

УДК 621.9.048.6

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОЛИВАННІ НОЖА

Радченко С. П., Місяць В. П.

Київський національний університет технологій та дизайну

Метою дослідження є вивчення процесу і основних закономірностей вібраційного різання матеріалів взуттєвого виробництва, розробка основ розрахунку раціональних параметрів технологічних процесів для створення ультразвукових різальних пристроїв.

Методика. Методологічною і теоретичною основою дослідження служать основні положення теоретичної механіки, теорії коливальних процесів, диференціальне числення.

Результати. Проведено математичний аналіз зв'язків між опором різанню і рухами, які здійснює різальна кромка при двовимірному різанні з вібраціями. Представлено схему взаємодії ножа з матеріалом при ультразвуковому різанні. Отримано формулу для визначення критичної швидкості різання, при якій ніж постійно контактує з матеріалом і механізм, характерний для вібраційного різання, повністю зникає. Визначено проміжок руху ножа протягом одного циклу його коливань, на якому відбувається різання.

Наукова новизна. Вперше теоретично обґрунтовано вплив амплітуди і частоти ультразвукових коливань різального інструменту на силові показники процесів різання матеріалів і можливість зменшення зусилля опору різанню при вібрації ножа з ультразвуковою частотою.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкцій машин для різання матеріалів шляхом використання ультразвукових пристроїв.

Ключові слова: різання, ультразвук, механічні коливання, амплітуда, частота, швидкість різання, сила різання

У виробництві взуття і шкіргалантерейних виробів процеси різання матеріалів використовують при виконанні багатьох технологічних операцій [1]. Одним з основних якісних показників процесів механічного різання є зусилля опору рухові інструменту, яке в свою чергу впливає на енергетичні витрати, точність форми деталей, якість оброблюваних поверхонь а також довговічність і надійність роботи обладнання. Тому створення технологічних процесів, при яких зусилля різання може бути зменшено без кардинального змінення фізичного способу здійснення операцій і з використанням типового обладнання є актуальною задачею.

В сучасній вітчизняній і зарубіжній практиці знайшли широке поширення технологічні процеси з використанням ультразвукових механічних коливань (вібрацій) [2]. Вібраційні машини своїми робочими органами чинять на оброблювані середовища

коливальну дію, що часто призводить до сильної інтенсифікації окремих технологічних процесів.

Постановка завдання

Для виявлення закономірностей процесу ультразвукового різання необхідно теоретично проаналізувати зв'язки між опором різанню і рухами, які здійснює різальна кромка.

Об'єкт дослідження: технологічні процеси механічного різання матеріалів при коливанні інструменту з ультразвуковою частотою.

Предмет дослідження: технологічні операції різання матеріалів рухливим ножом при його коливанні з ультразвуковою частотою, що характеризуються силовою взаємодією, з об'єктом обробки.

Мета дослідження: вивчення процесу і основних закономірностей вібраційного різання матеріалів взуттєвого виробництва, розробка основ розрахунку раціональних параметрів технологічних процесів і створення ультразвукових різальних пристроїв.

Результати досліджень

Для виявлення закономірностей процесу ультразвукового різання доцільно проаналізувати зв'язки між опором різанню і рухами, які здійснює різальна кромка. Розрахункова схема для аналізу двовимірного різання з вібраціями представлені на рис. 1. В процесі різання ніж здійснює коливання з частотою V і амплітудою a у напрямі головної складової сили різання $F_{риз}$, показаному стрілкою.

Прийняті наступні позначення: a - амплітуда коливань ножа; V - частота коливань ножа; $T = 1/V$ - період коливань ножа; ω - кругова частота коливань; y - переміщення ножа; $V_{кол}$ - швидкість коливань ножа; $V_{риз}$ - швидкість різання; t_1 - час, за який ніж проходить від початкової точки O до відділення його від поверхні матеріалу, тобто до моменту, коли швидкість коливань порівнюється із швидкістю різання (коливання різця починається від точки O і напрям різання співпадає з напрямом коливань); t_2 - час, відлічуваний з того моменту, коли ніж знаходився в початковій точці O , до моменту, коли він вступає в контакт з оброблюваним матеріалом (напрям коливань співпадає з напрямом різання); t_c - час (тривалість) різання в одному циклі коливань ножа; l_T - довжина різання у напрямі різання в одному циклі коливань ножа; V_c - критична швидкість.

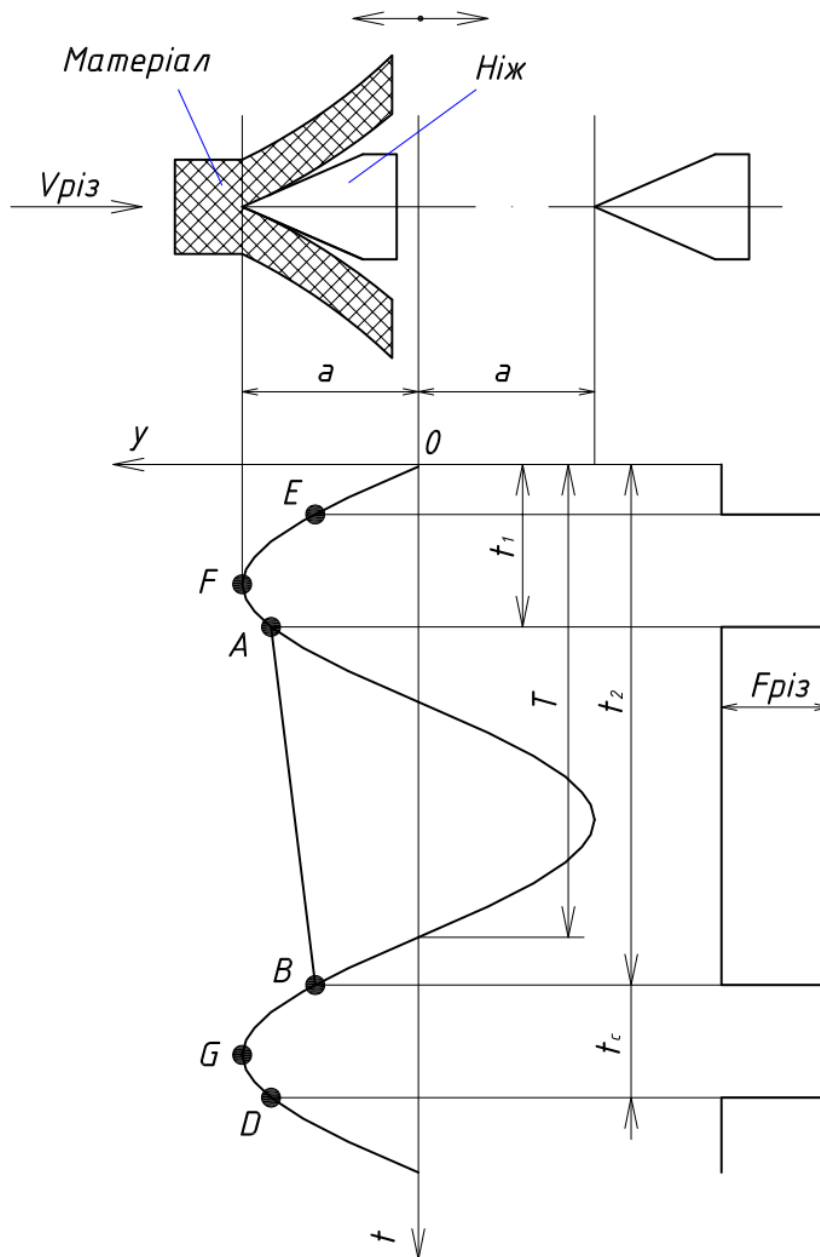


Рис. 1. Схема взаємодії ножа з матеріалом при ультразвуковому різанні

Нехай коливання ножа починаються від деякої початкової точки O (рис. 1). На ділянці $EFA - BGD$ діє імпульсна сила різання $F_{різ}$. На відстані від точки A до точки B матеріал не контактує з поверхнею ножа. У точці B ніж знову починає контактувати з матеріалом. На ділянці BGD знову діє імпульсна сила $F_{різ}$. За даною схемою ніж багаторазово і регулярно вступає в контакт з матеріалом і відділяється від нього.

Час відділення ножа від деталі t_1 .

Переміщення ножа у описується формулою:

$$y = a \cdot \sin \omega t. \quad (1)$$

Швидкість ножа визначається диференціюванням:

$$\frac{dy}{dt} = a \cdot \omega \cdot \cos \omega t. \quad (2)$$

Момент часу при якому передня поверхня ножа починає відділятися від матеріалу, настає тоді, коли при русі ножа назад швидкість коливань порівнюється із швидкістю різання $V_{\text{різ}}$. На схемі (рис. 1) це відбувається в точках A і D . Точці A відповідає час t_1 а точці D – час $t_1 + T$. Тому можна записати:

$$-V_{\text{різ}} = a \cdot \omega \cdot \cos \omega t_1. \quad (3)$$

З рівняння (3) можна визначити час t_1 . Слід зазначити, що при $V_{\text{різ}} > a \cdot \omega$ рівняння (3) не може бути вирішене відносно t_1 . Це означає, що в процесі різання матеріал і ніж не відокремлюються, тобто механізм обробки аналогічний спостережуваному при звичайному різанні.

Критична швидкість різання V_c . Якщо швидкість різання $V_{\text{різ}}$ виявляється рівною $a \cdot \omega$, то ніж постійно контактує з матеріалом. При цьому механізм, характерний для вібраційного різання, повністю зникає, і діє механізм звичайного різання. Така швидкість різання називається критичною і може бути визначена по формулі:

$$V_c = a \cdot \omega = 2\pi \cdot a \cdot \nu. \quad (4)$$

Час різання t_c за один цикл коливань ножа. Після відділення ножа від матеріалу (в точці A) він продовжує рухатися у напрямі різання зі швидкістю $V_{\text{різ}}$. Переміщення матеріалу відповідно до рис. 1 може бути описано формулою:

$$y = a \cdot \sin(\omega \cdot t_1) - V_{\text{різ}}(t - t_1). \quad (5)$$

Для точки B можна записати:

$$a \cdot \sin(\omega \cdot t_2) = a \cdot \sin(\omega \cdot t_1) - V_{\text{різ}}(t - t_2). \quad (6)$$

Якщо покласти, що

$$\omega \cdot t_1 = \frac{2\pi t_1}{T} \quad \text{і} \quad \omega \cdot t_2 = \frac{2\pi t_2}{T},$$

і скористатися рівнянням (3), то можна встановити

$$\frac{V_{\text{піз}}}{a} = -\omega \cdot \cos(\omega t_1) = -\frac{2\pi}{T} \cos\left(\frac{2\pi t_1}{T}\right).$$

З рівняння (6) виходить

$$a \cdot \sin(\omega \cdot t_1) + V_{\text{піз}} \cdot t_1 = a \cdot \sin(\omega \cdot t_2) + V_{\text{піз}} \cdot t_2.$$

Таким чином,

$$\sin\left(2\pi \frac{t_1}{T}\right) - 2\pi \frac{t_1}{T} \cos\left(2\pi \frac{t_1}{T}\right) = \sin\left(2\pi \frac{t_2}{T}\right) - 2\pi \frac{t_2}{T} \cos\left(2\pi \frac{t_2}{T}\right). \quad (7)$$

Знаючи відношення t_1/T , по формулі (3.7) можна визначити значення t_2/T .

Якщо відома залежність t_2/T , то можна, керуючись рис. 3.10, встановити величину t_c/T , яку можна представити у виді:

$$t_c/T = 1 + t_1/T - t_2/T. \quad (8)$$

У табл. 1 приведені значення t_1/T , t_2/T і t_c/T для даного випадку. Доля періоду t_c/T є важливим параметром для дослідження і перевірки вібраційного різання. До швидкості $V_{\text{піз}} \approx V_c/3$ можна вважати, що відношення t_c/T приблизно дорівнює відношенню швидкостей $V_{\text{піз}}/V_c$.

Таблиця 1

Значення відношень t_1/T , t_2/T , t_c/T

$\frac{t_1}{T}$	$\frac{t_2}{T}$	$\frac{t_c}{T}$	$\frac{V_{\text{піз}}}{a \cdot \omega} = \cos\left(2\pi \frac{t_1}{T}\right)$	$\frac{t_1}{T}$	$\frac{t_2}{T}$	$\frac{t_c}{T}$	$\frac{V_{\text{піз}}}{a \cdot \omega} = \cos\left(2\pi \frac{t_1}{T}\right)$
0,500	0,50	1,000	1,000	0,300	0,95	0,350	0,308
0,476	0,55	0,926	0,989	0,285	1,00	0,285	0,217
0,450	0,60	0,850	0,952	0,272	1,05	0,222	0,139
0,426	0,65	0,776	0,893	0,262	1,10	0,162	0,076
0,402	0,70	0,702	0,816	0,255	1,15	0,105	0,034
0,379	0,75	0,629	0,725	0,251	1,20	0,051	0,008
0,357	0,80	0,557	0,623	0,2505	1,22	0,030	0,003
0,336	0,85	0,486	0,516	0,2502	1,23	0,020	0,001
0,317	0,90	0,417	0,410	0,25	1,25	0	0

Визначимо довжину ділянки l_T , на якій впродовж одного циклу коливань ножа відбувається різання. Ця довжина може бути дорівнює відрізка CD на графіку (рис. 2).

Координата точки переміщень ножа на графіку відповідає моменту часу $T + t_1$. Точка C відповідає тому ж моменту часу і знаходиться на дотичній, проведеній до графіку $y = a \cdot \sin \omega t$ таким чином, що тангенс кута її нахилу визначається швидкістю різання $V_{\text{різ}}$.

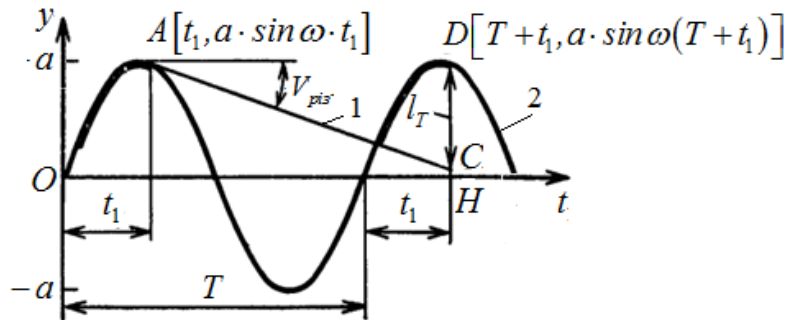


Рис. 2. Визначення величини l_T при вібраційному різанні: 1 – графік переміщення оброблюваної деталі; 2 – графік переміщення ножа

Переміщення оброблюваної деталі у може бути описано рівнянням (5).

З рис. 2 слідує

$$\overline{CH} = a \cdot \sin(\omega \cdot t_1) - V_{\text{різ}} T.$$

Таким чином,

$$\overline{CD} = l_T = \overline{DH} - \overline{CH} = V_{\text{різ}} \cdot T = \frac{V_{\text{різ}}}{v} \quad (9)$$

Отже $l_T = V_{\text{різ}}/v$. Величина l_T згідно приведеної вище залежності при постійній частоті коливань ножа зменшується у міру зниження швидкості різання. Якщо підтримувати швидкість різання постійною, то збільшення частоти коливань призводить до зменшення l_T . Для підвищення швидкості обробки і продуктивності, а також досягнення найбільшого ефекту при вібраційному різанні необхідно підвищувати частоту коливань до максимально можливого рівня. Тому доцільно створювати коливальні системи інструменту, що мають високі частоти коливань і мають високу вихідну потужність.

Висновки

Встановлено, що при вібраційному різанні між швидкістю різання і швидкістю коливань, яку можна представити як добуток їх частоти на амплітуду, існують певні зв'язки. Якщо різальний інструмент коливається з постійною амплітудою a і постійною

частотою V , то зі збільшенням швидкості різання настає таке положення, при якому передня поверхня ножа постійно контактує з матеріалом. Коли швидкість різання перевищує критичну, сила різання з імпульсної перетворюється на постійну, характерну для звичайного різання. В цьому випадку параметри процесу, залежні від швидкості різання, у результаті виявляються такими ж, як при звичайному різанні.

Згідно з формулою (4) критична швидкість залежить лише від частоти коливань V і амплітуди a і не пов'язана з глибиною різання.

На цій підставі можна зробити висновок про те, що критична швидкість різання V_c не залежить від оброблюваного матеріалу і кута загострення різального інструменту. Вона визначається по формулі (4) і змінюється тільки зі зміною амплітуди коливань інструменту.

Список використаних джерел

1. Технология и моделирование процессов резания в швейном и обувном производстве / [Абрамов В. Ф., Соколов В. Н., Татарчук И. Р., Литвин Е. В.]. – М. : Московский государственный университет дизайна и технологии, 2003. – 368 с.
2. Кумабэ Д. Вибрационное резание. / Д. Кумабэ [Перевод с яп. С. Л. Масленникова; Под ред. И. И. Портнова и В. В. Белова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.

References

1. Tekhnolohyia y modelyrovanye protsessov rezanyia v shveinom y obuvnom proyzvodstve / [Abramov V. F., Sokolov V. N., Tatarchuk Y. R., Lytvyn E. V.]. – М. : Moskovskiyi hosudarstvennyiy unyversytet dyzaina y tekhnolohyy, 2003. – 368 s.
2. Kumabe D. Vybratsyonnoe rezanye. / D. Kumabe [Perevod s yap. S. L. Maslennykova; Pod red. Y. Y. Portnova y V. V. Belova]. – М. : Mashynostroenye, 1985. – 424 s.

Аналитические исследования процесса резания материалов при ультразвуковом колебании ножа

Радченко С. П., Мисяць В. П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Целью исследования является изучение процесса и основных закономерностей вибрационного резания материалов обувного производства, разработка основ расчета

рациональных параметров технологических процессов для создания ультразвуковых резательных устройств.

Методика. Методологической и теоретической основой исследования служат основные положения теоретической механики, теории колебательных процессов, дифференциальное исчисление.

Результаты. Проведен математический анализ связей между сопротивлением резанию и движениями, которые осуществляет резательная кромка при двумерном резании с вибрациями. Представлена схема взаимодействия ножа с материалом при ультразвуковом резании. Получена формула для определения критической скорости резания, при которой нож постоянно контактирует с материалом и механизм, характерный для вибрационного резания, полностью исчезает. Определен промежуток движения ножа в течение одного цикла его колебаний, на котором происходит резание.

Научная новизна. Впервые теоретически обосновано влияние амплитуды и частоты ультразвуковых колебаний резательного инструмента на силовые показатели процессов резания материалов и возможность уменьшения усилия сопротивлению резанию при вибрации ножа с ультразвуковой частотой.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования конструкций машин для резания материалов путем использования ультразвуковых устройств.

Ключевые слова: резание, ультразвук, механические колебания, амплитуда, частота, скорость резания, сила резания

Analytical researches of process of cutting of materials are at ultrasonic oscillation of knife

Radchenko S. G., Misiats V. P.

Kyiv national university of technologies and design

Purpose. A research aim is a study of process and basic conformities to law of the oscillation cutting of materials of shoe production, development of bases of calculation of rational parameters of technological processes for creation of ultrasonic cutting devices.

Methodology. Methodological and theoretical basis of research the substantive provisions of theoretical mechanics, theory of shake processes, differential calculation, serve as.

Findings. The mathematical analysis of connections is conducted between resistance to cutting and by motions that is carried out by a cutting edge at the two-dimensional cutting with vibrations. The chart of co-operation of knife is presented with material at the ultrasonic cutting. A formula is got for determination of stalling speed of cutting, at that than constantly a mechanism characteristic for the oscillation cutting contacts with material, disappears fully. The interval of motion of knife is certain during one cycle of his vibrations, there is cutting on that.

Originality. First in theory influence of amplitude and frequency of ultrasonic vibrations of cutting instrument is reasonable on the power indexes of processes of cutting of materials and possibility of contracting effort to resistance to cutting during the vibration of knife with ultrasonic frequency.

Practical value. Research results can be drawn on for perfection of constructions of machines for cutting of materials by the use of ultrasonic devices.

Keywords: cutting, ultrasound, mechanical vibrations, amplitude, frequency, cutting speed, cutting force