

УДК 621.77

В. М. Михалевич, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк

## МОДЕЛЮВАННЯ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ВІЛЬНІЙ БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ ПІД ЧАС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТОРЦЕВОГО ОСАДЖЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК

Вінницький національний технічний університет

*В статті розроблено методику побудови моделі напружено-деформованого та граничного станів матеріалу бічної поверхні під час торцевого осадження циліндричних заготовок.*

### ВСТУП

Одним із найпоширеніших процесів деформування є торцеве осадження циліндричних заготовок, яке використовується і як складова частина технологічного процесу виготовлення деталей, так і як спосіб дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів [1–4]. Як відомо [1–9], під час осадження циліндричних заготовок із малопластичних матеріалів на бічній поверхні утворюються тріщини. При чому ступінь осадження, при якому з'являються тріщини, залежить від інтенсивності бочкоутворення на бічній поверхні. У свою чергу інтенсивність бочкоутворення визначається умовами тертя на торцях заготовки. Наукові напрацювання стосовно цього процесу є базовими для створення та удосконалення переважної більшості теоретичних методик розрахунку технологічних параметрів різноманітних процесів пластичного деформування. Тому отримані дані про особливості та закономірності вказаного процесу деформування мають надзвичайно великий теоретичний та практичний інтерес [1–5].

Під час торцевого осадження, у зв'язку із нерівномірністю деформацій, відбувається викривлення форми вільної поверхні, так зване бочкоутворення, від якого залежить напружено-деформований стан та граничні деформації матеріалу. Комплексна характеристика напружено-деформованого стану бічної поверхні заготовки під час процесу торцевого осадження є основною складовою при формуванні якісних параметрів готових деталей та механізмів. Не менш важливим є вплив на граничні деформації температурно-швидкісних характеристик процесу деформування.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Метою цієї роботи є розробка інформаційних технологій для визначення деформованого та граничного станів, а також формулювання і аналіз оптимізаційних задач при визначенні граничних деформацій заготовок для окремих класів нестационарного деформування.

В роботі розглянуто ключові етапи розробки та використання математичної моделі для визначення граничних пластичних деформацій матеріалу на вільній бічній поверхні циліндричної заготовки під час торцевого осадження між плоскими плитами в умовах холодного та гарячого деформування.

Для визначення напружено-деформованого стану було виконано детальний аналіз та удосконалення відомої методики [1]. Поряд з відомою апроксимацією залежності між осьовою і коловою деформаціями, що представлені у вигляді розв'язку диференціального рівняння першого порядку із відокремлюваними змінними. Для аналітичного представлення залежності між осьовою  $\varepsilon_z$  та коловою  $\varepsilon_\varphi$  деформаціями, розроблено базу апроксимацій, що представлені у вигляді розв'язків диференціальних рівнянь із відокремлюваними змінними [5–10].

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{m^2}{\varepsilon_\varphi^2 + m^2}, \quad (1)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot \frac{p^2}{\varepsilon_z^2 + p^2}, \quad p > 0, \quad (2)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2} \cdot e^{-\varepsilon_\varphi/m}, m > 0, \quad (3)$$

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -ae^{-b\varepsilon_\varphi}. \quad (4)$$

В рівняннях (1)–(4)  $m > 0$ ,  $p > 0$ ,  $a > 0$ ,  $b > 0$  – це константи, які визначаються під час експериментального дослідження.

Для отримання моделей напружено-деформованого та граничного станів матеріалу бічної поверхні заготовки під час торцевого осадження, розв'язки диференціальних рівнянь (1)–(4), що задовольняють початкову умову  $\varepsilon_z|_{\varepsilon_\varphi=0} = 0$ , зручно представити у параметричному вигляді [5–10]:

$$\begin{cases} \varepsilon_\varphi = m \cdot \operatorname{tg}(t) \\ \varepsilon_z = -\frac{m}{2} \cdot (\operatorname{tg}(t) + 3 \cdot t) \end{cases} t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]; \quad (5)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_z = -2 \cdot p \cdot \operatorname{tg}(t) \\ \varepsilon_\varphi = p \cdot (4 \cdot \operatorname{tg}(t) - 3 \cdot t) \end{cases} t \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]; \quad (6)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_\varphi = -m \cdot \ln(1-t) \\ \varepsilon_z = \frac{m}{2} \cdot [\ln(1-t) - 3 \cdot t] \end{cases} t \in [0, 1); \quad (7)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_\varphi = -\frac{1}{b} \cdot \ln(1-t) \\ \varepsilon_z = -\frac{a}{b} \cdot t \end{cases} t \in [0, 1). \quad (8)$$

Параметри отриманих аналітичних співвідношень визначали за допомогою методу найменших квадратів, що у всіх розглянутих випадках веде до необхідності розв'язання трансцендентних рівнянь. Значення параметрів можна також знаходити шляхом безпосередньої мінімізації суми квадратів відхилень. Вказану мінімізацію здійснювали за допомогою стандартної команди додаткового пакета Optimization системи комп'ютерної математики Maple та перевіряли отримане значення за допомогою надбудови Microsoft Excel Solver.

Напружений стан визначали із використанням теорії течії.

Граничні деформації визначали з використанням скалярних та тензорних моделей накопичення пошкоджень [2–5]. Найпростіша скалярна модель Колмогорова, що базується на лінійному принципі накопичення пошкоджень,

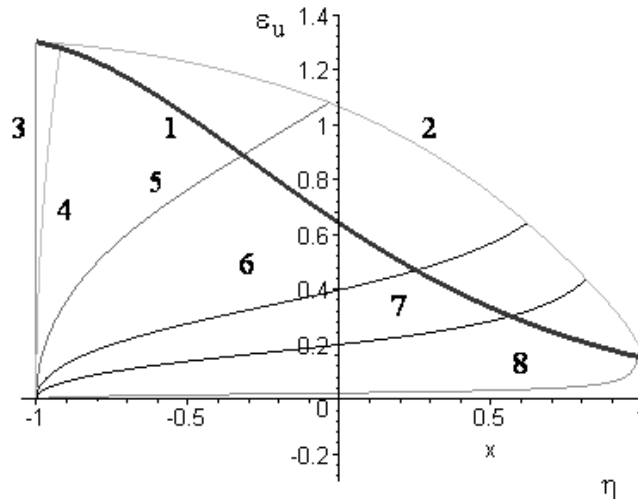
$$\psi(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_{*c}[\eta(\varepsilon_u)]} \quad (9)$$

при використанні параметрично заданих співвідношень (5) набуває вигляду

$$\psi(x) = 1,47m \int_0^x \frac{e^{f(1,t) \cdot f(2,t) \cdot \ln(0,94 \cdot f(1,t) \cdot f(2,t))}}{f(2,t) \cdot \cos^2 t} dt, f(k,t) = \left(1 + (-1)^k \cdot 3 \cos^{2k}(t)\right)^{\frac{(-1)^{k+1}}{k}}, k=1,2, \quad (10)$$

де  $\psi$  – пошкодженість мікрочастинки;  $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta)$  – крива граничних деформацій при стаціонарному деформуванні;  $\varepsilon_u$  – накопичена пластична деформація;  $\eta$  – показник напруженого стану [1–10];  $x$  – параметр процесу деформування.

Результати розрахунку граничних деформацій показані на рисунку.



Моделювання граничних деформацій під час торцевого осадження циліндричних заготовок: 1 – крива граничних деформацій при стаціонарному деформуванні; 2 – крива граничних деформацій при нестаціонарному деформуванні; 3 ÷ 8 – шляхи деформування за різних умов тертя на торцях (параметр  $m$ ): 3 –  $m = 30$ , 4 –  $m = 2$ , 5 –  $m = 0,5$ , 6 –  $m = 0,18$ , 7 –  $m = 0,09$ , 8 –  $m = 0,01$

При гарячому деформуванні гранична пластична деформація істотно залежить від закону зміни швидкості деформацій. Ця обставина відбивається скалярним варіантом відомої моделі [3]

$$\psi(t) = \int_0^t \varphi(t - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau, \tag{11}$$

де  $t, \tau$  – час;  $\varphi(t - \tau, I(\tau))$  – ядро спадковості;  $f$  – деяка функція. Із урахуванням залежності накопиченої деформації  $\varepsilon_u$  від швидкості деформації  $\dot{\varepsilon}_u$

$$\varepsilon_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \tag{12}$$

сформульовано дві важливі з практичної точки зору варіаційні задачі ізопериметричного типу. Перша задача формулюється так: визначити закон зміни швидкості деформації  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  при якому задана накопичена деформація  $\varepsilon_*$  досягається за найкоротший час  $t_*$  за умови, що  $\psi(t_*) = 1$

$$\begin{aligned} t_* &= t_*(\dot{\varepsilon}_u(t)) \rightarrow \min, \\ \varepsilon_* &= \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \\ \int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau &= 1. \end{aligned} \tag{13}$$

Формулювання другої задачі: визначити закон зміни швидкості деформації  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  при якому за заданий час  $t_*$  матеріал набуває найбільшої деформації  $\varepsilon_*$  за умови, що  $\psi(t_*) = 1$

$$\varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$\int_0^{t_*} \phi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1.$$

Необхідні умови існування екстремуму (14) виконуються тільки в тривіальних випадках, які не мають практичного значення. В даному формулюванні не враховано важливої умови, яке з фізичних представлень відображає той факт, що руйнування матеріалу не може відбутися до часу  $t_*$ , тобто

$$\int_0^t \varphi(t - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau \leq 1, \forall t \in (0, t_*). \quad (14)$$

При звуженні області допустимих функцій до класу кусково-постійних функцій, зокрема, для двоступеневої схеми

$$\dot{\varepsilon}_u(t) = \begin{cases} \dot{\varepsilon}_{u1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\varepsilon}_{u2}, & t_1 < t \leq t_*, \end{cases} \quad (15)$$

задача (14) з урахуванням (15) зведена до задачі нелінійного програмування

$$\varepsilon_* = \dot{\varepsilon}_{u1} \cdot t_1 + \dot{\varepsilon}_{u2} \cdot (t_* - t_1) \rightarrow \max,$$

$$\left(\frac{t_*}{t_{*1}}\right)^n + \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*2}}\right)^n - \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*1}}\right)^n = 1, \quad (16)$$

$$t_1 \leq t_{*1},$$

в якій цільова функція залежить від трьох невідомих  $\dot{\varepsilon}_{u1}, \dot{\varepsilon}_{u2}, t_1$ .

В наведеному співвідношенні  $t_{*i} = t_{*c}(\dot{\varepsilon}_{ui})$ ,  $i = 1, 2$ ;  $t_{*c}$  – відома функція, яка характеризує властивості матеріалу. За допомогою методу множників Лагранжа задача (17) зведена до задачі визначення оптимального значення функції одного аргумента. Згідно з отриманими результатами чисельного розв'язку розробленої моделі двоступеневої схеми деформування оптимальною є варіант, для якого  $\dot{\varepsilon}_{u1} > \dot{\varepsilon}_{u2}$  (!). Наведені результати дозволяють припустити, що оптимальні розв'язки поставлених варіаційних задач (13) і (14) існують і для багатьох інших класів допустимих функцій.

## ВИСНОВКИ

Розроблено методику побудови моделі напружено-деформованого та граничного станів матеріалу бічної поверхні під час торцевого осадження циліндричних заготовок. Вибір виду апроксимацій залежностей між компонентами деформацій процесу осадження суттєво впливає на форму кривих, що зображають шляхи деформування, та має невеликий вплив на значення граничних деформацій. При застосуванні двоступеневої схеми деформування прослідковується збільшення максимальної деформації у порівнянні із деформуванням зі сталою швидкістю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов./ Г. А. Смирнов-Аляев – М.–Л. : Машгиз, 1961. – 463 с.
2. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с.
3. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. – 195 с.

4. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – К. : Вища школа. Главное изд-во, 1983. – 175 с.
5. Михалевич В. М. Моделивання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні : монографія / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 180 с.
6. Михалевич В. М. Моделирование пластического деформирования цилиндрического образца при торцевом сжатии / В. М. Михалевич, А. А. Лебедев, Ю. В. Добранюк // Пробл. прочности. – 2011. – № 6. – С. 5–22.
7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // Strength of Materials. – 2011. – V. 43, № 6. – P. 591–603.
8. Прогнозування граничного стану бічної поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні / В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, Ю. В. Добранюк, Є. А. Трач // Обработка металлов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1(30). – С. 24–30.
9. Добранюк Ю. В. Моделивання за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D напружено-деформованого стану на бічній поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення / Ю. В. Добранюк, Л. І. Алієва, В. М. Михалевич // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 4(25). – С. 3–10.
10. Михалевич В. М. Формозміна бічної поверхні циліндричних заготовок під час вісесиметричного осадження / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, Е. А. Трач // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" : збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 42(1015). – С. 126–131.

#### REFERENCES

1. Smirnov-Alyayev G. A. Soprotivlenie materialov plasticheskomu deformirovaniyu. Inzhenernye metody rascheta operatsiy plasticheskoy obrabotki materialov./ Smirnov-Alyayev G. A. – M.–L. : Mashgiz, 1961. – 463 s. (Rus)
2. Matviychuk V. A. Sovershenstvovaniye protsessov lokal'noy rotatsionnoy obrabotki davleniyem na osnove analiza deformiruyemosti metallov: monografiya / V. A. Matviychuk, I. S. Aliyev. – Kramatorsk: DGMA, 2009. – 268 s. (Rus)
3. Mykhalevych V. M. Tenzorni modeli nakopychennya poshkodzen' / V. M. Mykha-levych – Vinnytsya : UNIVERSUM–Vinnytsya, 1998. – 195 s. (Ukr)
4. Ogorodnikov V. A. Otsenka deformiruyemykh metallov pri obrabotke davleniyem / V. A. Ogorodnikov – K. : Vyshcha shk., 1983. – 175 s. (Rus)
5. Mykhalevych V. M. Modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho ta hranychnoho staniv poverkhni tsylindrychnykh zrazkiv pry tortsevomu stysnenni: monohrafiya / V. M. Mykhalevych, Yu. V. Dobranyuk. – Vinnytsya: VNTU, 2013. – 180 s. (Ukr)
6. Mikhalevich V. M. Modelirovaniye plasticheskogo deformirovaniya tsilindrisheskogo obraztsa pri tortsevom szhatii / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev, YU. V. Dobranyuk // Probl. prochnosti. – 2011. – № 6. – S. 5–22. (Rus)
7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // Strength of Materials. – Volume 43, Number 6 (2011), P. 591–603 (Eng)
8. Mykhalevych V. M. Prohnozuvannya hranychnoho stanu bichnoyi poverkhni tsylindrychnykh zrazkiv pry tortsevomu stysnenni / V. M. Mykhalevych, V. A. Matviychuk, YU. V. Dobranyuk, Ye. A. Trach, // Obrabotka metallov davleniyem : sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk : DHMA.– 2012. – №1(30). – S. 24–30. (Ukr)
9. Dobranyuk YU. V. Modelyuvannya za dopomohoyu prohrannoho kompleksu DEFORM 3D napruzhenno-deformovanoho staniv na bichniy poverkhni tsylindrychnoho zrazka pid chas tortsevoho stysnennya / YU. V. Dobranyuk, L. I. Aliyeva, V. M. Mykhalevych // Obrabotka metallov davleniyem : sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk : DHMA.– 2010. – №4(25). – S. 3–10. (Ukr)
10. Mykhalevych V. M. Formozmina bichnoyi poverkhni tsylindrychnykh zahotovok pid chas visesymetrychnoho osadzhennya / V. M. Mykhalevych, Yu. V. Dobranyuk, E. A. Trach // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Zbirnyk naukovykh prats. Tematychnyy vyp.: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh. – Kharkiv: NTU. – 2013.– №42(1015) – С. 126 – 131. (Ukr)

**В. М. Михалевич, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ВІЛЬНІЙ БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ ПІД ЧАС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТОРЦЕВОГО ОСАДЖЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК**

Вінницький національний технічний університет

В статті розроблено методику побудови моделі напружено-деформованого та граничного станів матеріалу бічної поверхні під час торцевого осадження циліндричних заготовок.

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан та граничні деформації вільної бічної поверхні циліндричних заготовок при торцевому осадженні.

Мета роботи – розробка інформаційних технологій для визначення деформованого та граничного станів, а також формулювання і аналіз оптимізаційних задач при визначенні граничних деформацій заготовок для окремих класів нестационарного деформування.

Розглянуто побудову математичної моделі для розробки інформаційних технологій визначення напружено-деформованого стану та граничних деформацій при складному деформуванні, яке має місце на бічній поверхні циліндричних заготовок під час торцевого стиснення із різними умовами тертя на торцях.

В роботі показано, що варіаційна задача ізопериметричного типу для моделі накопичення пошкоджень спадкового типу, застосованого до класу кусково-постійних функцій, зводиться до задачі нелінійного програмування.

В результаті розв'язання варіаційної задачі показано, що при застосуванні двоступеневої схеми деформування збільшується максимальна деформація у порівнянні із деформуванням зі сталою швидкістю.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ТОРЦЕВЕ ОСАДЖЕННЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, ГРАНИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, ЦИЛІНДРИЧНА ЗАГОТОВКА, НЕСТАЦІОНАРНЕ ДЕФОРМУВАННЯ.

Михалевич Володимир Маркусович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри вищої математики ВНТУ, e-mail: vmykhal@gmail.com, тел. +380973874944, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Кв'ятека, 15, кв. 9.

Краєвський Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри вищої математики ВНТУ, e-mail: kraila@ukr.net, тел. +380632276854, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Воїнів Інтернаціоналістів, 3, к. 215.

Добранюк Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, старший викладач кафедри вищої математики ВНТУ, e-mail: dobranuk@mail.ru, тел. +380989962730, Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Воїнів Інтернаціоналістів, 3, к. 407.

**V. M. Mykhalevych, V. O. Kraevskiy, Yu. V. Dobraniuk**

## **SIMULATION OF THE LIMITING STRAINS OF THE FREE LATERAL SURFACE DURING HIGH-TEMPERATURE FACE-END COMPRESSION OF CYLINDRICAL BILLETS**

Vinnitsia National Technical University

In the article developed the technique constructing a model of the stress-strain and limit states of the material the lateral surface during face-end compression of cylindrical billets.

A research object is the stress-strain state and limit strain of the free lateral surface of cylindrical billets during face-end compression.

The purpose of the work is the development of information technology to determine the deformed and limiting states, as well as the formulation and analysis of optimization problems in determining the ultimate strains billets for individual classes of non-stationary deformation.

The construction of a mathematical model for the development of information technologies determine the stress-strain state and limit strain at complex deformation, which takes place on the lateral surface the cylindrical billets during face-end compression with different conditions of friction on end faces are considered.

The paper shows that the variational problem isoperimetric type for a model of damage accumulation of hereditary type of application to the class of piecewise constant functions reduced to a problem of nonlinear programming.

As a result of variation problem shows that the application of two-stage scheme of deformation increases the maximum strain in comparison with the deformation during a constant speed.

KEYWORDS: FACE-END COMPRESSION, MODE OF DEFORMATION, LIMITING STRAIN, CYLINDRICAL BILLETS, NONSTATIONARY STRAIN.

Mykhalevych Volodymyr M., Doctor of Technical Science, Professor, the Vinnytsya National Technical University, Head of Department of Higher Mathematics of VNTU, e-mail: vmykhal@gmail.com, tel. +380973874944, Ukraine, 21000, Vinnytsya, 15, Kv'yatyka St., apt. 9.

Kraevskiy Volodymyr O., Candidate of Science (Engineering), the Vinnytsya National Technical University, Assistant professor of Department of Higher Mathematics of VNTU, e-mail: kraila@ukr.net, tel. +380632276854, Ukraine, 21000, Vinnytsya, 3, Vojiniv Internacionalistiv St., apt. 215.

Dobranuk Yuriy V., Candidate of Science (Engineering), the Vinnytsya National Technical University, Senior Lecture of Department of Higher Mathematics of VNTU, e-mail: dobranuk@mail.ru, tel. +380989962730, Ukraine, 21000, Vinnytsya, 3, Vojiniv Internacionalistiv St., apt. 407.

**В. М. Михалевич, В. А. Краевский, Ю. В. Добранюк**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА СВОБОДНОЙ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТОРЦЕВОЙ ОСАДКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ**

Винницкий национальный технический университет

В статье разработана методика построения модели напряженно-деформированного и предельного состояний материала боковой поверхности при торцевой осадке цилиндрических заготовок.

Объект исследования – напряженно-деформированное состояние и предельные деформации свободной боковой поверхности цилиндрических заготовок при торцевой осадке.

Цель работы – разработка информационных технологий для определения деформированного и предельного состояний, а также формулировка и анализ оптимизационных задач при определении предельных деформаций заготовок для отдельных классов нестационарного деформирования.

Рассмотрено построение математической модели для разработки информационных технологий определения напряженно-деформированного состояния и предельных деформаций при сложном деформировании, которое имеет место на боковой поверхности цилиндрических заготовок при торцевом сжатии с различными условиями трения на торцах.

В работе показано, что вариационная задача изопериметрического типа для модели накопления повреждений наследственного типа, примененного к классу кусочно-постоянных функций, сводится к задаче нелинейного программирования.

В результате решения вариационной задачи показано, что при применении двухступенчатой схемы деформирования увеличивается максимальная деформация по сравнению с деформированием с постоянной скоростью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТОРЦЕВАЯ ОСАДКА, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРЕДЕЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ЗАГОТОВКА, НЕСТАЦИОНАРНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ.

Михалевич Владимир Маркусович, доктор технических наук, профессор, Винницкий национальный технический университет, заведующий кафедрой высшей математики ВНТУ, e-mail: vmykhal@gmail.com, тел. +380973874944, Украина, 21000, г. Винница, ул. Квятыка, 15, к. 9.

Краевский Владимир Александрович, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры высшей математики ВНТУ, e-mail: kraila@ukr.net, тел. +380632276854, Украина, 21000, г. Винница, ул. Воинов Интернационалистов, 3, к. 215.

Добранюк Юрий Владимирович, кандидат технических наук, Винницкий национальный технический университет, старший преподаватель кафедры высшей математики ВНТУ, e-mail: dobranuk@mail.ru, тел. +380989962730, Украина, 21000, г. Винница, ул. Воинов Интернационалистов, 3, к. 407.