

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**  
**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

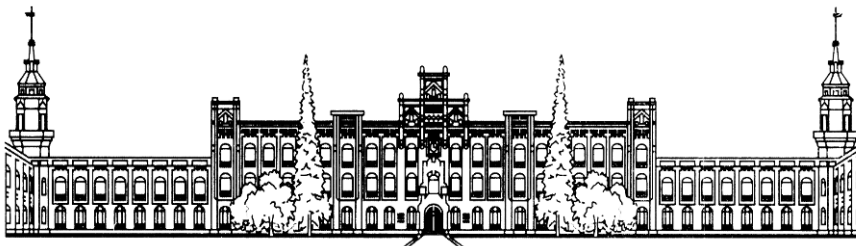
## **ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ**  
**КОНФЕРЕНЦІЇ**

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

*присвячена 85-річчю створення кафедри обробки металів тиском в НТУУ «КПІ»*

*14 – 18 грудня 2015 року*

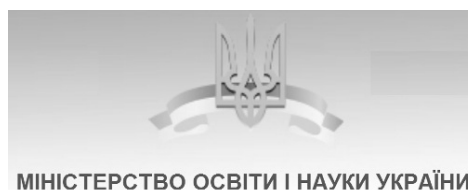


**м. Київ, Україна**



## Партнери МНТК

*Міністерство освіти і науки  
України*



*Національна академія наук  
України*



*Національний технічний  
інститут України «Київський  
політехнічний інститут»  
(НТУУ «КПІ»)*



*Механіко-машинобудівний  
інститут НТУУ «КПІ»*



*Інститут проблем  
матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича*



*Український науково-дослідний  
інститут авіаційної технології  
(УкрНДІАТ)*



*Гомельський державний  
технічний університет  
(Республіка Білорусь)*



*ТОВ «Аскон-КР»*



*Спілка інженерів-механіків  
НТУУ «КПІ»*



## ***МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ***

Ільченко М.Ю.	Україна	голова
Бобир М.І.	Україна	співголова
Савчинський І.Г.	Україна	співголова
Луговський О.Ф.	Україна	співголова

Алієв І.С.	Україна	Мозговий В.Ф.	Україна
Баглюк Г.А.	Україна	Мозговий О.В.	Україна
Борисов Г.П.	Україна	Ноговіцин О.В.	Україна
Бейгельзімер Я.Ю.	Україна	Носуленко В.І.	Україна
Гогаєв К.О.	Україна	Огородніков В.А.	Україна
Гребеніков О.Г.	Україна	Пейчев Г.І.	Вірменія
Драгобецький В.В.	Україна	Петросян Г.Л.	Україна
Єршов С.В.	Україна	Плеснецов Ю.О.	Україна
Каргін Б.С.	Україна	Рей Р.І.	Україна
Качан О.Я.	Україна	Савчук П.П.	Україна
Кондратюк Е.В.	Україна	Сівак І.О.	Україна
Кривов Г.О.	Україна	Стрижало В.О.	Білорусь
Лисенко О.М.	Україна	Таріков Г.П.	Україна
Ляшенко Б.А.	Україна	Чигиринський В.В.	Україна
		Штерн М.Б.	Україна

## ***ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ***

Тітов В.А.		голова
Гожій С.П.		заступник голови
Калюжний В.Л.		заступник голови
Холявік О.В.		вчений секретар
Кліско А.В.		технічний секретар
Злочевська Н.К.		технічний секретар
Борис Р.С.	Дюміна Т.В.	Піманов В.В.
Рощина І.А.	Лавріненков А.Д.	Гараненко Т.Р.

ЗМІСТ

	Стор.
1. Бондарь В.С., Васин Р.А., Кийко И.А., Савчинский И.Г. <b>А.И.ИЛЬЮШИН – ВЫДАЮЩИЙСЯ МЕХАНИК СОВРЕМЕННОСТИ.....</b>	8
2. Алиев И.С. д. т. н., проф., Абхари П.Б., к. т. н., доцент, Ерѐмина А.А. асп. <b>ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ШТАМПОВКЕ В РАЗЪЕМНЫХ МАТРИЦАХ.....</b>	10
3. Корчак О.С. , к.т.н., доц., докторант <b>СТВОРЕННЯ ШВИДКОДЮЧИХ СИСТЕМ НИЗЬКОГО ТИСКУ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРЕСІВ.....</b>	16
4. Огородников В. А., д.т.н., проф., Архіпова Т. Ф., к.т.н., доц. <b>ОЦІНКА ПЛАСТИЧНОСТІ ДЕФОРМОВАНОГО МЕТАЛУ.....</b>	19
5. Драгобецький В.В. <sup>1</sup> , д.т.н., проф.; Наумова Е.О. <sup>1</sup> , інж., Шаповал О.О. <sup>1</sup> , к.т.н., докторант, Тихонова К.Г. <sup>1</sup> , магістрант, Наумова М.І. <sup>2</sup> , магістрант <b>ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕМЕНТІВ ЛЕГКОГО БРОНЕЗАХИСТУ.....</b>	22
6. Михалевич В. М., д.т.н., проф.; Краєвський В. О., к.т.н., доцент.; Добранюк Ю. В., к.т.н., ст. викл. <b>ПОСТАНОВКА ТА РОЗВ’ЯЗАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ЧАС НЕСТАЦІОНАРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ.....</b>	25
7. Розов Ю.Г., д.т.н., доц. <b>РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СТВОЛІВ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ МЕТОДАМИ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТОВСТОСТІННИХ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК.....</b>	31
8. Маслей В.М., Шатіхін В.Є., к.т.н., Білоусов К.Г., Хорошилов В.С., д.т.н., проф., Попель В.М. <b>ОЦІНКА МАКСИМАЛЬНОГО ЗНОСУ ВИСОКОШВИДКІСНИХ СТУПЕНІВ ЗУБЧАТИХ МЕХАНІЗМІВ БАЗОВИХ КОСМІЧНИХ СТАНЦІЙ.....</b>	41
9. Тітов В.А., д.т.н., проф., Борис Р.С., к.т.н., доц., Вишневський П.С., ст. викл. <b>ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ РЕЛЬЄФУ ГРАНИЧНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ З’ЄДНАННІ РІЗНОРІДНИХ МЕТАЛІВ ВИТЯГУВАННЯМ З ПОТОНШЕННЯМ.....</b>	46
10. Тітов В.А., д.т.н., проф., Злочевска Н.К. к.т.н., асист. <b>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГОМОГЕННИХ ТА СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПЛАСТИЧНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	49
11. Алієва Л.І. к.т.н., доц., Таган Л.В., к.т.н., асист., Гончарук Х.В., асп. <b>АНАЛІЗ ФОРМОЗМІНИ НАПІВФАБРИКАТУ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ОСАДЖЕННІ КОНІЧНИМИ КІЛЬЦЯМИ.....</b>	51
12. Вишинський В.Т., к.т.н., доц. <b>СИСТЕМНО-МОДУЛЬНИЙ ПІДХІД ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ.....</b>	54
13. Добров І.В., д.т.н., проф.; Сьомічев А.В., к.т.н., доц.; Гетьман І.І., інженер <b>ОГЛЯД ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СИМЕТРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ ОСАДЦІ.....</b>	56
14. Медведев В.С. д.т.н., Базарова К.В. ст. викл. <b>ВПЛИВ БІЧНОГО ОБТИСНЕННЯ ФЛАНЦІВ НА ЗМІНУ ЇХ ВИСОТИ В ЧОРНОВИХ ЗАКРИТИХ БАЛКОВИХ КАЛІБРАХ.....</b>	62
15. Мозговий О.В., к.т.н, доц., Абрамчук В.С., к.ф.-м.н., доц., Абрамчук І.В., ст. викл. <b>ВРАХУВАННЯ ЕРЕДИТАРНИХ ЯВИЩ В МЕХАНІЦІ КОНСТРУКЦІЙ.....</b>	68

16. Ноговіцин О. В., д.т.н. <b>ЛИВАРНО-ДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ОТРИМАННЯ СТАЛЕВОЇ СМУГИ.....</b>	71
17. Сивак Р.І., к.т.н., доц., Огородніков В.А., д.т.н., проф., Сивак І.О., д.т.н., проф. <b>ОЦІНКА ПЛАСТИЧНОСТІ МЕТАЛУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ДВОХЕТАПНОМУ ДЕФОРМУВАННІ.....</b>	74
18. Грушко О.В. , д.т. н., проф., Гуцалюк О.В. , аспірант <b>КАРТА ВАЖКОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ ВОЛЬФРАМ-НІКЕЛЬ -ЗАЛІЗО ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОЇ ОБРОБКИ ТИСКОМ.....</b>	80
19. Бабак А.М., ас., Демидюк Т.П., студ. <b>МОДЕЛЬ МАГАЗИНА З ВРАХУВАННЯМ ЕФЕКТИВНИХ НАПРУЖЕНЬ.....</b>	83
20. Бабак А.М., ас., Тимошенко О.В., к.т.н., Петін С.Р., студ. <b>ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕМЕНТА ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ РАМИ ДЛЯ БОЛІДА ФОРМУЛИ СТУДЕНТ КІП.....</b>	89
21. Лаврінєнков А.Д., к.т.н., Тітов В.А., д.т.н., проф. <b>ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ПРИ ВИГЛАДЖУВАННІ ЗБЕЗ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ІНДЕНТОРА НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДЕТАЛІ.....</b>	95
22. Підгребельний М.С., Лупкін Б.В., д.т.н., проф., Борис Р.С., к.т.н., доц. <b>ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ МОНОЛІТНИХ ПАНЕЛЕЙ ЛА ПРИ ПЛАСТИЧНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ.....</b>	98
23. Тривайло М.С. к.т.н., доц., Сохан Д.В. студ. <b>ГЛУШНИК ШУМУ ГАЗОВОГО СТРУМЕННЯ.....</b>	100
24. Суботенко Г.М., аспірант; Гожій С.П., д.т.н., доц. <b>СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ КОМБІНОВАНОГО ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....</b>	102
25. Тривайло М.С., к.т.н., доц., Холявік О.В., к.т.н., доц., Стеблюк В.І., д.т.н., проф., Борис Р.С., к.т.н., доц., Дудка С.Ю., студ. <b>УДОСКОНАЛЕНИЙ ШТАМП ДЛЯ ГЛИБОКОЇ ВИТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ.....</b>	106
26. Тітов В.А., д.т.н., проф., Гараненко Т.Р., асп. <b>ПОБУДОВА КРИВИХ ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИПРОБУВАННІ НА ЗГІН.....</b>	108
27. Головка О.С., студ., В.В. Піманов, асис., В.М. Горностай, к.т.н., доц. <b>ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНОСТІННОСТІ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ НА ЯКІСТЬ КІНЦЕВОГО ВИРОБУ ПРИ ВИДАВЛЮВАННІ З ПОТОНШЕННЯМ ВИРОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....</b>	111
28. Князєв М.К., к.т.н., доц., Кальяна Раман Анантхараман, маг., Гобі Рамасамі Вінод, маг. <b>ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ З ДИФЕРЕНЦІЙНИМ НАГРІВОМ</b>	113
29. Калюжний В. Л., д.т.н., проф., Олександренко Я. С., асп.; Козерацький М. С., асп. <b>ЕНЕРГОСИЛОВІ РЕЖИМИ ПРОЦЕСІВ, ФОРМА ТА РОЗМІРИ ЗДЕФОРМОВАНИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ЗАКРИТІЙ РОЗДАЧІ З ДІЄЮ ТИСКУ РІДИНИ НА ВНУТРІШНЮ ПОВЕРХНЮ СТІНКИ ЗАГОТОВКИ З РІЗНИМИ КУТАМИ МАТРИЦІ.....</b>	115
30. Кліско А.В., асист., Соколовський Д.О., асп., Гожій С.П., д.т.н., проф. <b>КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	118
31. Кліско А.В., асист., Соколовський Д.О., асп., Гожій С.П., д.т.н., проф. <b>КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОКАЛЬНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ З АКТИВНИМИ СИЛАМИ ТЕРТЯ КІЛЬЦЕВИХ ЗАГОТОВОК ІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ.....</b>	120

32. Калюжний В.Л., д.т.н, проф., Соколовська С.С., асп., Івасюк С.А., студ. <b>ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМБІНОВАНОГО ВИТЯГУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ НЕРЖАВЮЧОЇ СТАЛІ AISI-316L В ОДНОКОНУСНІЙ МАТРИЦІ.....</b>	<b>123</b>
33. Можаровська Т.М., к.т.н., доц. <b>ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ПОВЗУЧОСТІ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ.....</b>	<b>125</b>
34. Калюжний О.В., к.т.н, доц. <b>КОМБІНОВАНЕ ВИТЯГУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ НЕРЖАВЮЧОЇ СТАЛІ AISI-316 В ДВОХКОНУСНІЙ МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ.....</b>	<b>127</b>
35. Калюжний В.Л., д.т.н., проф., Піманов В.В., асит, Савченко А.В., студ. <b>РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ХОЛОДНИМ ФОРМОУТВОРЕННЯМ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ПРОФІЛЬОВАНОЮ ВНУТРІШНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ.....</b>	<b>129</b>
36. Калюжний В.Л., д.т.н., проф.; Піманов В.В., асит; Савченко А.В., студ. <b>НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПРИ ХОЛОДНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ПРОФІЛЬОВАНОЮ ВНУТРІШНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ.....</b>	<b>135</b>
37. Піманов В.В., асис., Горностай В.М., к.т.н., доц., Кравченко М.С., студ. <b>РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....</b>	<b>141</b>
38. Тимошенко А.В., к.т.н. доц., Піманов В.В., асит, Бабак А.М., асист., Коробка Є.М., студ. <b>АНАЛІЗ ПРОЦЕСА ДОРНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОТВОРІВ В ПЛАСТИНІ З АВІАЦІЙНОГО СПЛАВА Д16ЧТ.....</b>	<b>147</b>
39. Піманов В.В., асис., Бойчук М.А., студ., Чередніченко Ю.А., студ. <b>РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВИРОБУ З ДВОМА ПОРОЖНИНАМИ.....</b>	<b>153</b>
40. Устьянов В.Б., к.т.н., с.н.с., Иващенко В.В., к.т.н., доц. <b>ЯЧЕИСТОЗАПОЛНЕННАЯ КЕРАМИКА –НОВЫЙ КЛАСС КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>157</b>
41. Холявік О.В., к.т.н., доц., Вишневський П.С., ст. викл., Меленчук Ю.П., магі., Базиленко Т.О., студ., Редька, К.К., студ. <b>ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ, РОЗРАХУНКІВ МЕТОДОМАМИ ПОТЕНЦІАЛУ І ЛІНІЙ КОВЗАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ АНАЛОГОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ «ЗВОРОТНОГО» ВИТЯГУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ.....</b>	<b>159</b>
42. Савченко Д.М., асп., Холявік О.В., к.т.н., доц., Стеблюк В.І., д.т.н., проф., Дудка С.Ю., студ. <b>ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВІДРІЗКИ ДЕТАЛЕЙ І НАПІВФАБРИКАТІВ ВІД ТОНКОСТІННИХ ТРУБ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗСУВУ І КРУЧЕННЯ.....</b>	<b>161</b>
43. Маковей В.О., к.т.н., доц., Донченко Я.С., студ. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ШЛІФОВАНИХ РЕЙКОВИХ СТАЛЕЙ..</b>	<b>163</b>
44. Маковей В.О., к.т.н., доц., Мельник В.С. асист., Сохан Д.В., магістр <b>ПРОФІЛЮВАННЯ РЕБРИСТИХ ТРУБ ОБКОЧУВАННЯМ РОЛИКАМИ.....</b>	<b>165</b>
45. Маковей В.О., к.т.н., доц., Проценко П.Ю. асист., Мельник В.С., аспірант, Рекало М., маг. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОФІЛЮВАННЯ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ ОБКАТКОЮ РОЛИКАМИ БЕЗ ОПРАВКИ.....</b>	<b>167</b>
45. Штерн М.Б., чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф., Тітов А.В., к.т.н., доц., Басов О.Ю. <b>ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ТОНКОСТІННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ.....</b>	<b>169</b>
46. Сабол С.Ф., к.т.н., доц. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ В МАТРИЦЯХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ.....</b>	<b>171</b>

УДК 621.77

Михалевич В. М., д.т.н., проф.; Красівський В. О., к.т.н., доцент.; Добрянюк Ю. В., к.т.н., ст. викл.  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

## ПОСТАНОВКА ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ЧАС НЕСТАЦІОНАРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Одним із найпоширеніших процесів деформування є торцеве стиснення, яке використовується як складова частина технологічного процесу виготовлення деталей, так і як спосіб дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів. Як відомо, під час торцевого стиснення 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.

В даній роботі запропоновано математичну модель та інформаційні технології визначення граничних пластичних деформацій матеріалу на вільній бічній поверхні циліндричної заготовки під час торцевого стиснення в умовах холодного та гарячого деформування.

Дослідження напружено-деформованого стану циліндричної заготовки під час нестационарного деформування проведено на основі удосконалення експериментально-аналітичної методики дослідження НДС циліндричних заготовок під час торцевого стиснення. Відповідно до якої отримано аналітичний опис залежностей між деформаціями у вигляді розв'язання диференціального рівняння із розділюваними змінними:

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

де  $m > 0$  – це константа, яка визначається під час експериментального дослідження.

Напружений стан визначали із використанням теорії течії. Граничні деформації визначали з використанням скалярних та тензорних моделей накопичення пошкоджень.

Найпростіша скалярна модель Колмогорова, що базується на лінійному принципі накопичення пошкоджень

$$\psi(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_{*c}[\eta(\varepsilon_u)]}, \quad (2)$$

при використанні параметрично заданих співвідношень (1), набуває вигляду

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

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

При гарячому деформуванні гранична пластична деформація істотно залежить від закону зміни швидкості деформацій. Особливості механіки підсумовування пошкоджень за цих умов відображуються скалярним варіантом відомої моделі

$$\psi(t) = \int_0^t \varphi(t-\tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau, \quad (4)$$



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

$$\varepsilon_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau. \quad (5)$$

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  $\psi(t_*) = 1$

$$t_* = t_*(\dot{\varepsilon}_u(t)) \rightarrow \min, \quad \varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \quad \int_0^{t_*} \phi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} \varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau \rightarrow \max, \\ \int_0^{t_*} \phi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \end{aligned} \quad (7)$$

Необхідні умови існування екстремуму (7) 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

$$\int_0^t \phi(t-\tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau \leq 1, \quad \forall t \in (0, t_*). \quad (8)$$

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

$$\dot{\varepsilon}_u(t) = \begin{cases} \dot{\varepsilon}_{u1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\varepsilon}_{u2}, & t_1 < t \leq t_*, \end{cases} \quad (9)$$

задача (7) з урахуванням (8) зведена до задачі нелінійного програмування

$$\begin{aligned} \varepsilon_* = \dot{\varepsilon}_{u1} \cdot t_1 + \dot{\varepsilon}_{u2} \cdot (t_* - t_1) \rightarrow \max, \\ \left(\frac{t_*}{t_{*1}}\right)^n + \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*2}}\right)^n - \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*1}}\right)^n = 1, \\ t_1 \leq t_{*1}, \end{aligned} \quad (10)$$

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

У 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 (10) зведена до задачі визначення оптимального значення функції одного аргументу. Згідно з отриманим рішенням оптимальною є схема, для якої  $\dot{\varepsilon}_{u1} > \dot{\varepsilon}_{u2}$  (!). Наведені результати дозволяють припустити, що оптимальні розв'язки поставлених варіаційних задач (6) та (7) існують і для багатьох інших класів допустимих функцій.

Задача подальших досліджень полягатиме у побудові моделі підсумовування пошкоджень, окремі випадки якої зводитимуться до критеріальних співвідношень (3) та (10).

UDC 621.77

Mykhalevych V.M., doctor of technical science, professor; Kraevskiy V.O., candidate of Science (engineering), assistant professor; Dobraniuk Yu.V., candidate of science (engineering), senior lecture  
Vinnitsia National Technical University. Vinnitsa, Ukraine

### FORMULATING AND SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS IN DETERMINING THE LIMIT STATE UNDER NONSTATIONARY DEFORMATION OF THE CYLINDRICAL WORKPIECE

One of the most common deformation processes is face-end compression, which is used as the main part of the process of manufacturing workpiece, and also as a way to study the physical and mechanical properties of materials. As is known, during the face-end compression of cylindrical workpieces from little plastic material on the lateral surface the cracks are formed. Moreover, the degree of compression at which cracks appear, depends on the barrel distortion intensity on the lateral surface. In turn, the intensity barrel distortion is determined by the friction conditions at the face of the workpiece.

In this paper, the mathematical model and information technology of the material plastic strains limit determining on the free lateral surface of cylindrical workpiece during face-end compression at cold and hot deformation is prompted.

Research of stress-strain state of cylindrical workpiece at nonstationary strain is conducted through improved experimental and analytical research methods of stress-strain state cylindrical workpieces during face-end compression. According to which analytical expression between strains in the form of solution of a differential equation with separated variables is received:

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

where  $m > 0$  – a constant, which is determined during the experimental research.

Stressed state determined using flow theory. Limit strain was determined using scalar and tensor models of accumulation the damages.

The simplest scalar Kolmogorov model, based on the principle of linear accumulation of damages

$$\psi(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_{*c}[\eta(\varepsilon_u)]}, \quad (2)$$

using a parametric representation of relation (1) takes the following form

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

where  $\psi$  – damage of microparticles;  $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta)$  – limit strain curve at stationary deformation;  $\varepsilon_u$  – accumulated plastic strain;  $\eta$  – stress state index;  $x$  – parameter of deformation process.

If there is a hot deformation, the limit plastic deformation depends on the law of the change strain rate too. Features mechanics summation damage under these conditions can be reflected by the scalar version of the well-known model

$$\psi(t) = \int_0^t \varphi(t - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau, \quad (4)$$

( $t, \tau$  – time;  $\varphi(t-\tau, I(\tau))$  – heredity kernel;  $f$  – some function). Taking into account the dependence of cumulative deformation  $\varepsilon_u$  on strain rate  $\dot{\varepsilon}_u$

$$\varepsilon_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau. \quad (5)$$

two important for practice variational problems of isoperimetric type are formulated. The first problem is formulated as follows: to define the strain rate change law  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  at which preset cumulative deformation  $\varepsilon_*$  is achieved in the shortest time  $t_*$  provided that  $\psi(t_*) = 1$

$$t_* = t_*(\dot{\varepsilon}_u(t)) \rightarrow \min, \quad \varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \quad \int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \quad (6)$$

The second problem formulation: to define the strain rate change law  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  at which for preset time  $t_*$  the material gets the greatest deformation  $\varepsilon_*$  provided that  $\psi(t_*) = 1$

$$\begin{aligned} \varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau \rightarrow \max, \\ \int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \end{aligned} \quad (7)$$

Necessary conditions of extremum existence (7) are carried out only in trivial cases which have no practical importance. In the statement (7) an important condition which from the physical point of view displays that destruction of material cannot occur till  $t_*$  was not taken into account, i.e.

$$\int_0^t \varphi(t-\tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau \leq 1, \quad \forall t \in (0, t_*). \quad (8)$$

By feasible functions region reduction to the piecewise constant functions class, specifically for two-level schemes

$$\dot{\varepsilon}_u(t) = \begin{cases} \dot{\varepsilon}_{u1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\varepsilon}_{u2}, & t_1 < t \leq t_*, \end{cases} \quad (9)$$

the problem (7) subject to (8) is converted to the nonlinear programming problem

$$\begin{aligned} \varepsilon_* = \dot{\varepsilon}_{u1} \cdot t_1 + \dot{\varepsilon}_{u2} \cdot (t_* - t_1) \rightarrow \max, \\ \left(\frac{t_*}{t_{*1}}\right)^n + \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*2}}\right)^n - \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*1}}\right)^n = 1, \\ t_1 \leq t_{*1}, \end{aligned} \quad (10)$$

in which efficiency function depends on three unknown variables  $\dot{\varepsilon}_{u1}, \dot{\varepsilon}_{u2}, t_1$ .

Here  $t_{*i} = t_{*c}(\dot{\varepsilon}_{ui})$ ,  $i = 1, 2$ ;  $t_{*c}$  – known function which characterises the material properties. By the instrumentality of the Lagrang's multipliers method the problem (10) has been convert to the problem of finding of one-variable function optimum value. According to the found solution optimum scheme is the one where  $\dot{\varepsilon}_{u1} > \dot{\varepsilon}_{u2}$  (!). The received result allows to assume, that optimal resolution of the variational problems (6) and (7) exist for many other feasible functions classes.

The task of further research will be to construct a model of damage summation, special cases of which are reduced to the criterion relations (3) and (10).

УДК 621.77

Михалевич В. М., д.т.н., проф.; Краевский В. А., к.т.н., доцент.; Добранюк Ю. В., к.т.н., ст. преп.  
Винницький національний технічний університет, г. Вінниця, Україна

## ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Одним из самых распространенных процессов деформирования есть торцевое сжатие, которое является составной частью технологического процесса изготовления деталей, а также используется и в качестве способа исследования физико-механических свойств материалов. Как известно, при торцевом сжатии цилиндрических заготовок из малопластичных материалов на боковой поверхности образуются трещины. Причем степень сжатия, при которой появляются трещины, зависит от интенсивности бочкообразования на боковой поверхности. В свою очередь интенсивность бочкообразования определяется условиями трения на торцах заготовки.

В данной работе предложена математическая модель и информационные технологии определения предельных пластических деформаций материала на свободной боковой поверхности цилиндрической заготовки при торцевом сжатии в условиях холодного и горячего деформирования.

Исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрической заготовки при нестационарном деформировании проведено на основе совершенствования экспериментально-аналитической методики исследования НДС цилиндрических заготовок при торцевом сжатии. В соответствии с указанной методикой получено аналитическое описание зависимости между деформациями в виде решения дифференциального уравнения с разделяющимися переменными:

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

где  $m > 0$  – константа, определяемая на основе экспериментальных данных.

Напряженное состояние определяли с использованием теории течения. Предельные деформации определяли с использованием скалярных и тензорных моделей накопления повреждений.

Простейшая скалярная модель Колмогорова, базирующаяся на линейном принципе накопления повреждений

$$\psi(\varepsilon_u) = \int_0^{\varepsilon_u} \frac{d\varepsilon_u}{\varepsilon_{*c}[\eta(\varepsilon_u)]}, \quad (2)$$

при использовании параметрического представления зависимости (1), принимает следующий вид

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

где  $\psi$  – поврежденность макрочастицы;  $\varepsilon_{*c} = \varepsilon_{*c}(\eta)$  – кривая предельных деформаций при стационарном деформировании;  $\varepsilon_u$  – накопленная пластическая деформация;  $\eta$  – показатель напряженного состояния;  $x$  – параметр процесса деформирования.

При горячем деформировании предельная пластическая деформация существенным образом зависит от закона изменения скорости деформаций. Особенности механики

суммирования повреждений в этих условиях могут быть отражены скалярным вариантом известной модели

$$\psi(t) = \int_0^t \varphi(t-\tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau, \quad (4)$$

( $t, \tau$  – час;  $\varphi(t-\tau, I(\tau))$  – ядро наследственности;  $f$  – некоторая функция). С учетом зависимости накопленной деформации  $\varepsilon_u$  от скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_u$

$$\varepsilon_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau. \quad (5)$$

сформулированы две важные с практической точки зрения вариационные задачи изопериметрического типа. Первая задача формулируется так: определить закон изменения скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  при котором заданная накопленная деформация  $\varepsilon_*$  достигается за кратчайшее время  $t_*$  при условии, что  $\psi(t_*) = 1$

$$t_* = t_*(\dot{\varepsilon}_u(t)) \rightarrow \min, \quad \varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau, \quad \int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \quad (6)$$

Формулирование второй задачи: определить закон изменения скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_u(t)$  при котором за заданное время  $t_*$  материал способен накопить наибольшую деформацию  $\varepsilon_*$  (при условии, что  $\psi(t_*) = 1$ )

$$\varepsilon_* = \int_0^{t_*} \dot{\varepsilon}_u(\tau) \cdot d\tau \rightarrow \max, \quad \int_0^{t_*} \varphi(t_* - \tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau = 1. \quad (7)$$

Необходимые условия существования экстремума (7) выполняются только в тривиальных случаях, которые не имеют практического значения. В данной постановке не учтено важное условие, которое из физических представлений отображает тот факт, что разрушение материала не может произойти до времени  $t_*$ , т.е.

$$\int_0^t \varphi(t-\tau; I(\tau)) \cdot f(\dot{\varepsilon}_u(\tau)) \cdot d\tau \leq 1, \quad \forall t \in (0, t_*). \quad (8)$$

Показано, что при сужении области допустимых функций к классу кусочно-постоянных функций, в частности, для двухступенчатой схемы

$$\dot{\varepsilon}_u(t) = \begin{cases} \dot{\varepsilon}_{u1}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ \dot{\varepsilon}_{u2}, & t_1 < t \leq t_*, \end{cases} \quad (9)$$

задача (7) с учетом (8) может быть сведена к задаче нелинейного программирования

$$\varepsilon_* = \dot{\varepsilon}_{u1} \cdot t_1 + \dot{\varepsilon}_{u2} \cdot (t_* - t_1) \rightarrow \max, \quad \left(\frac{t_*}{t_{*1}}\right)^n + \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*2}}\right)^n - \left(\frac{t_* - t_1}{t_{*1}}\right)^n = 1, \quad t_1 \leq t_{*1}, \quad (10)$$

в которой целевая функция зависит от трех неизвестных  $\dot{\varepsilon}_{u1}, \dot{\varepsilon}_{u2}, t_1$ .

В приведенном соотношении  $t_{*i} = t_{*c}(\dot{\varepsilon}_{ui})$ ,  $i = 1, 2$ ;  $t_{*c}$  – известная функция, которая характеризует свойства материала. С помощью метода множителей Лагранжа задача (10) сведена к задаче определения экстремального значения функции одного аргумента. Согласно полученному решению оптимальной является схема, для которой  $\dot{\varepsilon}_{u1} > \dot{\varepsilon}_{u2}$  (!). Приведенные результаты позволяют предположить, что оптимальные решения поставленных вариационных задач (6) и (7) существуют и для многих других классов допустимых функций.

Задача дальнейших исследований будет заключаться в построении модели суммирования повреждений, отдельные случаи которой сводиться к критериальным соотношениям (3) и (10).