

## ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ВИПЕРЕДЖАЮЧОЇ ТРІЩИНИ

Стаття присвячена експериментальному дослідженню технологічної операції перфорування деталей верху взуття. Отримано залежності глибини занурення різача до моменту виникнення випереджаючої тріщини від його швидкості та кута загострення.

The article is dedicated to the research of appearance of forestalling cracks and the problem of the most wide-spread technological operation, namely perforation of upper part of shoes details. The article also deals with the research of the process of cutter plunge into the material with different speed and experimental depth plunge dependence of a cutter before the forestalling cracks appear on its speed and peaking angle.

**Постановка проблеми.** При виготовленні літнього взуття, що містить відкриті зрізи або перфорацію, висувають підвищені вимоги щодо якості готової продукції. Оскільки перфорування деталей верху взуття являється операцією оздоблення виробу то доцільним є підвищення якості виконання перфорування, а саме покращення якості зрізу. Поряд з тим, при зануренні різача (просікача) в матеріал на певну глибину, виникає випереджаючий розрив в результаті концентрації напружень на вістрі лека різача [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] розглядається поетапний процес занурення різача в матеріал, а також приводиться опис фізичної взаємодії різача з матеріалом, що вирубується на кожному окремому етапі. Розглядаючи етап виникнення випереджаючої тріщини, що супроводжується розсовуванням матеріалу гранями лека різача, можна зробити висновок, що за певних умов можливе так зване „чисте” вирубування, а саме за умови:

$$\operatorname{tg}\beta_1 \cdot (f_n + f_1) + f_1 \cdot f_n = 1, \quad (1)$$

де  $\beta_1$  – кут загострення різача;

$f_n$  – коефіцієнт тертя між матеріалом та вирубною плитою;

$f_1$  – коефіцієнт тертя між лівою гранню різача і матеріалом.

Тоді оптимальне значення кута загострення:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{1 - f_1 \cdot f_n}{f_n + f_1}. \quad (2)$$

Отже, проаналізувавши попередні дослідження, можна зробити висновок, що можливе занурення різача в матеріал без випереджаючого розриву навіть при відносно малій (до 1 м/с) швидкості.

**Формулювання цілей статті.** З метою покращення якості виконання технологічної операції перфорування деталей верху взуття необхідно провести експериментальні дослідження процесу занурення різача в матеріал при різних швидкостях та значеннях кута загострення різача для встановлення умов виникнення випереджаючого розриву.

**Вклад основного матеріалу досліджень.**

При аналітичному дослідженні процесу виконання технологічних операцій вирубування та перфорування деталей верху взуття на пресовому обладнанні встановлено, що на характер та силу вирубування впливають коефіцієнти тертя в системі „різак-матеріал-плита” [1].

Відомо, що коефіцієнти тертя матеріалів, що застосовуються в різних галузях народного господарства, залежать від таких факторів, як температура та швидкість [4,5].

При використанні взуттєвих матеріалів, а саме натуральних та синтетичних шкір, коефіцієнти тертя можуть змінюватись в широкому діапазоні, причому зазвичай фізико-механічні властивості матеріалів менше впливають на коефіцієнти тертя, ніж зовнішні умови [6].

Для визначення коефіцієнтів тертя в системі „різак-матеріал-плита” було розроблено експериментальну установку, яка зображена на рис. 1.

Визначення коефіцієнтів тертя відбувалось згідно рекомендацій [6], при температурі навколишнього середовища 20°C та відносній вологості повітря 85 %. При визначенні коефіцієнтів тертя сталі по шкірі використовувався зразок вагою 3 кг та шорсткістю поверхні Ra 0,4 мкм, що відповідає шорсткості поверхні лека різача після загострення. При визначенні коефіцієнта тертя між плитою і шкірою використовувалися плити після фрезерування.

В результаті проведення експерименту, за допомогою динамометра 4 (рис. 1), було визначено силу тертя, що виникає між матеріалами 2 та 3. Знаючи силу тертя визначався коефіцієнт тертя для даної пари

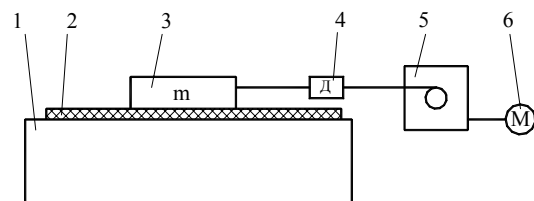


Рис. 1. Експериментальна установка для визначення коефіцієнтів тертя:

1 – стіл; 2 – шкіра; 3 – вага-зразок; 4 – динамометр; 5 – черв'ячний редуктор; 6 – двигун

згідно залежності [7]:

$$f = \frac{F}{G}, \quad (3)$$

де  $F$  – сила тертя, Н;  
 $G$  – вага вантажу.

Результати експерименту зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Матеріал	Коефіцієнти тертя в системі „різак-матеріал-плита”			
	Коефіцієнти тертя $\pm 1\%$			
	Вельюр	Напівшкірок	Виросток	Опойок
Сталь	0,76	0,61	0,65	0,59
Алюміній	0,62	0,58	0,60	0,56
ПВХ	0,78	0,76	0,76	0,64
Поліетилен	0,75	0,72	0,73	0,63
Поліпропілен, поліамід	0,69	0,65	0,64	0,61

За результатами експериментальних досліджень (табл. 1) встановлено, що коефіцієнти тертя в системі „різак-матеріал-плита” змінюються в досить широких межах. Як зазначено від коефіцієнтів тертя в системі, що розглядається, залежить чистота обробки матеріалу та глибина занурення різака в матеріал до початку виникнення випереджаючої тріщини. Тому, для спрощення розрахунку технологічного зусилля вирубування, виконане групування коефіцієнти тертя в системі „різак-матеріал-плита” на декілька пар тертя, як це показано в табл. 2.

Таблиця 2

Пара тертя матеріал – плита	Пара тертя різак – матеріал		
	$f = 0,58 \dots 0,65$	$f = 0,66 \dots 0,72$	$f = 0,72 \dots 0,78$
$f = 0,58 \dots 0,65$	5	4	3
$f = 0,66 \dots 0,72$	4	3	2
$f = 0,72 \dots 0,78$	3	2	1

Дане групування коефіцієнтів тертя по парах дозволить також зменшити інтервал варіювання при проведенні подальших експериментальних досліджень.

#### *Дослідження умов виникнення випереджаючої тріщини матеріалу*

Як згадувалося раніше, при зануренні різака в матеріал, можливе виникнення випереджаючої тріщини, тобто розриву матеріалу перед вістрям леза різака. В цьому випадку поверхня розриву буде шорсткою. Це особливо небажано для операції ”перфорування деталей верху”, коли погіршується якість деталей верху взуття, а також для деталей, що мають видимі зрізи. Тому необхідно досягти якомога більшого занурення різака в матеріал до повного вирубування деталі.

Розвиток тріщини в околі вістря пов’язаний із значною концентрацією та перерозподілом напружень [8,9]. Даний перерозподіл напружень залежить від багатьох, як явних так і прихованих, факторів. Згідно запропонованої теорії вирубування [1], до їх числа, крім фізико-механічних властивостей матеріалу, також можна віднести вплив матеріалу вирубної плити та шорсткості її поверхні, кут загострення різака та величину притуплення його вістря, а також коефіцієнти тертя між бічними гранями різака і матеріалом та матеріалом і плитою.

Оскільки в процесі вирубування, в результаті занурення різака у верхні прошарки вирубної плити, шорсткість останньої змінюється, виникає необхідність експериментально дослідити вплив матеріалу вирубної плити на умови виникнення випереджаючої тріщини. З огляду технічної літератури встановлено, що при швидкісному вирубуванні, на пресовому обладнанні з ЛЕМД, різак занурюється в матеріал глибше до початку його розриву, в результаті поверхня різання буде чистішою [10]. Це можна пояснити тим, що можливо швидкість занурення різака більша швидкості створення випереджаючої тріщини. Хоча це гіпотеза яку необхідно перевірити в подальших дослідженнях.

В зв’язку з цим слід врахувати вплив швидкості на глибину занурення різака в матеріал.

#### *Методика проведення експерименту*

Для дослідження впливу швидкості вирубування на глибину занурення різака в матеріал, до початку виникнення випереджаючого розриву було розроблено експериментальну установку, що представлена на рис. 2.

При дослідженні впливу швидкості вирубування на глибину занурення різака в матеріал на поверхню датчика тиску встановлювався зразок вирубної плити та матеріалу.

Суть експерименту полягає в наступному. Вантаж  $m$  масою  $m$ , падаючи з висоти  $h$ , приводить в дію різак 3, який в свою чергу занурюється в матеріал. Динамічне зусилля опору зануренню різака в матеріал фіксувалось за допомогою датчика тиску 1, підсилювача, АЦП та ЕОМ. В якості АЦП

використовувався зразок промислового виробництва ADS 16-32, час перетворення якого становить 12 мкс. Так само як і при проведенні експерименту по визначенню впливу швидкості на зусилля опору зануренню

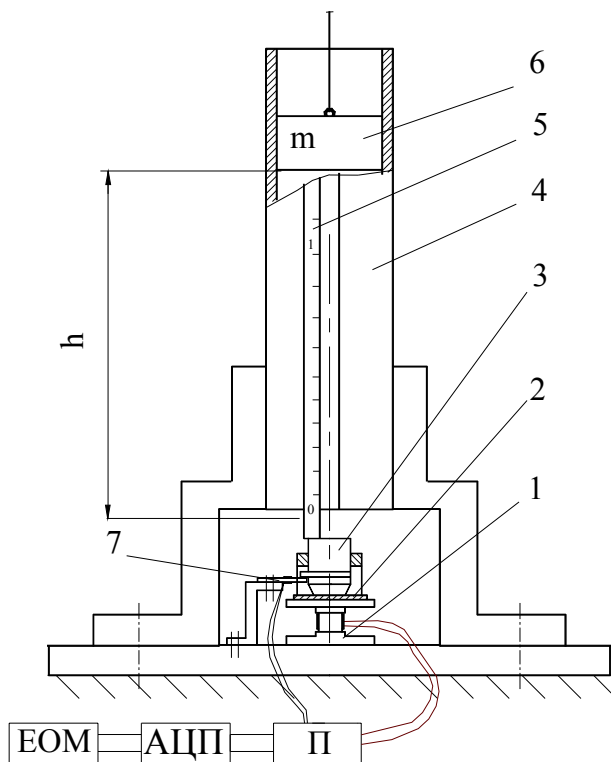


Рис. 2. Експериментальна установка для визначення динамічного зусилля опору занурення різаків в плити:  
 1 – датчик тиску; 2 – зразок матеріалу вирубної плити; 3 – різак; 4 – направляючий циліндр;  
 5 – вимірювальна лінійка; 6 – вантаж, 7 – тензометрична балка

різаків в матеріал плити використовувалась набір різаків з кутами загострення 25°, 35°...55° та попередній набір вирубних плит. В якості матеріалу – шкіри хромового дубіння товщиною 0,8...1,2 мм.

Мінімальна енергія, що необхідна для повного вирубання визначалась експериментальним шляхом.

Кидаючи вантаж 6 масою  $m$  в направляючому циліндрі 4 (рис. 2), шляхом підбору висоти  $h$ , за допомогою тензометричної балки 7, підсилювача, АЦП та ЕОМ фіксувалось занурення різаків в матеріал.

Швидкість  $V_{зан}$  в момент початку занурення різаків в матеріал плити визначалась за формулою [10]:

$$V_{зан} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

Для того, щоб занурення різаків відбувалось при різних швидкостях в ході експерименту змінювалась маса та висота падіння вантажу. В результаті експерименту було встановлено мінімальні висоти підйому вантажу для різних його мас при гарантованому вирубванні. Потім по них була розрахована швидкість різаків в момент занурення в кожному випадку. Далі експериментальним шляхом за допомогою підсилювача, АЦП та ЕОМ було знято графічні залежності динамічних зусиль занурення в матеріали, що досліджувались.

Проаналізувавши отримані графічні залежності занурення різаків в матеріал від часу, що фіксувались за допомогою тензометричної балки 7, можна вважати швидкість занурення різаків в матеріал постійною. Приймаючи це до уваги при аналізі графічних залежностей динамічного зусилля від занурення різаків, що фіксувалось за допомогою датчика тиску 1, отримані залежності максимальної глибини занурення різаків в матеріал, до початку виникнення випереджаючого розриву, від швидкості занурення.

На рис. 3 представлена графічна залежність динамічного зусилля від часу занурення різаків в матеріал. Знаючи товщину матеріалу та швидкість занурення різаків в матеріал, на діаграмі наносилась теоретична точка  $\Gamma$  закінчення занурення різаків в матеріал, тобто за умови різання до кінця. Також визначали точку початку вирубання  $A$  та виникнення тріщини  $B$ . За даними точками визначалась глибина занурення різаків до початку виникнення випереджаючого розриву.

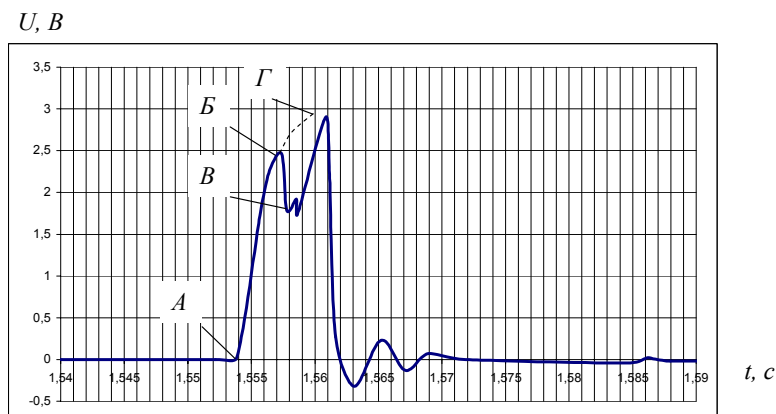


Рис. 3. Діаграма зміни динамічного зусилля ( $U, B$ ) від часу при зануренні різаків в матеріал:  
 А – початок занурення різаків в матеріал, Б – початок виникнення випереджаючого розриву,  
 В – контакт різаків з вирубною плитою, Г – теоретична точка закінчення занурення різаків.

#### Обробка результатів експерименту

Перед проведенням кожного із розглянутих вище експериментів методами математичної статистики визначалась мінімальна кількість дослідів, що забезпечує необхідну точність вимірів [11]. Дані, отримані в результаті проведення серії експериментів за вище викладеними методиками, оброблялись методами

математичної статистики та за допомогою пакету прикладних програм "Numeri" [12].

Проведення експериментальних досліджень та обробка отриманих даних здійснювалось згідно алгоритму, що представлено на рис. 4.

На рис. 5 зображено одна з отриманих залежностей глибини занурення різаків в матеріал до початку виникнення випереджаючої тріщини від швидкості його занурення для першої пари тертя системи „різак-матеріал-плита”, що представлено в табл. 2.

За визначеними графічними залежностями можна встановити глибину занурення різаків в матеріал залежно від матеріалу вирубної плити, кута загострення різаків та швидкості його занурення.

В результаті проведених експериментальних досліджень отримано графічні залежності, що дозволяють визначити глибину занурення різаків в матеріал до початку виникнення випереджаючого розриву. Дані залежності використовуються для коректування значення технологічного зусилля згідно методики приведеної в роботі [1].

З рис. 5 видно, що збільшення швидкості вирубання призводить до збільшення глибини занурення різаків в матеріал до початку виникнення випереджаючого розриву. Аналогічна картина спостерігається і при зменшенні кута загострення різаків.

На рис. 6 зображено фотознімки зрізу без розриву натуральної шкіри, що отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. На рис. 7 представлено фотознімки шкіри, що отримані в результаті швидкісного та умовно статичного вирубання.

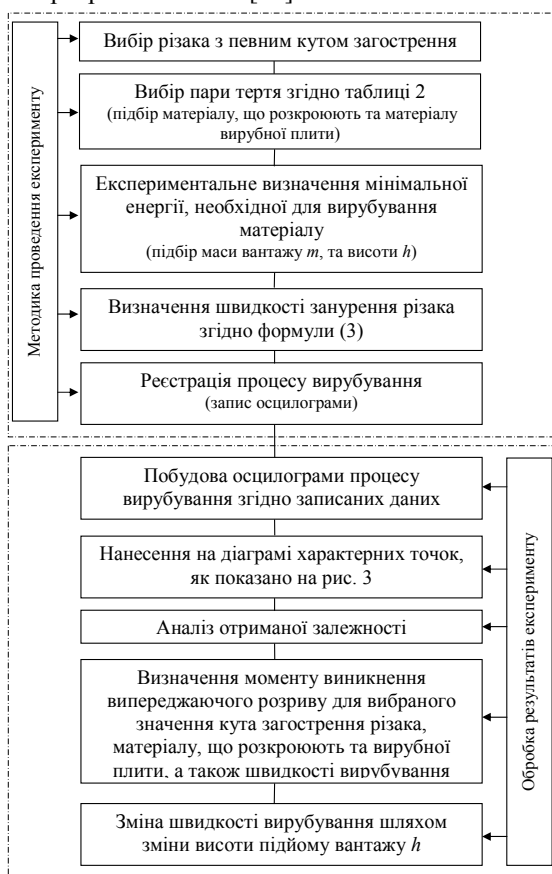


Рис. 4. Алгоритм дослідження умов виникнення випереджаючого розриву

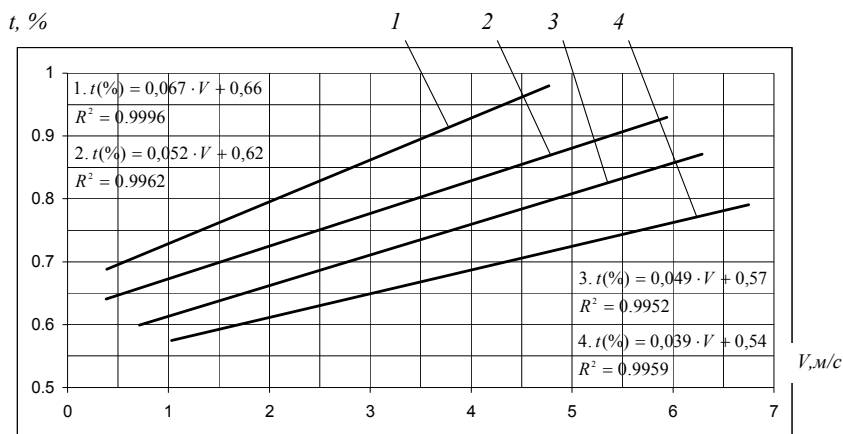


Рис. 5. Залежність глибини занурення різаків в шкіру до початку виникнення випереджаючої тріщини від швидкості його занурення для першої пари тертя:  
 1 – β=25°, 2 – β=35°, 3 – β=45°, 4 – β=55°

Фотознімки зрізів представлені на рис. 7, а отримані в результаті вирубання на магнітно-імпульсному пресовому обладнанні при швидкості ударника  $V_{вир} = 12$  м/с. На рис. 7,б представлено фотознімки зрізів, що отримані в результаті вирубання на пресі ПВГ 8– 2– 0.

Отже в результаті використання високоефективного та швидкісного магнітно-імпульсного пресового обладнання забезпечується економія енергоресурсів та зменшення витрат часу на виготовлення взуття в цілому за рахунок чистого різання. При виконанні технологічної операції перфорування деталей верху взуття поряд із покращенням якості обробки підвищується міцність верху готового виробу.

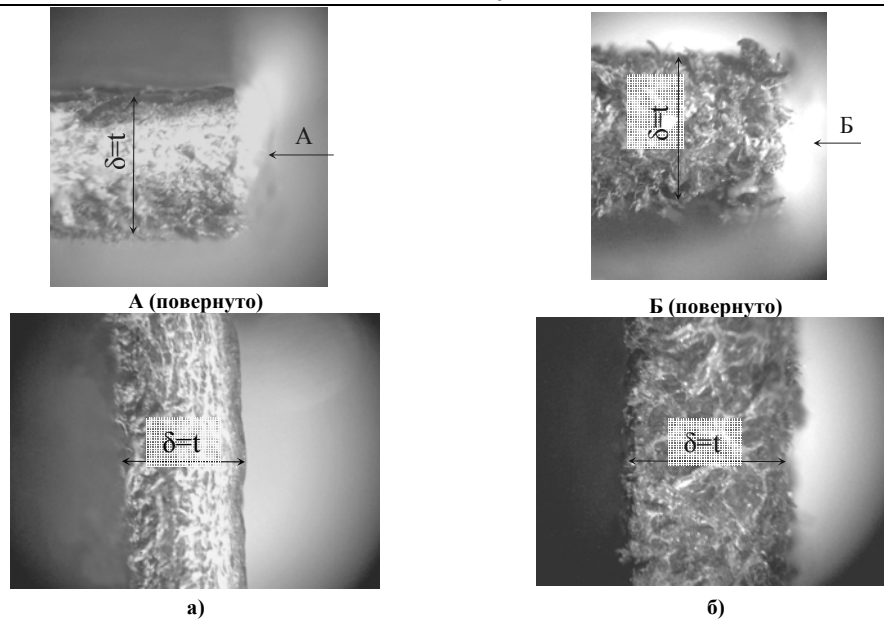


Рис. 6. Фотознімки зрізу натуральної шкіри без розриву: а – виросток, б – велюр, де  $\delta$  – товщина матеріалу,  $t$  – глибина занурення різачка в матеріал до початку виникнення випереджаючого розриву

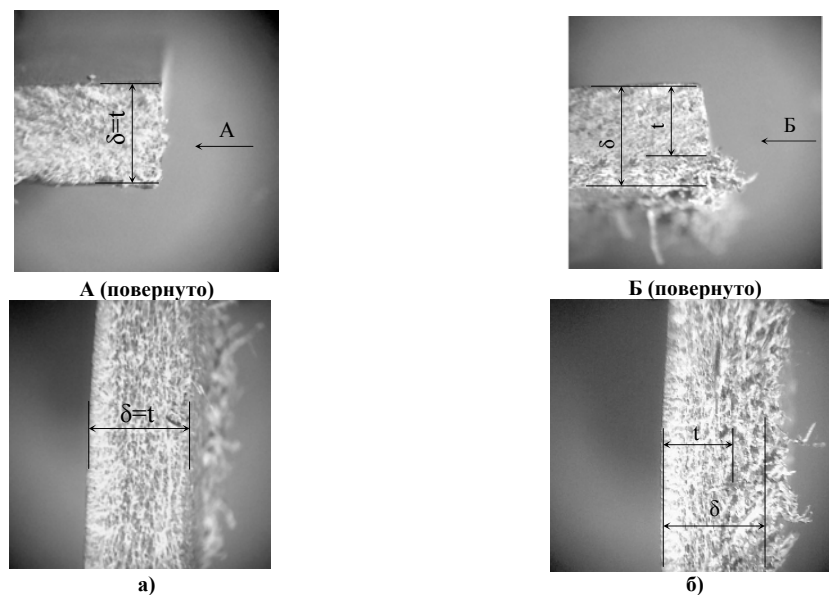


Рис. 7. Фотознімки зрізу натуральної шкіри – опойку: а – зріз отриманий в результаті швидкісного вирубубання, б – зріз отриманий в результаті умовно статичного вирубубання, де  $\delta$  – товщина матеріалу,  $t$  – глибина занурення різачка в матеріал до початку виникнення випереджаючого розриву.

#### Висновок.

З метою покращення якості виконання технологічної операції перфорування, проведено більш глибоке вивчення процесу занурення різачка в матеріал. В результаті проведення експериментальних досліджень встановлено залежність глибини занурення різачка до моменту виникнення випереджаючої тріщини від його швидкості та кута загострення.

#### Література

1. Кармаліта А.К., Поліщук О.С., Прибега Д.В. Дослідження процесу вирубубання деталей взуття в статичному режимі // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 6 Ч. 1, Т. 2. – С. 199 – 202.
2. Лебедев В.С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания: Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 336 с.
3. Базюк Б. Г. Резание и режущий инструмент в швейном производстве. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 192 с.
4. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения: Справочное пособие. – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.
5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

6. Фридлянд А.А. Основы механической технологии кожи. – М.: Гизлегпром, 1963. – 262 с.
7. Савельев И.В. Курс физики: Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит., 1989. – Т.1 – 352 с.
8. Корнілов О.А. Опір матеріалів. – К.: Логос, 2000. – 551 с.
9. Корнілов О.А. Основы механики разрушения. К.: КПИ, 1984. – 40 с.
10. Поліщук О.С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості: Дис. ... к.т.н.: 05.05.10 / КНУТД. – К., 2001. – 155 с.
11. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
12. Шрюфер Е.Н. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.

Надійшла 3.2.2009 р.

УДК 685.34.054

А.К. КАРМАЛІТА, Д.В. ПРИБЕГА, Є.Р. ПИЛЬНИК  
Хмельницький національний університет

### АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ПРЕСОВОМУ ОБЛАДНАННІ З ЛІНІЙНИМ ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНИМ ДВИГУНОМ

*Стаття присвячена розробці математичної моделі розрахунку сили дії індукційно-динамічного приводу на робочий орган, в процесі виконання технологічних операцій при виготовленні деталей верху взуття. Отримано математичну модель виконання операції вирубування на пресовому обладнанні з індукційно-динамічним приводом.*

*The article covers elaboration of mathematical model of calculation of induction-dynamic device force action working part in the process of technological operations fulfillment in production of upper parts of shoes. The forces which appear in the system "press equipment-cutter-material-plate" are calculated in the article. Mathematical model connecting material properties, instruments parameters, cutting speed and LIDD parameters which lead to calculation of device parameters for different technological operations was elaborated on the basis of above mentioned forces. This calculation gives possibility to calculate LIDD for different technological operations of light industry which may lead to decrease of electricity expense and increase of the device and cutting instrument exploitation term.*

#### **Постановка проблеми**

На сьогоднішній день в легкій промисловості існує велика кількість технологічних операцій, що вимагають пресового обладнання із зворотно-поступальним рухом робочих органів. В роботі [1] описано можливість застосування імпульсного пресового обладнання для виконання технологічних операцій легкої промисловості. Проте, не було розроблено розрахунку тягового зусилля, який би спростив процес вибору та проектування обладнання.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

В [2, 3] було розроблено фізичні моделі процесу вирубування та перфорування на індукційно-динамічній установці, та проводився аналіз сил, що виникають в системі "пресове обладнання-різак-деталь-плита". Робота [2] присвячена розробці фізичної моделі вирубування деталей верху взуття на одновитковій індукційно-динамічній установці. Робота [3] присвячена перфоруванню деталей верху взуття на установці з багатовитковим ЛІДД в якості приводу. Проте в цих роботах не було приведено методики розрахунку головної складової, сили удару індукційно-динамічного двигуна.

В роботі [4] наведено аналітичну модель розрахунку індукційно-динамічного приводу, яка описує процес виштовхування індентора в напрямку від індуктора. Проте недоліком цієї моделі є те, що в розрахунку невраховані сили опору руху індентора та повернення його в початкове положення. На даний момент, практично немає досліджень в результаті яких була б отримана аналітична модель виконання технологічної операції вирубування на обладнанні з індукційно-динамічним типом приводу, яка б описала зв'язок між двигуном, режимами його роботи, конструктивними параметрами різачка, фізико-механічними властивостями матеріалів і якісно кількісними показниками процесу вирубування деталей верху взуття.

#### **Об'єкти та мета досліджень**

Для ефективного використання пресового обладнання з ЛІДД, як приводу для технологічних операцій легкої промисловості, а саме вирубування деталей верху взуття з натуральної та штучної шкіри, картону, текстилю у взуттєвому та швейному виробництвах, необхідно, перш за все, досягти адекватності технологічного зусилля силовим характеристикам ЛІДД. Дане узгодження дозволить отримати більш високі техніко-економічні показники пресового обладнання з індукційно-динамічним приводом, такі як: надійність, маса установки та її габарити, зносостійкість, строк експлуатації, енергоємність та ін. В результаті аналізу публікацій та технічної літератури по даній тематиці встановлено, що не існує методики розрахунку сили удару індукційно-динамічної