

аспірантів і студентів. – Макіївка: ДоНАБА, 2009. – № 5 (79). – С. 32–34. 9. Жидков А.Б. Исследование процессов, происходящих в сварных конструкциях при виброобработке на имитационных моделях / А.Б. Жидков, В.А. Сысоев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: тематичний збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2010. – № 2 (19). – С. 106–111. 10. Деньщиков А. Ю. Процесс вибрационного старения в толстостенных трубах / А. Ю. Деньщиков // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолНТУ, 2009. – Вип. 3, т. 1. – С. 60–66. 11. Огибалов П. М. Изгиб, устойчивость и колебания пластинок / П. М. Огибалов. – М.: МГУ, 1956. – 388 с. 12. Бидерман В. Л. Прикладная теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. – М.: Высшая школа, 1970. – 416 с. 13. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н. И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1961. – 538 с. 14. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1967. – 400 с.

УДК 621.73

І.А. ДУДНІКОВ

Полтавська державна аграрна академія

## ОЦІНКА ПЛАСТИЧНОСТІ МЕТАЛУ ПІД ЧАС ДЕФОРМУВАННЯ

© Дудніков І.А., 2011

*Розглянуто основні показники оцінки пластичності металів поверхневого шару деталей при їх відновленні різними методами.*

*The basic evaluation indexes of plasticity of metals of superficial layer of details are examined at their renewal different methods.*

**Постановка проблеми.** Покращення якості деталей під час їх виготовлення або відновлення пов'язано, великою мірою, з інтенсифікацією використаних технологічних процесів обробки поверхневого шару. Дати оцінку деформуванню металу в холодному стані, визначити величину зусиль та деформацій, розрахувати напруження, що при цьому виникають, можливо тільки тоді, коли відомі залежності його механічних властивостей від структури, механічних параметрів, хімічного складу тощо.

Розроблення достовірних методів оцінки пластичності матеріалу деталей, які давали б можливість повніше враховувати вплив методу навантаження і схеми напруженого стану на пластичність металів, залишається актуальною науковою проблемою теорії деформування.

**Аналіз останніх досліджень.** Методи оцінки деформування металів тиском ґрунтуються на теорії деформування, яка враховує вплив навантаження на інтенсивність накопичення пошкоджень і дає змогу отримати кількісну оцінку впливу параметрів технологічного процесу на ймовірність руйнування.

Інтенсивність утворення мікропор металу можна значно знизити за рахунок зміни характеру навантажень, наприклад, при знакозмінних деформаціях [1–3].

У роботах [4, 5] встановлено, що дефекти, які утворюються, погіршують фізико-механічні характеристики виробів, а також знижують їхні експлуатаційні характеристики. Це свідчить про актуальність проблеми визначення ресурсу пластичності не тільки з погляду якості поверхні

деталей, що обробляються, але і з погляду гарантії їх надійних експлуатаційних характеристик. Тому, як вважають автори, залишається проблема подальшого розвитку теорії деформування і розроблення на цій основі оцінювальних критеріїв пластичності металу деталей при їх обробці тиском.

В основу сучасної теорії деформування покладено гіпотезу про залежність пластичності від схеми напруженого стану. В останніх роботах В.А. Огороднікова, А.А. Богатова, С.В. Смірнова показано, що залежність пластичності від схеми напруженого стану характеризується також тензором напружень. Але такий підхід не завжди дає змогу перейти від простору безрозмірних показників до простору напружень.

**Мета досліджень.** Метою досліджень є обґрунтування вибору оціночних показників пластичності матеріалу деталей, що обробляються, при різних видах деформування.

**Результати досліджень.** Теоретичні та експериментальні дослідження процесу пластичного деформування зводяться до розроблення моделей з метою оптимізації та керування процесом пластичної формозміни. Математичні моделі повинні, на нашу думку, враховувати взаємодію металу, що деформується, з оброблювальним інструментом та базуватися на обґрунтованій фізико-механічній концепції. Математична модель повинна описувати властивості матеріалів, від зміни яких залежить механізм зміцнення деформованого металу і, врешті-решт, ефективність технологічного процесу формозміни і якість виробу, що виготовляється (відновлюється).

Під пластичністю необхідно розуміти здатність металу змінювати форму без руйнування.

За міру пластичності можна використати накопичену до моменту руйнування пластичну деформацію:

$$e_p = \int_0^{t_p} \varepsilon_u dt, \quad (1)$$

де  $t_p$  – час деформування до руйнування;  $\varepsilon_u$  – інтенсивність швидкості деформацій.

Величину  $e_p$  можна також розглядати як довжину траєкторій деформацій у просторі вектора деформацій.

Вибір показника  $e_p$  в якості кількісної оцінки пластичності не є оптимальним, особливо при оцінці циклічного (немонотонного) навантаження, оскільки матеріал за такої деформації стає анізотропним. В цьому випадку обґрунтованішим буде вибір як міри пластичності роботи пластичної деформації  $A$ :

$$A = \int s_i de_i, \quad (2)$$

де  $s_i$  і  $e_i$  – відповідно напруження та інтенсивність деформації у напрямі однієї із головних осей.

Пластичність металу залежить від великої кількості факторів, серед яких важливу роль відіграють механічні параметри процесу. Під час холодної пластичної деформації головним фактором, що впливає на пластичність, є напружений стан і закон його зміни в процесі навантаження. Для кількісної оцінки впливу навантаженого стану на ймовірність руйнування зазвичай використовують критерії руйнування (утворення макротріщин у матеріалі, що обробляється).

Залежно від умов навантаження той самий матеріал може руйнуватися внаслідок відриву або зсуву. Тобто при певній температурі та швидкості деформування руйнування має подвійний характер, врахувати який можна за допомогою одночасного обліку дотичних і нормальних напружень при виборі оціночного показника  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}^{\text{прив}}}, \quad (3)$$

де  $\tau_{max}$  – максимальні дотичні напруження;  $\sigma_{max}^{прив}$  – максимальне значення зведеного нормального напруження розтягу.

Із урахуванням другої теорії міцності [6] рівняння (3) матиме вигляд:

$$a = \frac{S_1 - S_3}{2S_1 - 2m(S_2 + S_3)}, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $S_1, S_2, S_3$  – головні напруження.

За оціночний показник пластичності можна прийняти використаний ресурс пластичності  $\psi$ :

$$\psi = \frac{e_u}{e_p(h)}, \quad (5)$$

де  $\psi$  при деформуванні без руйнування менше від одиниці, а при деформуванні з руйнуванням  $\psi = 1$ ;

$$e_u = \int_0^t e_u dt - \text{ступінь деформації};$$

$e_p(h)$  – діаграма пластичності.

На підставі гіпотези про нелінійний закон накопичення пошкоджень при пластичній деформації:

$$\psi = \int_0^{e_p} n \frac{e_u^{n-1}}{e_p(h)^n} de_u = 1, \quad (6)$$

$$\text{де } n = 1 + a \frac{dh}{de_u}; \quad (7)$$

константа  $a \approx 0,2$ .

Теорію деформування, в основу якої покладено модель накопичення пошкоджень під час обробки металу (6), можна використати передовсім під час плоского напруженого стану.

У разі циклічного (вібраційного) навантаження механізм накопичення дефектів суттєво змінюється. Для кількісної оцінки впливу циклічної деформації на пластичність С. Менсон [7] запропонував рівняння, що описує залежність між кількістю циклів  $N$  і амплітудою (розмахом) пластичної деформації у циклі  $\Delta e_u$ :

$$\Delta e_u \cdot N^a = c, \quad (8)$$

де  $a, c$  – сталі, що залежать від властивостей матеріалу.

Враховуючи, що інтенсивність пластичності під час циклічного деформування на будь-якому етапі знакозмінної деформації не залежить від попередньої деформації, використаний запас пластичності можна визначати за такою формулою:

$$\psi = \sum_{i=1}^n \int_0^{e_{ui}} \frac{ae_u^{a-1}}{e_p^a} de_u. \quad (9)$$

У цьому рівнянні за межу пластичності прийнято скалярну величину і тому не враховується характер пошкоджень і не описується анізотропія пластичності деформованого металу.

Г.Д. Дель [2] розробив тензорно-лінійну модель накопичення пошкоджень, відповідно до якої компоненти тензора пошкоджень матеріалу під час деформування визначають за формулою:

$$\psi_i = \int_0^{e_u} F(e_u, h, m) b_i de_u, \quad (10)$$

де  $b_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{de_i}{de_u}$  – компоненти напрямного тензора приросту деформацій;  $F(e_u, h, m)$  – додатна функція, що визначається механічними властивостями матеріалу:

$$F = \frac{dj}{de_u}. \quad (11)$$

Функція  $\varphi$  визначається такою залежністю:

$$j = (1-a) \frac{e_u}{e_p} + a \left( \frac{e_u}{e_p} \right)^2, \quad (12)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,5.

**Висновки.** Наявність великої кількості показників пластичності матеріалу деталей під час їх відновлення звичайним і вібраційним деформуванням потребує подальших досліджень з їх визначення для конкретних методів обробки та вибраної номенклатури деталей.

1. Мовчан А.А. Микромеханический подход к проблеме описания накопления анизотропных рассеянных повреждений / А.А. Мовчан // *Механика твердого тела*. – 1990. – № 3. – С.76–80.
2. Дель Г.Д. Пластичность деформированного металла / Г.Д. Дель // *Физика и техника высоких давлений*. – 1982. – № 11. – С.28–32.
3. Богатов А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатов, О.И. Мижгирицкий, С.В. Смирнов. – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.
4. Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев. – М.: Металлургия, 1977. – 336 с.
5. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В.А. Огородников. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.
6. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 1974. – Т.1. – 472 с.
7. Менсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость: пер. с англ. / С. Менсон. – М.: Машиностроение, 1974. – 344 с.