

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. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів. – 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

установки, що може бути застосована для виконання технологічних операцій в легкій промисловості.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо розрахунок приводу на основі технологічної операції вирубання, так як вона найчастіше використовується при виготовленні взуття. При складанні аналітичної моделі технологічного процесу вирубання пресовому обладнанні з індукційно-динамічним приводом приймаємо наступні припущення:

- радіальна складова прискорення дорівнює нулю;
- активний опір індуктора не залежить від температури;
- власна індуктивність контурів постійна, та не залежить від часу;
- паразитні опори дорівнюють нулю;
- лінійний індукційно-динамічний двигун ненасичений;
- струм, який протікає через обмотку постійний;
- після закінчення виконання технологічної операції вирубання система "індентор-різак" повністю витрачає накопичену кінетичну енергію.

При складанні аналітичної моделі технологічного процесу вирубання на пресовому обладнанні з індукційно-динамічним приводом було розглянуто рівняння руху індентора на ділянках $X_1 - X_2$ і $X_2 - X_3$ [2, 3].

На ділянці $X_1 - X_2$ індентор під дією індукційно-динамічної сили $F_{інд}$ починає рух з точки X_1 (рис.1) до точки X_2 . Також на супутник діє сила пружини $F_{пр}$, сила тертя $F_{тер}$, сила інерції $F_{ін}$ та вага індентора Q . Енергія, яка споживається з мережі, частково витрачається на виконання роботи по подоланню сил $F_{пр}$, $F_{тер}$ і $F_{ін}$, також на зміну енергетичного стану електромагнітного двигуна, тобто проходить накопичення кінетичної енергії.

Відповідно з принципом Даламбера, рівняння руху індентора на даній ділянці має наступний вигляд:

$$F_{ін} = F_{інд} - F_{пр} - F_{тер} + Q. \tag{1}$$

Ділянка $X_2 - X_3$. В момент X_2 починається виконання технологічної операції. На індентор діють ті ж самі сили, що і на ділянці $X_1 - X_2$, але до існуючих протидіючих сил $F_{пр}$ та $F_{тер}$ добавляється технологічне зусилля $F_{вир}$. З цього моменту сила інерції $F_{ін}$ буде направлена в протилежну сторону порівняно з ділянкою $X_1 - X_2$, тому що індентор починає рухатися зі сповільненням. Електрична енергія, що споживається з мережі, частково використовується на виконання корисної роботи та на подолання сил шкідливих опорів. Рівняння руху якоря для даної ділянки:

$$-F_{ін} = -F_{вир} + F_{інд} - F_{пр} - F_{тер} + Q. \tag{2}$$

Відповідно до закону збереження енергії можна записати енергетичний баланс системи «індуктор-різак-матеріал»:

$$E_k \geq A_{p.c.} + A_{k.c.} + A_{ш.o.}, \tag{3}$$

де E_k – кінетична енергія машини;

$A_{p.c.}$ – робота рухомих сил;

$A_{k.c.}$ – робота сил корисних опорів;

$A_{ш.o.}$ – робота сил шкідливих опорів.

Робота рухомих сил $A_{інд}$ – робота яку виконує двигун. До роботи корисних опорів належить робота

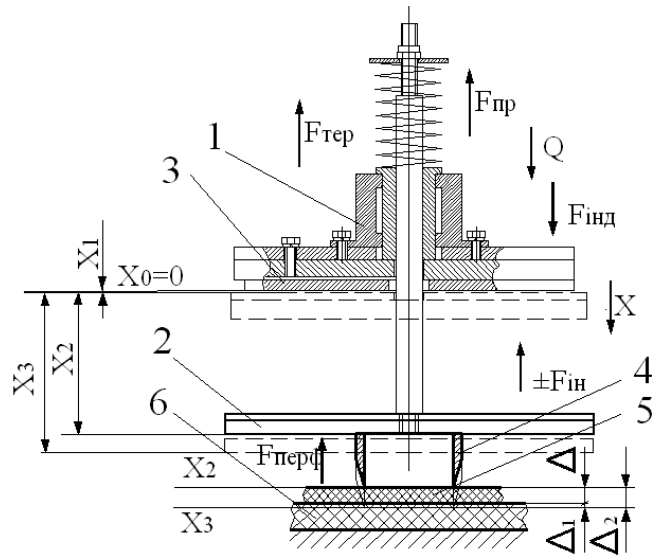


Рис. 1. Схема сил, що виникають в системі пресове "обладнання-різак-деталь" (з метою не загромождження малюнку сили показані не в місцях їх прикладення), при виконанні технологічної операції перфорування: 1- направляючі; 2-супутник (індентор) з прикріпленим ударником; 3-лінійний індукційно-динамічний двигун; 4- різак; 5-деталь; 6-вирубна плита; x -координата миттєвого положення супутника; x_0 -початок координат; x_1 -координата старту супутника; x_2 -координата початку перфорування; x_3 -координата кінця вирубання

сили ваги якоря $A_{ваги}$. Роботи сили тертя $A_{мер}$ та стискання пружини $A_{пр}$ є шкідливими, але енергія, яка запасається в пружині на завершальному етапі повертає ударник в початкове положення, тому стає роботою рухомих сил.

Силу виштовхування диску знаходимо з виразу, заснованого на теорії ланцюгів [4]

$$F_{инд} = i_1 i_2 \frac{dM}{dx} (1 - e^{-2\alpha x}), \quad (4)$$

де i_1, i_2 - струм індуктора та індентора відповідно;

M - коефіцієнт зв'язку контурів;

α - коефіцієнт дифузії поля;

x - аксіальна координата, що описує глибину проникнення (дифузії) імпульсного магнітного поля, $x > 0$.

Коефіцієнт зв'язку контурів знаходиться за формулою:

$$M = \frac{\Phi_1}{i_1}, \quad (5)$$

де Φ - магнітний потік.

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (6)$$

де B - магнітна індукція;

S - площа через яку проходить магнітний потік;

α - кут між магнітною індукцією та нормаллю до поверхні;

$$B = \mu_0 H, \quad (7)$$

де μ_0 - магнітна проникливість повітря, Гн/м.

H - напруженість магнітного поля в робочій зоні, А/м.

$$H_0 = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_M \cdot \rho_M \cdot \omega_P \cdot \delta}{\mu_0 \cdot e^{-\alpha \cdot \pi} \cdot \pi}}, \quad (8)$$

де V_M - швидкість супутника, м/с;

ρ_M - густина матеріалу супутника, кг/м³;

δ - товщина супутника;

μ_0 - магнітна проникливість повітря, Гн/м.

α - відносний коефіцієнт затухання;

ω_P - Робоча циклічна частота розрядного струму, с⁻¹

Робота сили пружності пружини зворотного ходу якоря [5]:

$$A_{пр} = \int F_{пр} dx. \quad (9)$$

Прийнявши, що:

$$F_{пр} = kx, \quad (10)$$

де k - жорсткість пружини.

Тоді:

$$A_{пр} = \int kx dx. \quad (11)$$

Робота сили тертя:

$$A_{мер} = \int F_{мер} dx. \quad (12)$$

Робота сили ваги рухомих частин [5]:

$$A_{ваги} = \int Q dx, \quad (13)$$

$$Q = mg, \quad (14)$$

$$A_{ваги} = \int mg dx. \quad (15)$$

де m - маса рухомих частин пресового обладнання з ЛІДД.

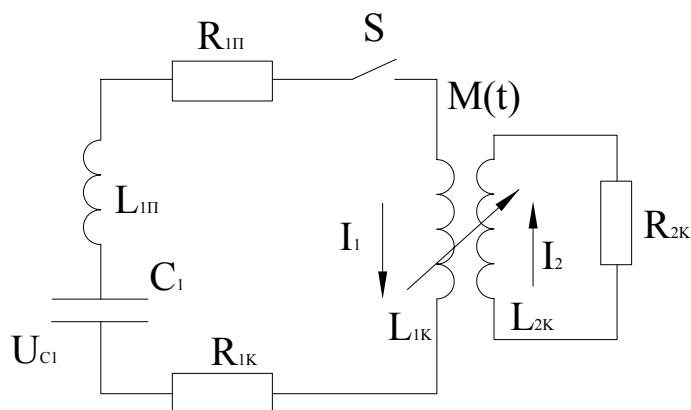


Рис. 2 Електрична схема заміщення індукційно-динамічного приводу з урахуванням індуктивності та шкідливих опорів: C_1 - ємнісний накопичувач; $R_{1п}, L_{1п}$ - паразитні опір та індуктивність розрядного контуру; $R_{1к}, L_{1к}$ - опір та індуктивність диску (індуктора); $R_{2к}, L_{2к}$ - опір та індуктивність диску (індентора); S - замикаючий пристрій; M - коефіцієнт зв'язку контурів; i_1, i_2 - струм індуктора та індентора відповідно

Робота сили вирубування:

$$A_{\text{вир}} = \int F_{\text{вир}} dx, \quad (21)$$

де $F_{\text{вир}}$ - миттєве значення сили вирубування.

Силу вирубування $F_{\text{вир}}$ можна знайти за відомими методиками, що наведені в роботах [8-10]. Найпоширеніша методика І.І. Капустіна, згідно якої сила вирубування знаходиться за формулою:

$$F_{\text{вир}} = qLk_{\Delta}k_{\beta}k_{\nu}, \quad (22)$$

де q – питома сила вирубування;

L – периметр леза різачка;

k_{Δ} – коефіцієнт, який враховує притуплення леза різачка;

k_{β} – коефіцієнт, який враховує кут загострення леза різачка.

Повна робота індукційно-динамічної сили ЛІДД $A_{\text{інд}}$ (дільниця $X_1 - X_3$) складається з роботи $A_{\text{інд1}}$ (дільниця $X_1 - X_2$) та роботи $A_{\text{інд2}}$ (дільниця $X_2 - X_3$).

Відповідно до рівняння (1) рух якоря на дільниці $X_1 - X_2$ можна описати рівнянням:

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} - \frac{m_1 V_0^2}{2} = A_{\text{інд1}} - A_{\text{нр}} - A_{\text{мер}} + A_{\text{ваги}}, \quad (23)$$

де m_1 – маса якоря та рухомих з ним частин (ударника);

V_0 – швидкість якоря в момент початку руху;

V_1 – швидкість якоря в момент початку виконання технологічної операції.

Роботу, яку повинен виконати ЛІДД на першій дільниці було визначено при умові, що початкова швидкість руху якоря $V_0 = 0$. Тоді:

$$A_{\text{інд1}} = A_{\text{нр}} + A_{\text{мер}} - A_{\text{ваги}} + \frac{m_1 V_1^2}{2}, \quad (24)$$

Підставивши (9, 17, 18, 19) в (24) було отримано:

$$A_{\text{інд1}} = \int kx dx + \int F_{\text{мер}} dx - \int m_1 g dx + \frac{m_1 V_1^2}{2}. \quad (25)$$

Підставивши в (25) координати початку і кінця дільниці $X_1 - X_2$ було визначено роботу індукційно-динамічної сили ЛІДД на ній:

$$A_{\text{інд1}} = \int_{x_1}^{x_2} kx dx + \int_{x_1}^{x_2} F_{\text{мер}} dx - \int_{x_1}^{x_2} m_1 g dx + \frac{m_1 V_1^2}{2}. \quad (26)$$

Визначення роботи $A_{\text{інд2}}$.

Відповідно до рівняння (2) рух якоря на дільниці $X_2 - X_3$ можна описати рівнянням:

$$\frac{(m_1 + m_2) V_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) V_1^2}{2} = A_{\text{інд2}} - A_{\text{нр}} - A_{\text{мер}} + A_{\text{ваги}} - A_{\text{вир}}, \quad (27)$$

де m_2 - маса різачка.

$$A_{\text{інд2}} = A_{\text{нр}} + A_{\text{мер}} - A_{\text{ваги}} + A_{\text{вир}} - \frac{m_1 V_1^2}{2}. \quad (28)$$

Підставивши (9, 17, 18, 19, 22) в (28) було отримано:

$$A_{\text{інд2}} = \int kx dx + \int F_{\text{мер}} dx - \int m_1 g dx + \int F_{\text{вир}} dx - \frac{m_1 V_1^2}{2}. \quad (29)$$

Підставивши в (29) координати початку і кінця дільниці $X_2 - X_3$ було визначено роботу індукційно-динамічної сили ЛІДД на ній:

$$A_{\text{інд2}} = \int_{x_2}^{x_3} kx dx + \int_{x_2}^{x_3} F_{\text{мер}} dx - \int_{x_2}^{x_3} m_1 g dx + \int_{x_2}^{x_3} F_{\text{вир}} dx - \frac{m_1 V_1^2}{2}. \quad (30)$$

Роботу індукційно-динамічної сили ЛІДД на даних дільницях можна представити системою

рівнянь:

$$\begin{cases} A_{ин01} = \int_{x_1}^{x_3} kx dx + \int_{x_1}^{x_3} F_{мер} dx - \int_{x_1}^{x_3} m_1 g dx + \frac{m_1 V_1^2}{2} \\ A_{ин02} = \int_{x_2}^{x_3} kx dx + \int_{x_2}^{x_3} F_{мер} dx - \int_{x_2}^{x_3} m_1 g dx + \int_{x_2}^{x_3} F_{вуп} dx - \frac{m_1 V_1^2}{2} \end{cases} \quad (31)$$

Система рівнянь (31) є аналітичною моделлю технологічного процесу вирубання різних марок матеріалів на пресовому обладнанні з ЛІДД. Дана модель зв'язує властивості матеріалу, параметри інструменту, швидкість вирубання з однієї сторони та геометричні і енергетичні параметри електромагнітного двигуна з іншої. Вона дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в зоні вирубання та електромагнітному двигуні.

Проінтегрувавши системи рівнянь (31) та зробивши необхідні перетворення було отримано систему рівнянь:

$$\begin{cases} i_1 i_2 M (1 - e^{-2\alpha x}) (x_2 - x_1) = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) + \\ + F_{мер} (x_2 - x_1) - m_1 g (x_2 - x_1) + \frac{m_1 V_1^2}{2} \\ i_1 i_2 M (1 - e^{-2\alpha x}) (x_3 - x_2) = \frac{1}{2} k (x_3^2 - x_2^2) + \\ + F_{мер} (x_3 - x_2) - m_1 g (x_3 - x_2) - \frac{m_1 V_1^2}{2} + F_{вуп} (x_3 - x_2) \end{cases} \quad (32)$$

Дана система рівнянь розв'язується при відомих величинах факторів, які визначають конструктивні та електричні параметри пресового обладнання, технологічні параметри різачка і матеріалу, швидкість вирубання.

Висновки: Представлена аналітична модель зв'язує властивості матеріалу, параметри інструменту, швидкість вирубання з одного боку, та параметри ЛІДД з іншої, що дозволить проводити розрахунок параметрів приводу для різних технологічних операцій. Також такий розрахунок дозволяє розрахувати ЛІДД для різних технологічних операцій легкої промисловості, що призведе до зменшення енерговитрат, збільшення строку експлуатації обладнання та ріжучого інструменту.

Література

1. Перспективи застосування лінійних індукційно-динамічних двигунів в якості приводу пресового обладнання для виконання технологічної операції вирубання деталей взуття / Поліщук О.С., Пильник Є.Р., Прибега Д.В., Кармаліта А.К. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2006. – №2. Т.2 – С.94 -97.
2. Прибега Д.В., Кармаліта А.К., Поліщук О.С. Фізична модель процесу вирубання деталей взуття на магнітно-імпульсній установці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – №1. – С.178 -180.
3. Пильник Є.Р., Кармаліта А.К., Прибега Д.В. Фізична модель процесу перфорування деталей верху взуття на індукційно-динамічній установці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2007. – №5. – С. 35 -37.
4. Семенович М.Л. Магнитно-импульсный (индукционно-динамический) высокоскоростной привод для устройств испытания изделий на ударное воздействие: Дис. степ. канд. техн. наук: 05.02.02 – В., 2003. – с. 40.
5. Батигін Ю.В., Лавінський В.І. магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов. – Харьков 2002. – 92 с.
6. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. – Харьков «Вища школа» 1977. – с. 23.
7. Батигін Ю.В., Лавінський В.І., Хименко Л.Т. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий Харьков, 2003. – С. 40.
8. Капустин И. И. Резание и режущий инструмент в кожевеннообувном производстве. – М.:Гизлегпром, 1950. – С. 240.
9. Лебедев В. С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания. – М: Легпромбытиздат, 1991. – С. 336.
10. Базюк Г.П. Резание и режущий инструмент в швейном производстве. – М. Ллегкая индустрия, 1980. – С. 55.

Надійшла 8.2.2009 р.