (3), (4), (5), (8), (10) проведемо підрахунки параметра θ залежно від кута зламу траєкторії навантаження χ для таких значень: $\cos \beta_1^{\sigma*} = \frac{1}{3}; \frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{4}{5}$. Результати аналітичних обчислень показано на рис. 2 у вигляді залежностей $\theta(\chi)$.

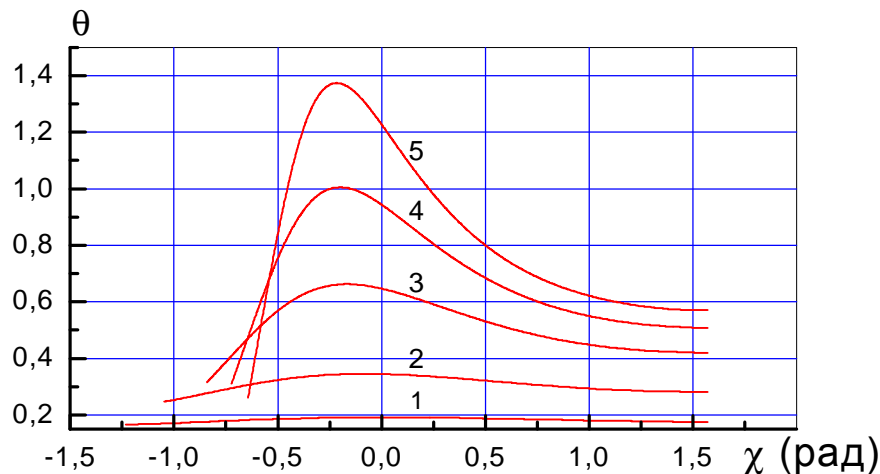


Рис. 2. Залежність параметра θ від кута зламу дволанкової траєкторії навантаження χ .

Графіки 1, 2, 3, 4, 5 відповідають відповідно значенням кута $\beta_1^{\sigma*}$, для якого $\cos \beta_1^{\sigma*} = \frac{1}{3}; \frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{4}{5}$.

Як бачимо з рис. 2, завжди існує екстремум функції $\theta(\chi)$. Отже, кут зламу χ на траєкторії довантаження, за якого θ приймає максимальне значення, може бути використаний як рекомендований в технологічних процесах зміцнення за пластичного деформування металів по складних траєкторіях навантаження.

Висновки:

1. Обґрунтовано доцільність використання інтегрального критерію рівня пластичних деформацій зсуву у задачах оптимізації технологічних процесів деформаційного зміцнення металів.

2. Введено параметр θ , за яким можна проводити аналітичні дослідження в технологічних процесах зміцнення під час деформування матеріалу по складних траєкторіях навантаження, як одного з можливих факторів, що впливає на покращання механічних характеристик металів під час термопластичної обробки.

3. На основі графічних залежностей встановлено, що завжди існує такий режим довантаження для дволанкової траєкторії навантаження, за якого параметр Q приймає максимальне значення. Отримане при цьому значення кута зламу C може бути використане як рекомендоване в пошуках оптимальних схем термопластичного зміцнення.

1. Тушинский Л.Н. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 303 с. 2. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. – М.: Наука, 1973. – 223 с. 3. Андрусик Я.Ф. Про критерій нагромадження пластичних деформацій // П'ятий Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: Тез. доп. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2001. – С. 132. 4. Андрусик Я.Ф., Ляшенко В.П. Оцінка рівня нагромадження пластичних деформацій зсуву в технологічних процесах зміцнення матеріалів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 483. – С. 3–5. 5. Андрусик Я.Ф., Русинко К.М. Пластическое деформирование упрочняющихся материалов при нагружении в трехмерном подпространстве пятимерного пространства девиаторов // Изв. АН МГТ. – 1993. – № 2. – С. 92–101 6. Андрусик Я.Ф., Ляшенко В.П. Аналітичне дослідження рівня пластичних деформацій зсуву при дволанковій траєкторії навантаження // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – 509. – С. 6–10.

УДК 621.791.947.72.03-621.375.826

В.І. Білобородченко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра зварювального виробництва, діагностики
і відновлення металоконструкцій

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО МІКРОЗВАРЮВАННЯ ПАКЕТНИХ СТРУМОПРОВОДІВ З АЛЮМІНІЮ

© Білобородченко В.І., 2009

Презентовано результати оптимізації технологічних режимів точкового з перекриттям точок і шовного лазерного мікрозварювання пакетних струмопроводів з алюмінію.

The results of decision of choice of the optimum modes of the laser welding of packages of aluminium current element are represented.

Актуальність дослідження. Пакетні струмопроводи, які складаються з n (10...20 мкм) товщини смуг, де n – кількість одинарних шин в пакеті, є конструктивним елементом потужних емісійних накопичувачів енергії. Основною вимогою до нероз’ємного контактного з’єднання шин є співмірність його гальванічного опору з R_n/n – сумарним опором одинарних шин з алюмінію А1 при забезпеченні надійності за механічною міцністю, щільністю зони з’єднання заданої геометричної форми. З огляду на теплофізичні характеристики алюмінію, металургійні особливості у часі зварювання, особливості формування залишкових полів напружень та деформацій, використання імпульсних потужних поверхневих джерел зварювання є прийнятними для утворення зварної конструкції струмопроводу у вигляді шва з перекривними точками [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Достатністю з рештою рівних умов для формування зварного з’єднання є можливість гнучкого забезпечення порогової щільності потужності поверхневого джерела на рівні $E_n = 10^9...10^{11}$ Вт/м² (залежно від теплоти випаровування, теплопровідності, тривалості нагрівання іншого матеріалу). Для забезпечення якісних показників зварювання технологічні енергетичні показники джерела повинні перевищувати E_n , щоб забезпечити як процеси руйнування структури металу (розплавлення), часткове його