

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СЕРТИФІКАТ

учасника

Міжнародної науково-методичної

Інтернет – конференції

«Проблеми вищої математичної освіти:

виклики сучасності»

(30 ГОД)

11-12 жовтня 2022 року

Штуць Андрій Анатолійович

Перший проректор з наукової роботи
та міжнародного співробітництва



Володимир ГРАБКО

**Міжнародна науково-методична
Інтернет-конференція
«Проблеми вищої математичної освіти:
виклики сучасності (2022)»**

11-12 жовтня 2022 року

Збірник матеріалів

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**Міжнародна науково-методична
Інтернет-конференція
«Проблеми вищої математичної освіти:
виклики сучасності (2022)»**

11-12 жовтня 2022 року

Збірник матеріалів

Електронне наукове видання

Вінниця
ВНТУ
2022

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Організаційний комітет конференції:

Голова – В. В. Грабко, д. т. н., професор, перший проректор з наукової роботи та міжнародного співробітництва, Вінницький національний технічний університет.

Члени оргкомітету:

В. В. Богачук, к. т. н., доцент, заступник проректора з наукової роботи, начальник науково-дослідної частини, Вінницький національний технічний університет.

А. І. Власюк, к. т. н., доц., Вінницький національний технічний університет.

В. М. Михалевич, д. т. н., проф., Вінницький національний технічний університет.

І. В. Хом'юк, д. пед. н., проф., Вінницький національний технічний університет.

З. В. Бондаренко, к. пед. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

С. А. Кирилащук, к. пед. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

О. П. Прозор, к. пед. н., доцент, Вінницький національний технічний університет.

М. М. Ковтонюк, к. ф.-м. н., д. пед. н., проф., Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського.

С. М. Бак, д. ф.-м. н., доцент, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського.

Матеріали міжнародної науково-методичної Інтернет-конференції
М58 «Проблеми математичної освіти: виклики сучасності (2022)» : збірник матеріалів
[Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – (PDF, 184 с.)

ISBN 978-966-641-933-3

Збірник містить тексти доповідей Міжнародна науково-методичної Інтернет-конференція «Проблеми вищої математичної освіти: виклики сучасності (2022)».

Конференція проходила 11-12 жовтня 2022 року на базі Вінницького національного технічного університету з метою вивчення досвіду, проблем та перспектив найбільш ефективного та економного навчання математики при сучасних до неї вимогах; використання нових технологій навчання, обговорення питань науково-методичного супроводу викладання математичних дисциплін; розробки і застосування інформаційно-комунікаційних та інноваційних педагогічних технологій.

УДК 001

ISBN 978-966-641-933-3

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2022

Зміст

Методологічні аспекти розбудови сучасної математичної освіти

<i>Катерина Грижинку, Діана Христіна, Віктор Вікторович Хом'юк</i> ТАНГРАМ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ЛОГІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ШКОЛЯРІВ	1
<i>Максим Андрійович Солоний, Віктор Вікторович Хом'юк, Світлана Анатоліївна Кирилацук</i> ІНТЕРАКТИВНІ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ЯК ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ	5
<i>Олександра Степанівна Царева, Андрій Васильович Семенчук</i> ЩОДО ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕАТРАЛЬНОЇ ПЕДАГОГІКИ В МЕТОДОЛОГІЮ ВИКЛАДАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ	9
Теоретико-методологічні та психологічні аспекти створення і впровадження інформаційно-комунікаційних та інноваційних технологій	
<i>Ганна Олександрівна Пастушенко, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОРГАНІЗАЦІЇ ОНЛАЙН ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ЗВО	11
<i>Михайло Дмитрович Кренцін, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ВИКЛАДАННЯ ІНФОРМАТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ	14
<i>Дмитро Олександрович Шмундяк</i> ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ	19
<i>Андрій Андрійович Болдирев, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СТУДЕНТІВ НА ІНТЕРАКТИВНИХ ЗАНЯТТЯХ З ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ»	22
<i>Анастасія Орестівна Карп'як</i> РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІТ РИНКУ УКРАЇНИ. ОСВІТНІЙ АСПЕКТ	26
<i>Олена Миколаївна Соя, Олена Павлівна Косоєць, Ярослав Володимирович Крупський</i> МІСЦЕ ІНДИВІДУАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІЗНАВАЛЬНОЇ СФЕРИ ОСОБИСТОСТІ В АДАПТИВНОМУ НАВЧАННІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ІНФОРМАТИКИ ТА МАТЕМАТИКИ	29
<i>Катерина Євгенівна Рум'янцева</i> ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ДОШКИ IDROO НА ЗАНЯТТЯХ З ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	32
<i>Сергій Русланович Олінович</i> ВИКОРИСТАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ GOOGLE SITES ВЧИТЕЛЯМИ ІНФОРМАТИКИ	34
<i>Анастасія Володимирівна Василич</i> ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ GOOGLE FORMS	40
Математика та математичне моделювання	
<i>Наталія Василівна Сачанюк-Кавецька, Анастасія Вячеславівна Кавецька</i> КРИТЕРІЙ ЗГОДИ МІЗЕСА-СМІРНОВА В СТАТИСТИЧНІЙ ОБРОБЦІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ	43
<i>Сергій Миколайович Бак, Галина Миколаївна Ковтонюк, Юлія Вікторівна Горбачова</i> ІСНУВАННЯ СТОЯЧИХ ХВИЛЬ З ПЕРІОДИЧНОЮ АМПЛІТУДОЮ В ДИСКРЕТНОМУ РІВНЯННІ КЛЕЙНА-ГОРДОНА З КУБІЧНОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ	46
<i>Володимир Дмитрович Дереч</i> СТРУКТУРНО ОДНОРІДНА НАПІВГРУПА, ЯКА Є ІДЕАЛЬНИМ РОЗШИРЕННЯМ ГРУПИ ЗА ДОПОМОГОЮ НІЛЬНАПІВГРУПИ L	49
<i>Борис Іванович Мокін, Ольга Олександрівна Войцеховська</i> ПРО ДЕЯКІ НАСЛІДКИ НЕКОРЕКТНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ КАТАСТРОФ	52
<i>Оксана Владиславівна Безсмертна, Карина Романівна Остапчук</i> МЕТОД ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ТРЕНДІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ	55
<i>Марія Вікторівна Левцицька, Мар'яна Михайлівна Ковтонюк</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІЇ ОДНІЄЇ ТА БАГАТЬОХ ЗМІННИХ	57
<i>Ольга Миколаївна Артюх</i> ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ LOGIT-РЕГРЕСІЇ	63
<i>Василь Михайлович Горбачук</i> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ	65
<i>Володимир Сергійович Павлов, Ірина Володимирівна Хом'юк, Катерина Сергіївна Шевчук</i> APPLICATION OF MATHEMATICAL APPARATUS OF FUZZY MULTIPLIERS FOR FORECASTING DISEASES ON THE EXAMPLE OF SUGAR DIABETES	78
<i>Володимир Маркусович Михалевиц, Віктор Андрійович Матвійчук, Микола Анатолійович Колісник</i> СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ ШТАМПУВАННІ ОБКОЧУВАННЯМ	82
<i>Андрій Анатолійович Штуць</i> СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЕФОРМАЦІЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ЗАГОТОВОК В ОПЕРАЦІЯХ ВИСАДЖУВАННЯ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ	87
<i>Валерій Федорович Граняк</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА НА ФОРМУВАННЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК СТРУМУ СТАТОРА	91
<i>Олександр Никифорович Романюк</i> ВИКОРИСТАННЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАСОБІВ ТРИВИМІРНОЇ ГРАФІКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ	94
Використання систем комп'ютерної математики в наукових дослідженнях та освіті	
<i>Ярослав Олександрович Ісаєнков</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МЕДИЧНИХ ЗАПИСОК ПАЦІЄНТІВ	98
<i>Світлана Анатоліївна Кирилацук, Злата Василівна Бондаренко, Віталій Іванович Клочко</i> ВІДОБРАЖЕННЯ ДЕЯКИХ ПОНЯТЬ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ У КУРСІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ	101
<i>Юрій Володимирович Добранюк, Богдан Вікторович Маліцький, Ярослав Олександрович Глеба</i> ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МАТЕМАТИКИ MAPLE ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ ФІГУРИ, ЯКА ОБМЕЖЕНА КОЛОМ ТА РОЗТАШОВАНА ПОЗА КАРДІОІДОЮ	106
<i>Борис Іванович Мокін, Віталій Борисович Мокін, Олександр Борисович Мокін, Дмитро Олександрович Шалагай</i> ОСОБЛИВОСТІ ОБЧИСЛЕННЯ ІНТЕГРАЛУ ЛЕБЕГА ВІД ФУНКЦІЙ, ЗАДАНИХ НА МНОЖИНІ МІРИ «НУЛЬ»	112
<i>Аліна Яківна Клімишина</i> ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМИ ADVANCED GRAPHER ДЛЯ ВІЗУАЛЬНОГО СУПРОВОДУ ВИВЧЕННЯ ТЕМИ «ДИФЕРЕНЦІАЛЬНЕ ЧИСЛЕННЯ ФУНКЦІЇ ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ»	114

<i>Олексій Олександрович Кавка</i> АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ ЛЕЙТНЕРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИВЧЕННЯ АЛГОРИТМІВ ТА СТРУКТУР ДАНИХ В ПРОГРАМНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ.....	116
<i>Людмила Павлівна Суховірська, Василь Олександрович Болілий</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ СИНГУЛЯРНО ЗБУРЕНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ЗАСОБАМИ MAPLE.....	119
<i>Людмила Павлівна Суховірська, Василь Олександрович Болілий</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙНИХ СИНГУЛЯРНО ЗБУРЕНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ЗАСОБАМИ MAPLE.....	121
<i>Олександр Никифорович Романюк</i> МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА».....	123
Інноваційні технології формування професійної компетентності та її складових у майбутніх випускників ЗВО	
<i>Денис Юрійович Лебедь, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ПРОБЛЕМА МОТИВАЦІЇ СТУДЕНТІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТТЯ В ДИСТАНЦІЙНІЙ ФОРМІ НАВЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРАКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	126
<i>Олексій Володимирович Кудрик, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ПРОЄКТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ЗВО.....	130
<i>Віталій Олександрович Басістий</i> СКЛАДОВІ ІННОВАЦІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СУЧАСНОГО ВИКЛАДАЧА ЗВО.....	134
<i>Дмитро Станіславович Кудрявцев, Ірина Володимирівна Хом'юк</i> ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МОЗКОВОГО ШТУРМУ ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ НА ЗАНЯТТЯХ З ДИСЦИПЛІНИ «ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ».....	138
<i>Катерина Костянтинівна Сівак</i> ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СТУДЕНТІВ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТТЯХ З ДИСЦИПЛІНИ «КОШТОРИСНА СПРАВА».....	141
<i>Віктор Самуїлович Щирба</i> ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ПРОФІЛЮ В УМОВАХ STEM-ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	144
<i>Ірина Анатоліївна Клеона, Надія Борисівна Дубова</i> ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ MAPLE ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО ЗВО.....	146
<i>Людмила Степанівна Васи́на</i> ПРО ДЕЯКІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИ З МАТЕМАТИКИ.....	150
<i>Олена Валеріївна Слободянюк, Яніна Германівна Скорюкова</i> САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ГЕОМЕТРО-ГРАФІЧНИХ ДИСЦИПЛІН В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.....	156
<i>Майя Ковальчук</i> ЗМІСТОВІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ.....	160
<i>Ольга Мар'янівна Рибицька</i> РЕФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ІТ ФАХІВЦІВ, ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР ЗРОСТАННЯ ГАЛУЗІ.....	163
<i>Максим Сергійович Баранчук, Максим Дмитрович Мельничук, Максим Дмитрович Мельничук, Юлія Петрівна Юхимчук</i> ВИВЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН ЗДОБУВАЧАМИ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ».....	165
<i>Марина Олександрівна Мясковська, Софія Віталіївна Дембіцька, Віталій Анатолійович Іванюк, Вадим Віталійович Понеділок</i> ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ПРОГРАМУВАННЯ СТУДЕНТАМИ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ 122 КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ.....	168
<i>Наталія Ги́ря, Світлана Дімі́трова</i> ФОРМУВАННЯ СКЛАДОВИХ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ.....	171
<i>Світлана Романівна Замрозевич-Шадріна</i> ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ.....	173
<i>Сергій Ернстович Агеев</i> ПРОЄКТНИЙ ПІДХІД ДО ДОДАТКОВОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ІТ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОНКУРСНОГО ГРАНТОВОГО ФІНАНСУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИМИ ІТ КОМПАНІЯМИ.....	175

СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЕФОРМАЦІЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН ЗАГОТОВОК В ОПЕРАЦІЯХ ВИСАДЖУВАННЯ МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Вінницький національний аграрний університет

Анотація

Здійснено аналіз способу конструювання диференціального рівняння та отримання на цій основі залежності між осьовою та коловою компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану вільної поверхні циліндричної заготовки під час її торцевого стиснення. Запропоновано узагальнення відомого співвідношення для можливості врахування більш жорсткого напруженого стану матеріалу на вільній бічній поверхні фланця під час операції штампування обкочуванням трубних кільцевих заготовок.

Ключові слова: осьова та колова компоненти пластичної деформації, диференціальне рівняння, координатна сітка, показник напруженого стану, вільна бічна поверхня, фланець, штампування обкочуванням, конічний валок, трубна кільцева заготовка.

Abstract

An analysis of the method for constructing a differential equation and obtaining on this basis the relationship between the axial and circumferential components of plastic strain to describe the stress state of the free surface of a cylindrical billet during its compression was performed. A generalization of the well-known relation for the possibility of taking into account a more rigid stress state of the material on the free side surface of the flange during the initial stage of the rolling forging operation of annular tubular blanks was proposed.

Keywords: axial and circumferential components of plastic strain, a differential equation, coordinate grid, stress triaxiality, free side surface, flange, annular tubular blank, rolling forging.

Вступ

Штампування обкочуванням є не тільки широковідомим процесом деформування, що використовується як складова частина технологічного процесу виготовлення деталей, але й ефективним способом дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів. Однією з найбільш поширених технологічних операцій штампування обкочуванням є висаджування зовнішніх фланців на трубних (кільцевих) заготовках. Як відомо [2, 3, 4, 5.] під час ШО трубних, циліндричних зразків із малопластичних матеріалів на бічних поверхнях утворюються тріщини.

Для побудови моделі деформовності матеріалу вказаних небезпечних зон заготовок необхідно побудувати залежності між компонентами пластичної деформації матеріалу вільної бічної поверхні фланця.

В працях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] запропоновано різні методи визначення траєкторії деформацій.

Доволі ефективний спосіб побудови подібних залежностей на основі конструювання та розв'язання диференціальних рівнянь розвинено в працях [10, 11].

Метою роботи є аналіз зазначеного способу конструювання диференціального рівняння та отримання на цій основі залежності між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану матеріалу вільної поверхні фланця заготовки під час операції висаджування методом штампування обкочуванням.

Результати дослідження

В [10, 11] зазначається, що в літературних джерелах до появи праць цих авторів були відсутні вимоги щодо побудови залежності між компонентами приростів деформацій на вільній бічній поверхні циліндричного зразка під час його торцевого стиснення.

Розглянемо основні елементи аналітичної частини зазначеного експериментально-аналітичного підходу [5, 7]. Запишемо залежність між осьюовою ε_z та коловою ε_φ логарифмічними деформаціями макрочастинки матеріалу заготовки:

$$\varepsilon_z = f(\varepsilon_\varphi)$$

В [7] розглядається бічна поверхня циліндричного зразка при торцевому стисненні та сформульовано умови до побудови цієї залежності у вигляді диференціального рівняння.

На основі цих результатів сформулюємо умови для побудови аналогічної залежності для описання зміни деформованого стану вільної поверхні фланця заготовки під час операції висаджування методом ШО:

- пропонується структура нелінійного диференціального рівняння 1-го порядку з відокремлюваними змінними:

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = f(\varepsilon_\varphi);$$

- вважається, що в початковий момент деформування напружений стан матеріалу може бути більш жорстким, ніж напружений стан одноосьового стиснення:

$$\left. \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} \right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -(1+\theta), 0 \leq \theta \leq 1;$$

- вважається, що при збільшенні деформації до як завгодно великої величини матимемо:

$$\lim_{\varepsilon_\varphi \rightarrow \infty} \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} \geq -\frac{1}{2};$$

- внаслідок явища поступового переходу від циліндричної форми бічної поверхні до бочкоподібної із збільшенням значення колової деформації ε_φ , у зв'язку із розвитком бочкоутворення бічної поверхні, відношення приростів осьюової ε_z та колової ε_φ деформацій збільшується (за абсолютною величиною зменшується), тобто:

$$\frac{d\left(\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi}\right)}{d\varepsilon_\varphi} = \frac{d^2\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi^2} \leq 0;$$

- умова якомога меншої кількості параметрів;
- умова інтегрованості диференціального рівняння та невеликої обчислювальної складності розв'язку задачі визначення граничних деформацій;
- структура диференціального рівняння має бути такою, щоб його розв'язок в параметричній формі мав вигляд:

$$\begin{cases} \eta = \eta_1(t); \\ \bar{\varepsilon}_i = m \cdot f_3(t). \end{cases}$$

Слід зазначити, що при $\theta=1$ умова (3) стає тотожною аналогічній умові, що сформульована авторами [1] для процесу торцевого стиснення циліндричного зразка:

$$\left. \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} \right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -2.$$

Далі із застосуванням теорії течії буде показано, що ця умова відповідає напруженому стану одноосьового стиску:

$$\eta \Big|_{\varepsilon_\varphi=0} = -1.$$

Остання умова означає, що незалежно від умов тертя на торцях циліндричного зразка на початковій стадії торцевого стиснення матеріал вільної бічної поверхні перебуває в напруженому стані рівномірного стиснення.

Відсутність таких умов суттєво ускладнює встановлення залежності між осьюовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації

$$\varepsilon_z = f(\varepsilon_\varphi) \quad (1)$$

на основі експериментальних даних по замірам зміни розмірів координатної сітки. Це пов'язане з відчутним розсіюванням подібних експериментальних даних та необхідністю використання похідних від залежності (1) під час визначення інваріантів напружено-деформованого стану матеріалу заготовки.

В [10, 11] зазначається, що суттєвого покращення точності визначення інваріантів напружено-деформованого стану матеріалу вільної бічної зони циліндричної заготовки під час її торцевого стиснення, можна досягти за рахунок побудови залежності (1) у вигляді диференціального рівняння, що задовольняє низці певних вимог. Авторами [10, 11] ці умови сформульовані та зазначається, що відоме співвідношення

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

задовольняє всі вказані умови, зокрема

$$\left. \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} \right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -2. \quad (3)$$

Параметр m звичайно визначається на основі результатів замірів зміни розмірів координатної сітки.

Із застосуванням теорії течії можна показати, що ця умова тотожна умові

$$\eta \Big|_{\varepsilon_\varphi=0} = -1, \quad (4)$$

Це означає, що незалежно від умов тертя на торцях циліндричного зразка на початковій стадії торцевого стиснення матеріал вільної бічної поверхні перебуває в напруженому стані рівномірного стиснення.

Особливої уваги заслуговує схема штампування обкочуванням, коли вершина конічного валка зміщена від осі заготовки в напрямку плями контакту (рис. 1а). Ця схема дозволяє отримувати широкі фланці, проте вже на початкових стадіях обкочування периферійна зона фланця відходить з контакту з валком (рис. 1б), що формує на вільній поверхні досить жорстку схему напруженого стану. Тобто, вже на початковій стадії вказаного процесу має місце більш жорсткий напружений стан матеріалу небезпечних зон, у порівнянні з торцевим стисненням циліндричних зразків.

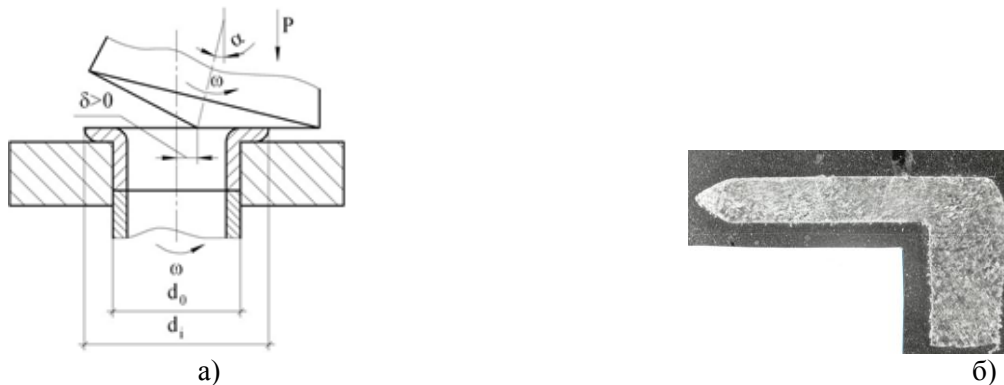


Рис. 1. Схема висаджування зовнішнього фланця заготовки методом штампування обкочуванням а) і форма перерізу сформованого фланця б)

Отже, для побудови математичної моделі деформовності матеріалу небезпечних зон під час операції штампування обкочуванням трубних циліндричних зразків умову (3) необхідно узагальнити на випадок можливості відображення вказаної особливості. Іншими словами пропонується умову (3) записати в такому вигляді

$$\left. \frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} \right|_{\varepsilon_\varphi=0} = -(1+\theta), 0 \leq \theta \leq 1. \quad (5)$$

Узагальнимо рівняння (2) з урахуванням останньої умови

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{4} \cdot (1+\theta) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot m^2}{\varepsilon_\varphi^2 + m^2} \right), m > 0, 0 \leq \theta \leq 1. \quad (6)$$

Ми отримали диференціальне рівняння першого порядку з відокремлюваними змінними. Розв'язанням цього диференціального рівняння отримаємо шукану залежність між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації для описання напруженого стану вільної поверхні заготовки під час операції штампування обкочуванням

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{4} \cdot (1+\theta) \cdot \left(\varepsilon_\varphi + 3 \cdot m \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m} \right) \right). \quad (7)$$

Диференціальне рівняння (2) впливає із (6), як окремий випадок при $\theta = 1$. Аналогічним чином, при цьому залежність (7) стає тотожною залежності

$$\varepsilon_z = -\frac{1}{2} \cdot \varepsilon_\varphi - \frac{3}{2} \cdot m \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{\varepsilon_\varphi}{m} \right), \quad (8)$$

що досліджується в [10, 11] та є розв'язком диференціального рівняння (2).

Висновки

На основі способу конструювання диференціального рівняння, що задовольняє низку умов, отримано аналітичну залежність між осьовою ε_z та коловою ε_φ компонентами пластичної деформації матеріалу вільної бічної поверхні фланця заготовки під час операції штампування обкочуванням, коли вершина конічного валка зміщена від осі заготовки в напрямку плями контакту. Ця залежність, параметри якої визначаються на основі експериментальних даних, є необхідною складовою для побудови моделі деформовності матеріалу небезпечних зон заготовок під час вказаних операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kupchuk I., Kolisnyk M., Shtuts A., Paladii M. Development of the technological process of forming rings from sheet samples by stamping rollers and rotary hood. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series I: Engineering Sciences*. 2021. Vol. 14 (63), № 2. P. 1-13.
2. Матвійчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография, В. А. Матвійчук, И. С. Алиев. Краматорск: ДГМА, 2009. -268 с.
3. Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А. Дослідження напружено-деформовного стану матеріалу заготовок при прямому витискуванні методом штампування обкочування. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 3(102). С. 77-84.
4. Краєвський В. О., Матвійчук В. А., Михалевич В. М. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування. Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії. Краматорськ-Слов'янськ. 2003. С. 286-291
5. Матвійчук В. А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням/ В. А. Матвійчук, В. М. Михалевич, М. А. Колісник // *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця: ВНАУ 2022. № 1(104). С. 81-91.
6. Михалевич В. М., Матвійчук В.А., Добранюк Ю. В., Трач Є. А. Прогнозування граничного стану бічної поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні, *Обработка материалов давлением*, №1(30) 2012, с. 24-30.
7. Михалевич В. М. Узагальнення експериментально-аналітичної методики аналізу процесу осадження/ В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, В. А. Матвійчук, Є. А. Трач *Обработка металлов давлением: сборник научных трудов*. - Краматорск : ДГМА. - 2014. - №1(38). С. 41-47.

8. Матвійчук, В.А., Михалевич, В. М. (2016) «Розвиток процесів локального деформування», За ред. Богуслаєва В.О., Бобиря М.І., Тітова В.А., Кочана О.Я. Теорія та практика обробки матеріалів тиском, Моторсч, Запоріжжя, с. 339-363.

9. Михалевич В. М. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при вальцюванні В. М. Михалевич, В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця: ВНАУ - 2021. - № 2(113). - С. 56-64.

10. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression/ V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev, Yu Dobranyuk Strength of Materials. - 2011, Vol. 43, No. 6. (1 October 2011), pp. 591-603.

11. Михалевич В. М. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні: монографія / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 180 с. ISBN 978-966-641-532-8.

12. Viktor Matvijchuk., Andrii Shtuts., Mykola Kolisnyk, Ihor Kupchuk., Iryna Derevenko., (1%) Investigation of the Tubular and Cylindrical Billets Stamping by Rolling Process with the Use of Computer Simulation. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*. 2022. №1 (66), P. 51–58, <https://www.scopus.com/sourceid/21603> SNIP 2020:0,946

13. Матвійчук В.А. Колісник М.А., Штуць А.А. Побудова кривих граничних деформацій матеріалів, *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1(104). С. 156-162.

Штуць Андрій Анатолійович – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Andrii Shtuts – Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Електронне наукове видання

**Міжнародна науково-методична Інтернет-конференція
Проблеми вищої математичної освіти:
виклики сучасності (2022)
11-12 жовтня 2022 року**

Збірник матеріалів

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 27.10.2022 р.
Гарнітура Times New Roman.
Зам. № P2023-061

Видавець та виготовлювач -
Вінницький національний технічний університет,
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua,

Email: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.