



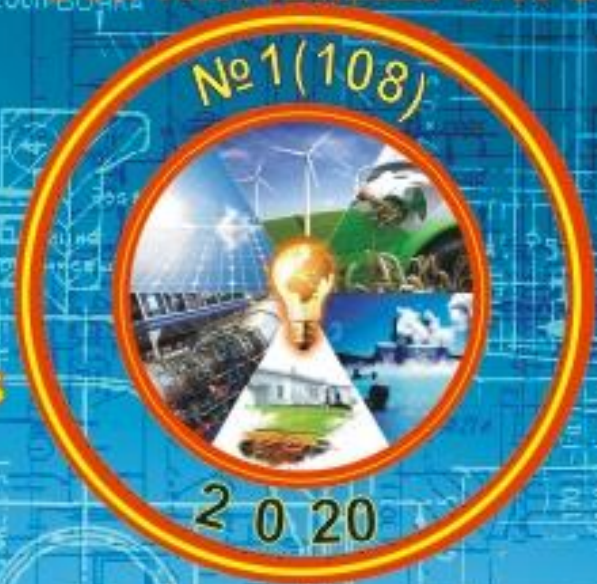
Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-1

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2020. – 1 (108) – 172 с.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол №1 від 27.08.2020 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886)

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Булгаков В.М. – д.т.н., проф., академік НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Іванчук Я.В. – к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет

Бандура В.М. – к.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** кандидат технічних наук, доцент
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

*Серета Л.П., Швець Л.В., Труханська О.О.***СМУГОВИЙ ПІДСІВ ТРАВ ПАСОВИЩ..... 5***Vitalii Komakha, Oleksii Tokarchuk, Mykhailo Zamrii***INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF FODDER CROPS TO DETERMINE THE PARAMETERS OF THE WORKING BODIES OF MOWER CONDITIONERS AND OPTIMAL MODES OF THEIR OPERATION..... 14***Журенко Ю.І.***ВПЛИВ КРАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ПО ОБРОБІТКУ ЛЮЦЕРНИ ПРИ ВИСУШУВАННІ НА ЇЇ ХІМІЧНИЙ СКЛАД..... 22***Холодюк О.В.***РУЙНУЮЧЕ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ЛЕЗА ДИСКОВОГО НОЖА З ТРАВ'ЯНОЮ МАСОЮ..... 29***Гладушняк О.К., Всеволодов О.М.***АНАЛІЗ МЕТОДІВ МИТТЯ ХАРЧОВОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ..... 37**

II. ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А.***ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ..... 44***Мутко Микола***DETERMINATION OF ECONOMIC ADVISABLE DISTANCES OF AUTOMOBILE DELIVERY ON AUTOSERVICE ENTERPRISE..... 58**

III. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

*Соломон А.М., Полєвода Ю.А.***ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПОЮ ДЛЯ ХАРЧУВАННЯ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ..... 65***Зозуляк І.А.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ..... 75***Бандура В. М.***ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ СОЇ..... 82**

IV. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

*Веселовська Н.Р.***ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ..... 91***Музичук В.І., Токарчук О.А.***ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЇ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ ВАЛЬЦЮВАННІ..... 103**



Пришляк В.М., Дубчак В.М.

ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕЛИЧИН СИЛИ ТИСКУ НА ПІДВОДНІ ГІДРОСПОРУДИ У ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІЙ ПРАКТИЦІ Й АГРОІНЖЕНЕРНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ.....	111
---	------------

Колісник М.А., Служалюк М.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ І ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШТАМПУАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	123
--	------------

V. ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Стаднік М.І., Гунько І.В., Проценко Д. П.

АВТОНОМНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	134
--	------------

Ярогуд В.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИТРУБНОГО РЕКУПЕРАТОРА.....	142
---	------------

Видмиш А.А., Токарчук О.А., Карпійчук М.Ф., Паладій М.С.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ 10/0.4 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ SCADA.....	151
--	------------

VI. ДУМКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО

Холодюк О.В., Булін Р.М.

ОСОБЛИВОСТІ ОФОРМЛЕННЯ ФОРМУЛИ ВІНАХОДУ ЧИ КОРИСНОЇ МОДЕЛІ ЯК ОБ'ЄКТИ ПРАВОВОЇ ОХОРОНИ.....	161
--	------------



УДК 621.775

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-1-12

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЇ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ
ПРИ ВАЛЬЦЮВАННІ**

Музичук Василь Іванович, к.т.н., доцент
Токарчук Олексій Анатолійович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

Vasyl Muzychuk, PhD, Associate Professor
Oleksii Tokarchuk, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Розглянуто метод визначення контактних нормальних і дотичних напружень при вальцюванні з урахуванням розвитку деформації в часі.

Існує багато методів визначення контактних нормальних і дотичних напружень, але всі вони розглядають розподіл уздовж границі деформації. Цей підхід до розв'язання задач не дозволяє враховувати нерівномірності деформації в поперечному напрямку і вплив бічних позаконтактних зон, що прилягають до фактичного осередку деформації. Ці фактори необхідно враховувати при визначенні дотичних і нормальних напружень при вальцюванні у калібрах з різним співвідношенням геометричних форм і вальцювальної заготовки. Також в існуючих методах визначення контактних нормальних і дотичних напружень не враховується розвиток деформації в часі.

Виводячи рівняння, які визначають в осередку деформації сили тертя і тиску, вважали що нормаль до площини не буде збігатися з жодною з осей системи координат, а похилу площадку розглядали як похилий перетин в паралелепіпеді напруження по гранях об'єму, який розподіляється рівномірно.

Отримані формули для визначення нормальних і дотичних контактних напружень у зоні деформації враховують вальцювання у калібрах з різним співвідношенням геометричних форм і вальцювальної заготовки, характеризують динаміку зміни осередку деформації в часі.

В роботі розглянуто вальцювання заготовок із сплаву АК6, які мають розміри $\varnothing 25 \times 150$ мм в овальному калібрі, з висотою 13 мм і шириною 29 мм і розраховано контактні нормальні і дотичні напруження. На епюрах нормальних і дотичних напружень видно зміну значення напруження із збільшенням контактної площі і часу деформації.

Результати проведених досліджень нормальних і дотичних напружень показують зміну їх значень із збільшенням контактної площі і часу деформації.

При перевірці запропонованого методу розбіжність результатів теоретичного розрахунку з експериментальними даними становить не більше 4%, це підтверджує можливість застосування методу для визначення контактних нормальних і дотичних напружень при вальцюванні.

Ключові слова: вальцювання, контактні нормальні і дотичні напруження, деформація.

Ф. 11. Рис. 4. Табл. 1. Літ. 8.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні є актуальними маловідходні технологічні процеси штампування заготовок з титанових, магнієвих та алюмінієвих сплавів, жаростійких, жароміцних, високолегованих корозійностійких і інших сталей. Це обумовлено значним застосуванням виробів із цих матеріалів, високою трудомісткістю, підвищеною витратою металу (коефіцієнт використання металу 0,15 – 0,3), тривалим циклом виготовлення якісних штампованих заготовок (як правило два, три штампування з проміжними операціями нагрівання, обрізки, травлення, зачищення) а також задачами удосконалення металозберігаючих технологій на підприємствах.

Використання перерахованих матеріалів визначається їх фізичними, технічними і механічними властивостями. Матеріали повинні мати високий опір зрізу, границю текучості і високу межу міцності, задовільну пластичність і термомеханічні характеристики, які необхідно враховувати при розробці технологічних процесів для їх гарячого деформування.

Існує багато методів [1, 2, 3] визначення контактних нормальних і дотичних напружень, але всі вони розглядають розподіл уздовж границі деформації. Цей підхід до розв'язання задач не



дозволяє враховувати нерівномірності деформації в поперечному напрямку і вплив бічних позаконтактних зон, що прилягають до фактичного осередку деформації. Ці фактори необхідно враховувати при визначенні дотичних і нормальних напружень при вальцюванні у калібрах з різним співвідношенням геометричних форм і вальцювальної заготовки. Також в існуючих методах визначення контактних нормальних і дотичних напружень не враховується розвиток деформації в часі.

2. Виклад основного матеріалу дослідження

Щоб вивести формули для визначенню нормальних і дотичних контактних напружень у зоні деформації враховуючи вальцювання у калібрах з різним співвідношенням геометричних форм і вальцювальної заготовки і розвиток деформації в часі, необхідно розбити об'єм осередку деформації на ряд шарів товщиною dz , Рис. 1.

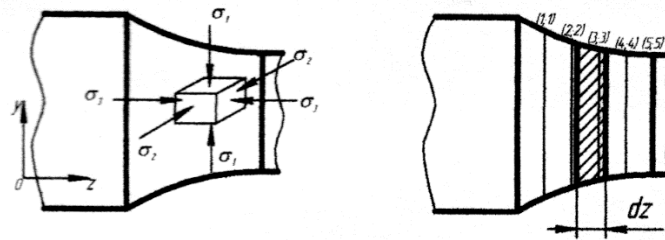


Рис. 1. Схема напруження в перехідній зоні вальцюваної заготовки

Розглядаючи напруження в похилих площинах, які перпендикулярні площині осередку деформації, показаних на Рис. 2, напружено-деформований стан кожної точки в цьому шарі буде визначатися такими тензорами:

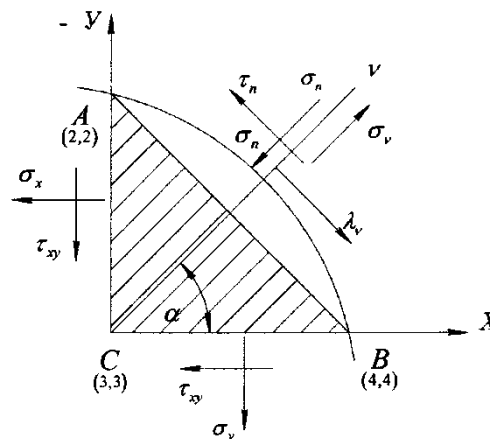


Рис. 2. Напруження при плоскому напруженому стані в похилій площині

Виводячи рівняння, які визначають в осередку деформації сили тертя і тиску вважаємо: що нормаль до площини не буде збігатися з жодною з осей системи координат (термін "похила" площина); похилу площадку будемо розглядати як похилий перетин в паралелепіпеді напруження по гранях об'єму, який розподіляється рівномірно.

В площині ABC, показаній на Рис. 2, діє нормальне σ_v і дотичне τ_v напруження, нормаль у

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{xy} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad T_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & 0 \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

якої ν становить кут α з віссю OX. Відповідно до умови $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$; $\sigma_z = 0$, напруження розподілені рівномірно по товщині шару dz , тому торцеві грані ABC не завантажені.



Щоб визначити величини σ_v і τ_v розглянемо умову рівноваги елемента ABC. Всі зусилля спроектуємо на напрямок нормалі v :

$$\sigma_v \cdot \sigma_x \cdot \sigma_z = \sigma_x dy \cdot \cos \alpha \cdot dz + \sigma_y dx \cdot \sin \alpha \cdot dz + \tau_{xy} (dy \cdot \sin \alpha + dx \cdot \cos \alpha) dz. \quad (1)$$

Масові сили, які діють на елемент ABC $p_x \cdot \frac{1}{2} dx \cdot dy \cdot dz$, $p_v \cdot \frac{1}{2} dx \cdot dy \cdot dz$ в рівняннях відсутні і становлять зусилля другого порядку малості. Враховуючи, що $\sin \alpha = \frac{dx}{ds}$, $\cos \alpha = \frac{dy}{ds}$, із співвідношення (1) одержимо $\sigma_v = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha$.

Проектуючи всі зусилля на напрямок вектора τ_v , знаходимо $\tau_v \cdot ds \cdot dz = \sigma_y dx \cos \alpha \cdot dz - \sigma_x dy \sin \alpha \cdot dz + \tau_{xy} (dy \cos \alpha - dx \sin \alpha) dz$ або $\tau_v = 1/2(\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha$.

Остаточні нормальні і дотичні напруження σ_n , τ_n в осередку деформації спрямовані в протилежні сторони силам тиску і тертя σ_n , τ_n , будуть визначатися таким співвідношенням:

$$\sigma_n = -(\sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha); \quad (2)$$

$$\tau_n = \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha - \tau_{xy} \cos 2\alpha]. \quad (3)$$

Використовуючи узагальнений закон Гука (нестисливий матеріал, $\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0$), замінивши у вираженнях (2) і (3) σ_x , σ_y , τ_{xy} , деформаціями, одержимо:

$$\sigma_n = -(2G^* \varepsilon_x \cos^2 \alpha + 2G^* \varepsilon_y \sin^2 \alpha + G^* \gamma_{xy} \sin 2\alpha); \quad (4)$$

$$\tau_n = G^* [(\varepsilon_x - \varepsilon_y) \sin 2\alpha - G^* \gamma_{xy} \cos 2\alpha], \quad (5)$$

де G^* – модуль зрушення в пластичній області.

Після чого, використавши рівняння Коші: $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$; $\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$; $\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$, підставивши

їх у формули (4), (5) одержали:

$$\sigma_n = -2G^* \left[\frac{\partial u}{\partial x} \cos^2 \alpha + \frac{\partial v}{\partial y} \sin^2 \alpha + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sin 2\alpha \right]; \quad (6)$$

$$\tau_n = G^* \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sin 2\alpha - G^* \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \cos 2\alpha \right]. \quad (7)$$

Нормальні і дотичні напруження на контурі елементарного шару dz описуються формулами (6) і (7) [4-5]. Використовуючи метод кінцевих різностей для чисельної реалізації напружень, замінивши деформуємий контур Γ в області G – сітковим контуром (Рис. 3), контактні нормальні і дотичні напруження розраховуються за формулами:

$$\sigma_n = -2G^* \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{2^+ h_{\alpha_2}^{(i,j)}} - \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{2^+ h_{\alpha_1}^{(i,j)}} \right) \sin 2\alpha + \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_{\alpha_1}^{(i,j)}} \cos^2 \alpha + \frac{v_{i,j+1} - v_{i,j}}{h_{\alpha_2}^{(i,j)}} \sin^2 \alpha; \quad (8)$$

$$\tau_n = G^* \left[\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h_{\alpha_1}^{(i,j)}} - \frac{v_{i,j+1} - v_{i,j}}{h_{\alpha_2}^{(i,j)}} \right) \sin 2\alpha + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{h_{\alpha_2}^{(i,j)}} - \frac{v_{i+1,j} - v_{i,j}}{h_{\alpha_1}^{(i,j)}} \right) \cos 2\alpha \right]. \quad (9)$$

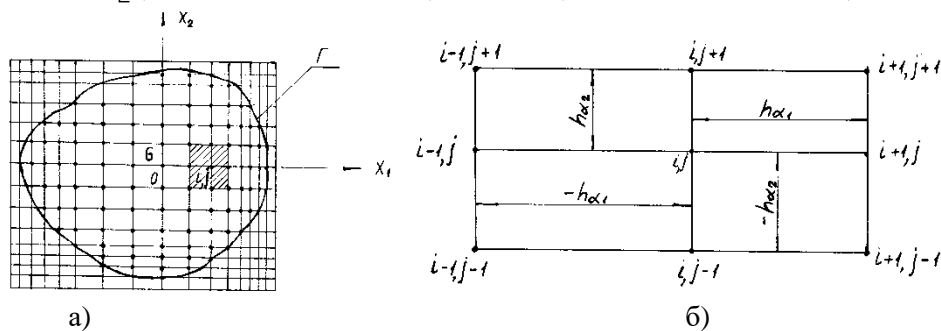


Рис. 3. Криволінійна одностороння кінцева область: а – загальний вигляд; б – елементарний осередок (i, j) області, що досліджується



Контактні і дотичні напруження довільного контуру деформуємого шару Z вираження (8), (9) приймуть вигляд:

$$\sigma_n^* = \left(\sum_{n=1}^k \sigma_n^k \right) l_i \Delta Z_i; \quad (10)$$

$$\tau^* = \left(\sum_{n=1}^k \tau_n^k \right) l_i \Delta Z_i, \quad (11)$$

де l_i – довжина дуги калібру; ΔZ_i – товщина деформуємого шару.

Розглянемо вальцювання заготовок із сплаву АК6, які мають розміри $\varnothing 25 \times 150$ мм в овальному калібрі, з висотою 13 мм і шириною 29 мм і розрахуємо контактні нормальні і дотичні напруження.

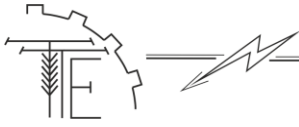
Прийmemo температуру вальцювання 450°C , робочий радіус валків $R_p = 66,5$ мм і швидкість обертання валків $0,2$ м/с.

Формули для розрахунку поточних значень контактних нормальних і дотичних напружень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Формули для визначення контактних нормальних і дотичних напружень

Параметр	Позначення	Розрахункова формула
1	2	3
Кут контакту, рад	α	$\alpha = \arccos \left(1 - \frac{2R_3 - \Delta h}{2R_p} \right) = \arccos(0,9022) = 0,4458$
Час деформації, с	t	$t = 10^{-3} \left(\frac{R_p \cdot \alpha}{v_e} \right) = 10^{-3} \left(\frac{66,5 \cdot 0,4458}{0,2} \right) = 0,145$
Радіус калібру, мм	R_k	$R_k = \frac{\Delta h^2 + b_k^2}{4\Delta h} = \frac{12^2 + 29^2}{4 \cdot 12} = 20,5$
Ширина овалу, мм	b_{ov}	$b_{ov} = b_k + \frac{2\delta(2R_k - \Delta h)}{b_k} = 29 + \frac{2 \cdot 15(41 - 12)}{29} = 31$
Висота овалу, мм	h_{ov}	$h_{ov} = 2\Delta h + \delta = 2 \cdot 6 + 1,5 = 13,5$
Проміжок деформації, с	t_i	$t_i = \frac{0,145 \cdot d_i}{\alpha_i}$
Кут дуги контакту, рад	α_d	задається
Кут контакту в поперечному перерізі осередку деформації	φ_i	$\varphi_i = \frac{v_e \cdot t_i \left(1 - \frac{\Delta h}{2R_k} \right)}{R_p \cdot \alpha}$
Довжина дуги поперечного перерізу зони контакту, мм	$l_{\varphi i}$	$l_{\varphi i} = R_p \varphi_i$
Ширина овалу, мм	$b_{ov}^{(i)}$	$b_{ov}^{(i)} = \frac{(b_{ov} + 2R_k)}{\alpha \cdot R_p} \cdot v_e \cdot t_i + 2R_3$
Висота овалу, мм	$h_{ov}^{(i)}$	$h_{ov}^{(i)} = 2\{R_3 - R_p[\cos(\alpha - \alpha_i) - \cos \alpha]\} + m$
Коефіцієнти деформації	$K_x^{(i)}; K_y^{(i)}$	$K_x = \frac{b_{ov}^{(i)}}{2R_3}; K_y = \frac{h_{ov}^{(i)}}{2R_3}$
Площа контакту, мм ²	$F_k^{(i)}$	$F_k^{(i)} = R_k \frac{v_e \cdot t_i}{R_p} \left[(R_p + R_k) \frac{\varphi v_e \cdot t_i}{2R_p \cdot \alpha} - R_k \sin \left(\frac{\varphi v_e \cdot t_i}{2R_p \cdot \alpha} \right) \right]$
Інтенсивність напруження, кг/мм ²	σ_i	задається
Головні деформації	$\varepsilon_1^{(i)}; \varepsilon_2^{(i)}$	$\varepsilon_1^i = \frac{1}{2} l_n \cdot K_x^{(i)}; \varepsilon_2^i = \frac{1}{2} l_n \cdot K_y^{(i)}$
Інтенсивність деформації	$\varepsilon_i^{(i)}$	$\varepsilon_i^{(i)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^{(i)2} + \varepsilon_2^{(i)2} + \varepsilon_1^{(i)} \cdot \varepsilon_2^{(i)}}$



Продовження табл. 1

1	2	3
Модуль деформації другого роду, кг/мм ²	G^*	$G^* = \frac{\sigma_i^{(i)}}{3\varepsilon_i^{(i)}}$
Напруження вздовж площини перпендикулярної осі ОУ, кг/мм ²	$\sigma_x^{(i)}$	$\sigma_x^{(i)} = 2G^*(1 - K_x^{(i)})$
Напруження вздовж площини перпендикулярної осі ОХ, кг/мм ²	$\sigma_y^{(i)}$	$\sigma_y^{(i)} = 2G^*(1 - K_y^{(i)})$
Крок у напрямку осі ОХ, мм	h_{α_1}	$h_{\alpha_1}^{(i,j)} = R_3 K_x^{(i)} (\sin \beta_{i+1,j} - \sin \beta_{i,j+1})$
Крок у напрямку осі ОУ, мм	h_{α_2}	$h_{\alpha_2}^{(i,j)} = R_3 K_y^{(i)} (\cos \beta_{i,j+1} - \cos \beta_{i+1,j})$
Кути розбивки поперечного перерізу, ряд	$\beta_{i+1,j}; \beta_{i,j+1}$	Задаються
Граничні значення на поверхні заготовки, мм	$u_{i,j+1}^{(z)}$	$u_{i,j+1}^{(z)} = R_3 (1 - K_x^{(i)}) \sin \beta_{i,j+1}$
Граничні значення на поверхні заготовки, мм	$u_{i+1,j}^{(z)}$	$u_{i+1,j}^{(z)} = R_3 (1 - K_x^{(i)}) \sin \beta_{i+1,j}$
Граничні значення на поверхні заготовки, мм	$v_{i,j+1}^{(z)}$	$v_{i,j+1}^{(z)} = R_3 (1 - K_y^{(i)}) \cos \beta_{i,j+1}$
Граничні значення на поверхні заготовки, мм	$v_{i+1,j}^{(z)}$	$v_{i+1,j}^{(z)} = R_3 (1 - K_y^{(i)}) \cos \beta_{i+1,j}$
Кут нахилу нормалі до поверхні заготовки	$tg \alpha_{i,j}$	$tg \alpha_{i,j} = \frac{K_x^{(i)} (\sin \beta_{i+1,j} - \sin \beta_{i,j+1})}{K_y^{(i)} (\cos \beta_{i,j+1} - \cos \beta_{i+1,j})}$
Дотичні напруження уздовж площин паралельних координатним осям, кг/мм ²	τ_{xy}	$\tau_{xy} = \frac{G^*}{2} \left(\frac{u_{i,j}^{(z)} - u_{i+1,j}^{(z)}}{h_{\alpha_2}^{(i,j)}} - \frac{v_{i+1,j}^{(z)} - v_{i,j+1}^{(z)}}{h_{\alpha_1}^{(i,j)}} \right)$
Нормальний тиск, кг/мм ²	$\sigma_n^{(i)}$	$\sigma_n^{(i)} = -(\sigma_x \cos^2 \alpha_{i,j} + \sigma_y \sin^2 \alpha_{i,j} + \tau_{xy} \sin 2\alpha_{i,j})$
Дотичне напруження, кг/мм ²	$\tau_n^{(i)}$	$\tau_n^{(i)} = 0,5(\sigma_x - \sigma_y) \sin 2\alpha_{i,j} - \tau_{xy} \cos^2 \alpha_{i,j}$
Теоретичний усереднений тиск	σ_{cp}^m	$\sigma_{cp}^m = 1,15(\sigma_{n,cp})$
Погрішність тиску	$h_{\tau i \bar{a}}^{(i)}$	$h_{noz}^{(i)} = \left(\frac{\sigma_{cp} - \sigma_{cp}^m}{\sigma_{cp}} \right) 100\%$
Середня величина погрішності розрахунку	$h_{\tau i \bar{a}}^{\bar{n}\bar{d}}$	$h_{\tau i \bar{a}}^{\bar{n}\bar{d}} = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m h_{\tau i \bar{a}}^{(n)}$

На епюрах нормальних і дотичних напружень, показаних на рис. 4, видно зміну значення напруження із збільшенням контактної площі і часу деформації.

Порівняння експериментальних даних з результатами теоретичного розрахунку становить 1,7-4% при перевірці запропонованого методу, тому можливо його застосовувати для визначення контактних нормальних і дотичних напружень при вальцюванні.

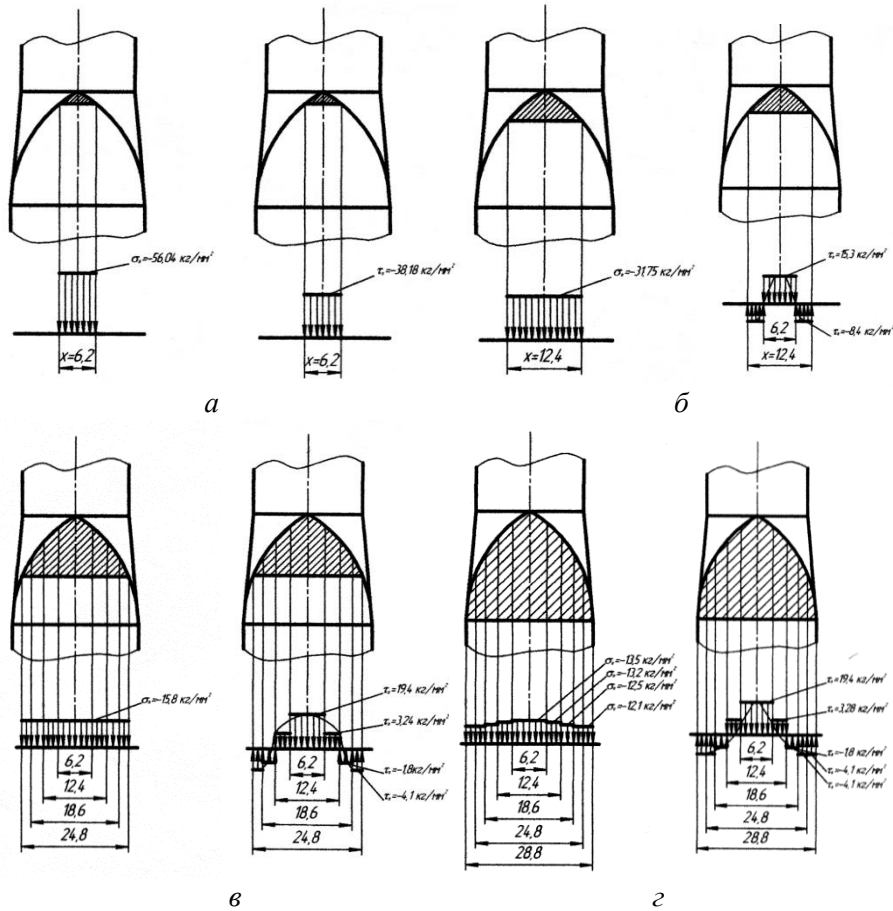


Рис. 4. Епюри нормальних і дотичних напружень.
Час деформації t : а – 0,029 с, б – 0,058 с, в – 0,116 с, г – 0,145 с

3. Висновок

Враховуючи розвиток деформації в часі, описано метод визначення контактних нормальних і дотичних напружень при вальцюванні. Отримані формули характеризують динаміку зміни осередку деформації, які можна використати для визначення контактних нормальних і дотичних напружень.

Результати проведених досліджень нормальних і дотичних напружень показують зміну їх значень із збільшенням контактної площі і часу деформації.

При перевірці запропонованого методу розбіжність результатів експериментальних даних з теоретичними розрахунками становить 1,7- 4%, це підтверджує можливість застосування методу для визначення контактних нормальних і дотичних напружень при вальцюванні.

Список використаних джерел

1. Gunko I. V., Muzychuk V. I., Nakhaichuk O. V. Talking the development of deformation into determining normal and tangential contact stresses at the forge. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»*. Вінниця, 2015. 2(85). С. 102–107.
2. Муzychuk В. І., Нахайчук О. В., Сивак Р. І. Пластичність алюмінієвих сплавів при ізотермічному вальцюванні заготовок. *Вібрації в техніці і технологіях*. 2012. № 2(66). С. 82–86.
3. Огородніков В. А., Муzychuk В. І., Нахайчук О. В. *Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації*. Монографія. В. : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. 179 с.
4. Грудев А. П. *Теорія прокатки*. М.: Металургія. 1988. 240 с.
5. Матвійчук В. А., Михалевич В. М. *Розвиток процесів локального деформування*. Монографія: Теорія і практика обробки матеріалів тиском. АТ «Мотор Січ», 2016, С.339–363.
6. Сивак Р. І., Коцюбівська К. І., Сухоруков С. І. Вплив протитиску, що створюється твердим середовищем, на деформівність заготовок при радіальному видавлюванні. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2016. №2 (4). С. 101–108.



7. Любін М. В., Токарчук О. А. Вплив способу кріплення безстружкових мітчиків на процес витискування різьби. *Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця ВНАУ*, 2019. № 2 (93) С. 56–61.
8. Веселовська Н. Р., Турич В. В., Руткевич В. С. Контактна взаємодія інструмента з деталлю у процесах поверхневого пластичного деформування з ультразвуком. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 2(85). С. 51–58.

References

- [1] Gunko, I. V., Muzychuk, V. I., Nakhaichuk, O. V. (2015). Talking tne development of deformation into determining normal and tangential contact stresses at the forge. *Vseukrayinskij naukovotekhnichnij zhurnal «Tekhnika, energetika, transport APK»*. Vinniczya, 2(85), 102–107. [in English].
- [2] Muzychuk, V. I., Nakhaichuk, O. V., Sivak, R. I. (2012). Plastichnist alyuminiyevikh splaviv pri izotermichnomu valcjuvanni zagotovok [Plasticity of aluminum alloys during isothermal rolling of billets]. *Vibracziyi v tekhnici i tekhnologiyakh*, 2(66), 82–86. [in Ukrainian].
- [3] Ogorodnikov, V. A., Muzychuk, V. I., Nakhaychuk, O. V. (2007). *Mekhanika protsessov kholodnogo formoizmeneniya s odnotipnymi skhemami mekhanizma deformatsii* [Mechanics of cold forming processes with the same type of deformation mechanism]. Monografiya. V.: Universum. Vinnitsa. [in Ukrainian].
- [4] Grudiyev, A. P. (1988). *Teoriya prokatki* [Rolling theory]. M.: Metalurgiya. [in Russian].
- [5] Matvijchuk, V. A., Mikhalevich, V. M. (2016). *Rozvitok procesiv lokalnogo deformuvannya* [Development of local deformation processes]. Monografiya: Teoriya i praktika obrobki materialiv tiskom. AT «Motor Sich». [in Ukrainian].
- [6] Sivak, R. I., Koczubivska, K. I., Sukhorukov, S. I. (2016). Vpliv protitisku, shho stvoryuyetsya tverdim seredovishhem, na deformivnyast zagotovok pri radialnomu vidavlyuvanni [The influence of the pressure created by the solid medium on the deformability of the workpieces during radial extrusion]. *Visnik mashinobuduvannya ta transportu*, 2(4), 101–108. [in Ukrainian].
- [7] Lyubin, M. V., Tokarchuk, O. A. (2019). Vpliv sposobu kriplennya bezstruzhkovikh mitchikiv na proces vitiskuvannya rizbi [The influence of the method of fastening the stringless taps on the process of squeezing the thread]. *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh. Vi`nniczya VNAU*, 2(93), 56–61. [in Ukrainian].
- [8] Veselovska, N. R., Turich, V. V., Rutkevich, V. S. (2017). Kontaktna vzayemodi`ya i`nstrumenta z detallyu u procesakh poverkhneвого plastichnogo deformuvannya z ultrazvukom [Contact of the tool with the part in the processes of surface plastic deformation with ultrasound]. *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh*. 2(85). 51–58. [in Ukrainian].

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ

Рассмотрен метод определения контактных нормальных и касательных напряжений при вальцовке с учетом развития деформации во времени.

Существует много методов определения контактных нормальных и касательных напряжений, но все они рассматривают распределение вдоль границы деформации. Этот подход к решению задач не позволяет учитывать неравномерности деформации в поперечном направлении и влияние боковых неконтактных зон, прилегающих к фактическому очагу деформации. Эти факторы необходимо учитывать при определении касательных и нормальных напряжений при вальцовке в размерах с разным соотношением геометрических форм и вальцовочной заготовки. Также в существующих методах определения контактных нормальных и касательных напряжений не учитывается развитие деформации во времени.

Выводя уравнения, определяющие в очаге деформации силы трения и давления, считали что нормаль к плоскости не будет совпадать с одной из осей системы координат, а наклонную площадку рассматривали как напряжения в параллелепипеде по граням объема, которое распределяется равномерно.

Полученные формулы для определения нормальных и касательных контактных напряжений в зоне деформации учитывают вальцовку в размерах с разным соотношением геометрических форм и вальцовочной заготовки, характеризующие динамику изменения очага деформации во времени.

В работе рассмотрены вальцовки заготовок из сплава АК6, которые имеют размеры $\varnothing 25 \times 150$ мм в овальном калибре, с высотой 13 мм и шириной 29 мм и рассчитаны контактные нормальные и касательные напряжения. На эпюрах нормальных и касательных напряжений видно изменение значения напряжения с увеличением контактной площади и времени деформации.

Результаты проведенных исследований нормальных и касательных напряжений показывают изменение их значений с увеличением контактной площади и времени деформации.



При проверке предложенного метода расхождение результатов теоретического расчета с экспериментальными данными составляет не более 4%, это подтверждает возможность применения метода для определения контактных нормальных и касательных напряжений при вальцовке.

Ключевые слова: вальцовка, контактные нормальные и касательные напряжения, деформация.

Ф. 11. Рис. 4. Табл. 1. Лит. 8.

RESEARCH DEVELOPMENT OF CONTACT DEFORMATION STRESSES WHILE ROLLING

The method of determination of contact normal and tangential stresses during rolling is considered, taking into account the development of deformation over time.

There are many methods for determining the contact normal and tangential stresses, but they all consider the distribution along the strain boundary. This approach to solving problems does not allow to take into account the uneven deformation in the transverse direction and the influence of lateral non-contact zones adjacent to the actual deformation center. These factors should be taken into account when determining the tangent and normal stresses when rolling in calibers with different ratios of geometric shapes and rolling billet. Also, existing methods of determining contact normal and tangential stresses do not take into account the development of deformation over time.

Deriving the equations that determine the deformation force of the friction force and pressure, it was assumed that the normal to the plane would not coincide with any of the axes of the coordinate system, and the inclined platform was considered as an inclined section in the parallelepiped volume across the edges of the volume, which is distributed uniformly.

The obtained formulas for determining the normal and tangent contact stresses in the deformation zone take into account rolling in calibers with different ratio of geometric shapes and rolling billet, characterize the dynamics of change of the deformation cell in time.

The paper deals with rolling of AK6 alloy workpieces having $\varnothing 25 \times 150$ mm dimensions in oval caliber, with a height of 13 mm and a width of 29 mm and calculated normal and contact stresses. The plots of normal and tangent stresses show a change in the value of stress with increasing contact area and deformation time.

The results of studies of normal and tangent stresses show a change in their values with increasing contact area and deformation time.

When checking the proposed method, the discrepancy between the results of the theoretical calculation and the experimental data is not more than 4%, which confirms the possibility of using the method to determine the contact normal and tangential stresses during rolling.

Key words: rolling, contact normal and tangential stresses, deformation.

F. 11. Fig. 4. Table. 1. Ref. 8.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Музичук Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологічних процесів та обладнання переробних та харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Токарчук Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологічні процеси та обладнання переробних і харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).

Музычук Василий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологических процессов та оборудования перерабатывающих та пищевых производств» Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Токарчук Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).

Muzychuk Vasyi – PhD, Associate Professor of the Department of “Technological Processes and Equipment of Processing and Food Productions” of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Tokarchuk Oleksii – PhD, Associate Professor of the Department of “Technological Processes and Equipment of Processing and Food Productions” of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).