

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ  
В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ  
І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ**

**Матеріали  
IX Міжнародної  
науково-технічної конференції**

***28 травня–01 червня 2018 року***

**Київ–Херсон  
Україна**

	Стор.
28. Сивак Р.И., к.т.н., доц. <b>ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ НЕМОНОТОННОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ.....</b>	105
29. Савченко Д.М., Петришин А.И., Холявик О.В., Борис Р.С. <b>РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ НА ЗАГОТОВКИ.....</b>	107
30. Тітов В.А. д.т.н., проф., Бень А.М., асп. <b>КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ ЗАГОТОВОК КОМПРЕСОРНИХ ЛОПАТОК З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ QFORM 2D/3D.....</b>	111
31. Ленюк А.А., асп. <b>АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУТОЗАГНУТИХ ВІДВОДІВ ДЛЯ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ.....</b>	115
32. Тітов В.А., д.т.н., проф., Гараненко Т.Р., ас. <b>РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ.....</b>	118
33. Поливода С.Л., Тітов А.В., Вишневикий П.С. <b>ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ТОНКОСТЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ВОЛОКОН АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД1.....</b>	122
34. Можаровская Т.Н., к.т.н., доц. <b>ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ 08X18N9 (T = 600°C) В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ.....</b>	126
35. Калюжний В.Л., д.т.н., проф., Ярмоленко О.С. студ. <b>НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН МЕТАЛУ ПРИ ГАРЯЧОМУ ШТАМПУВАННІ ПОРОЖНИСТИХ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ З ЛАТУНІ</b>	129
36. Калюжний В.Л. д.т.н., проф., Гордійчук В.А. студ. <b>ГАРЯЧЕ ЗВОРОТНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ.....</b>	133
37. Калюжний В.Л. д.т.н., проф., Руденко І.С. студ. <b>ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДА СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВИТЯГУВАННЯ З ПОТОНШЕННЯМ ЧЕРЕЗ ДВІ ПОСЛІДОВНО РОЗТАШОВАНІ МАТРИЦІ.....</b>	137
38. Кузьмов А.В., Штерн М.Б., Фела М.А. <b>ВПЛИВ ОБЕРТАННЯ БІЧНИХ СТІНОК МАТРИЦІ НА ЗМЕНШЕННЯ РОБОЧОГО ТИСКУ ПРИ ПРЕСУВАННІ ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК.....</b>	141
39. Макеева Г.С., асп., Фролов Я.В. проф., д.т.н. <b>АНИЗОТРОПИЯ ГАРЯЧЕКАТАНИХ, АРМОВАНИХ СТАЛЕВОЮ СІТКОЮ АЛЮМІНІЄВИХ МАТРИЧНИХ КОМПЗИТІВ.....</b>	145
40. Тітов В.А., д.т.н., проф., Борис Р.С., к.т.н., доц., Косов П.С., студ. <b>ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ СТИСКАЮЧИХ НАПРУЖЕНЬ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЬЄФУ НА ГРАНИЧНІЙ ПОВЕРХНІ БІМЕТАЛЕВОГО ТРУБЧАСТОГО ЕЛЕМЕНТУ .....</b>	148
41. Курпе О.Г., Кухар В.В., Присяжний А.Г. <b>ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ НА СТАНІ СТЕККЕЛЯ ЩОДО УМОВ ЗАВОДУ FERRIERA VALSIDER SpA.....</b>	152
42. Алиева Л. И., к.т.н., доц., Махмудов К. Д., к.т.н., проф., Таган Л.В., к.т.н., асс. <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ВОЗВРАТНО-ПРЯМОГО ВИДАВЛИВАННЯ.....</b>	158
43. Алиева Л.И. к.т.н. доц., Каргамышев Д.А., Махмудов К.Д. <b>ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЦЫ НА СИЛОВОЙ РЕЖИМ КОМБИНИРОВАННОГО ВИДАВЛИВАННЯ.....</b>	162

УДК 621.73.011.001.5

Сивак Р.И., к.т.н., доцент, Винницкий национальный технический университет,  
Винница, [sivak\\_r\\_i@ukr.net](mailto:sivak_r_i@ukr.net)

## ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ НЕМОНОТОННОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Основной задачей обработки металлов давлением является получение заготовок заданной формы без нарушения сплошности. Поскольку большинство технологических процессов обработки металлов давлением сопровождается немонотонным деформированием, то остается актуальной проблема оценки пластичности деформируемых металлов в таких процессах.

Согласно определению пластическая деформация считается монотонной если компоненты направляющего тензора скоростей деформаций  $\alpha_{ij}$  совпадают с компонентами направляющего тензора деформаций  $\beta_{ij}$ . При этом не исключается возможность значительных поворотов главных осей тензора скоростей деформаций относительно любой неподвижной системы координат, если относительно переносной системы координат, связанной с материальными волокнами частицы, повороты главных осей будут равны нулю [1, 2].

Поэтому для количественной оценки немонотонности пластической деформации используется тензор  $\gamma_{ij}$ , компоненты которого определяются разностью  $\gamma_{ij} = \alpha_{ij} - \beta_{ij}$  между компонентами направляющего тензора скоростей деформации  $\alpha_{ij}$  и компонентами направляющего тензора деформаций  $\beta_{ij}$  [3].

Компоненты направляющего тензора  $\beta_{ij}$  определяется формулой [4]

$$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{de_u}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{ij}$  – компоненты тензора деформаций,

$$e_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u d\tau - \text{степень деформации,}$$

$\dot{\varepsilon}_u$  - интенсивность скоростей деформаций,

t – время.

Компоненты направляющего тензора скоростей деформаций определяются формулой

$$\alpha_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\dot{\varepsilon}_{ij}}{d\dot{\varepsilon}_u}, \quad (2)$$

где  $\dot{\varepsilon}_{ij}$  – компоненты тензора скоростей деформаций.

Для оценки пластичности металлов при немонотонном нагружении введём, следуя Г. Д. Делю [4] тензор повреждений  $\psi_{ij}$ , компоненты которого определим следующим образом [3]

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) \beta_{ij} (1 - \gamma_{ij}) de_u^*, \quad (3)$$

где  $\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}$  – показатель жесткости напряжённого состояния,

$$\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij} - \text{среднее напряжение,}$$

$\sigma_u$  – интенсивность напряжений,

$\mu_\sigma$  – параметр Надаи-Лоде.

Положительная функция  $F(e_u, \eta, \mu_\sigma)$  является характеристикой материала. В работе Г. Д. Деля [4] показано, что тензор с компонентами  $\psi_{ij}$  является девиатором.

При описании процесса накопления повреждений компонентами тензора  $\psi_{ij}$ , определяемого по формуле (3), условие разрушения запишем в виде

$$\psi_{ij} \psi_{ij} = 1. \quad (4)$$

При расчётах использованного ресурса пластичности  $\psi$  по условию разрушения (4) для функции повреждений

$$\varphi(e_u, \eta, \mu_\sigma) = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) de_u^* \quad (5)$$

использовали аппроксимацию Г. Д. Деля [4]

$$\varphi(e_u, \eta, \mu_\sigma) = (1 - a) \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} + a \frac{e_u^2}{e_p(\eta, \mu_\sigma)^2} \quad (6)$$

где  $e_p(\eta, \mu_\sigma)$  – поверхность предельных деформаций.

При этом величина использованного ресурса пластичности будет определяться выражением

$$\psi = \sqrt{\psi_{ij} \psi_{ij}}. \quad (7)$$

Формулы (4) и (7) остаются справедливыми и когда в процессе пластической деформации компоненты тензора  $\gamma_{ij}=0$ .

#### Список использованной литературы

1. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 1998. – 195 с.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – К: Выща школа, 1983.- 173 с.
3. Сивак Р. Оцінювання пластичності металів при немонотонному навантаженні / Р. Сивак // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій. - Львів, 2014. – С. 49-50.

4. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель // Физика и техника высоких давлений. - 1983. - №11. - С. 28-32.