

де: N_p – табличне значення питомої роботи різання, Дж/см³; b – ширина пропилу, мм; h – висота пропилу, мм; V_s – швидкість подачі, м/хв.

Отримуємо графічну залежність питомої роботи різання від подачі на зуб, що зображена на рис. 2.

Отриману залежність питомої роботи різання від подачі на зуб для горизонтальних стрічкопилкових верстатів порівнюємо з графічною залежністю для поздовжнього різання на вертикальних верстатах [2], при висоті пропилу 150 мм. Порівняльний графік зображено на рис. 3.

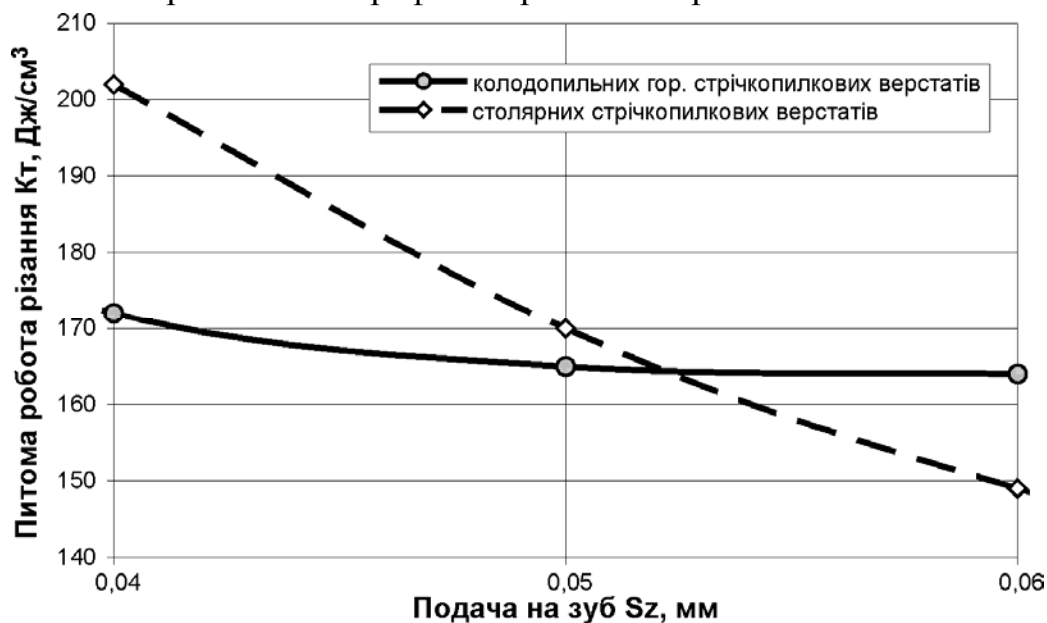


Рис. 3. Порівнювальний графік питомої роботи різання від подачі на зуб для різних типів верстатів

Порівнюючи дані графіки можна зробити такий **висновок**: є істотна різниця між значеннями питомої роботи різання для колодопилкових горизонтальних стрічкопилкових верстатів та вертикальних верстатів.

Для визначення потужності на різання горизонтальних стрічкопилкових верстатів з вузькою стрічковою пилкою можна користуватись отриманою залежністю.

Література

1. Кірик М.Д. Різання деревини та деревних матеріалів: Навч. посібник. – Львів: УкрДЛТУ, 2000. – 218 с.
2. Амаліцкий В.В. Станки и инструменты лесопильного и деревообрабатывающего производства: Учебник для техникумов. – М.: Лесн. пром-сть, 1985. – 288 с.

УДК 674.02:621.9.048.7

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук;
магістрант М.Ю. Зарічна – НЛТУ України

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ ДЕРЕВИНИ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Розглянуто можливості використання променів лазера для різання масивної деревини та деревинних матеріалів (ДВП, ДСП та фанери). Наведено основні властивості закономірності взаємодії лазерного випромінювання з деревиною.

The physical basis processes cut a wood of laser radiation

In this article is considerate chances used of laser rays for cut of timber and wooden materials (WFP, particle boards and veneer). We have given fundamental property and conformity with a low for interaction laser radiation with wood.

Розглянемо фізичні закономірності взаємодії лазерного випромінювання, що падає на поверхню об'єкта, із деревиною. Для цього умовно розглянемо схему взаємодії випромінювання із матеріалом (рис. 1). Зв'язок між основними джерелами енергії та різними витратами променевої енергії встановлюється рівнянням теплового балансу:

$$Q_{\text{пад}} = Q_{\phi} + Q_R + Q_{\text{руйн}}, \quad (1)$$

$$Q_{\phi} = Q_{R,\phi} + Q_{A,\phi}, \quad (2)$$

де: $Q_{\text{пад}}$ – енергія сфокусованого лазерного випромінювання, що падає на поверхню тіла; Q_{ϕ} – енергія, поглинена в об'ємі плазово-парового факела в середині прорізу (кратера) і над його поверхнею; Q_R – енергія лазерного променя, відбитого від поверхні; $Q_{\text{руйн}}$ – повна енергія продуктів руйнування, що виноситься реактивним парогазовим струменем; $Q_{R,\phi}$ – енергія, що розсіюється в оточуюче середовище випромінювання від плазового факела; $Q_{A,\phi}$ – частина енергії факела, що поглинулась стінками каналу (прорізу) в результаті конвективного та променевого теплообміну.

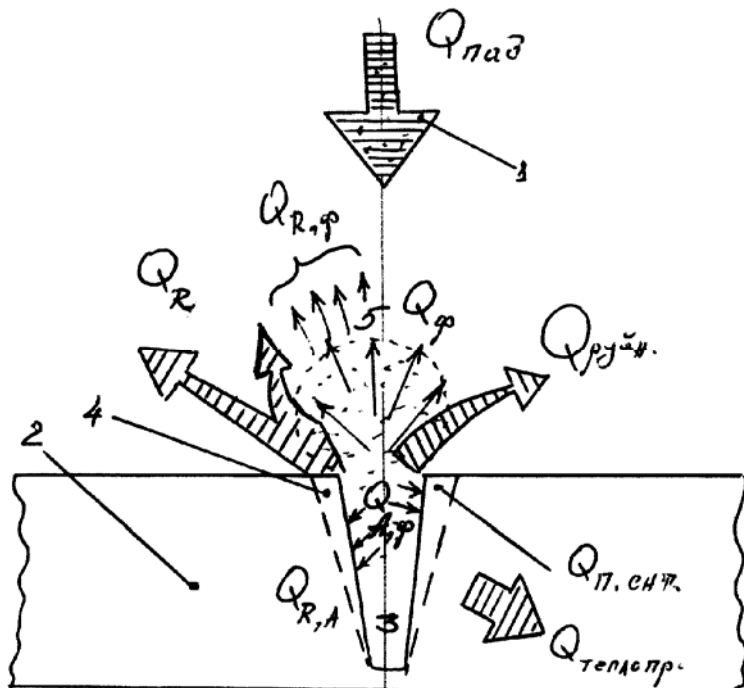


Рис. 1. Схема взаємодії пучка променів лазера із матеріалом:
 1 – сфокусований промінь лазера;
 2 – об'єкт оброблення;
 3 – проріз (канал);
 4 – обвуглена поверхня тіла;
 5 – плазовий факел

У свою чергу величина $Q_{R,\phi}$ визначається:

$$Q_{A,\phi} = Q_{\text{ент.}} + Q_{\text{тепл.пр.}}, \quad (3)$$

де: $Q_{\text{ент.}}$ – повна ентальпія матеріалу по краях порізу; $Q_{\text{тепл.пр.}}$ – енергія, що відводиться в глибину матеріалу за рахунок теплопровідності.

Як видно із вище наведених формул ефективність корисного використання енергії лазерного випромінювання буде залежати від співвідношення відбитого R_{λ} і поглиненого A_{λ} випромінювання.

Взаємозв'язок цих часток визначається за формулами теплового балансу:

$$R_{\lambda} = 1 - A_{\lambda}, \quad (4)$$

$$A_{\lambda} = \varepsilon = 1 - R_{\lambda,0}, \quad (5)$$

де: ε – ступінь чорноти тіла; R_{λ} – коефіцієнт відбивання при нормальному падінні променів.

Значення R_{λ} і ε можна визначити за значеннями оптичних параметрів (показника заломлення n , коефіцієнта затухання $\partial\delta$, тобто:

$$R_{\lambda,0} = \frac{(n-1)^2 + n^2 \cdot \partial\delta^2}{(n+1)^2 + n^2 \cdot \partial\delta^2}; \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot n}{(n+1)^2 + n^2 \cdot \partial\delta^2}, \quad (7)$$

Величина коефіцієнта відбивання, як показали наші дослідження, залежать від довжини хвилі, породи деревини, характеристики поверхневого шару та інших факторів [1]. Що стосується поглиненої тілом енергії, то вона йде на нагрівання, обвуглення та часткове випаровування вологи з деревини. В зв'язку з чим, для зручності аналізу теплофізичних явищ в зоні впливу випромінювання на матеріал розглянемо такі стадії процесу: поглинання й передачу енергії матеріалу; нагрівання та обвуглення матеріалу; випаровування та викид вологи (лазерна ерозія) та остигання матеріалу.

Інтенсивність поглиненого випромінювання (зокрема й лазерного) визначається за законом Бугера, тобто:

$$B(x) = B_0 \cdot A_{\lambda} \cdot \exp(-m_{\lambda} \cdot x), \quad (8)$$

де: B_0 – інтенсивність лазерного випромінювання, що падає на поверхню матеріалу; m_{λ} – показник поглинання променевого потоку об'єктом оброблення, м^{-1} ; e – основа натурального логарифму.

Зазначимо, що механізм переходу енергії лазерного випромінювання та переходу її в теплову буде залежати від породи деревини (природи матеріалу) і частково кількістю вмісту вологи. Передача теплоти від тонкого поверхневого шару до глибинних шарів матеріалу буде здійснюватися з допомогою різних механізмів теплопровідності. При цьому визначальну роль буде відігравати температура поверхні об'єкта оброблення.

Зауважимо, що для прозорих матеріалів, порівняно із непрозорими матеріалами, характерним є те, що процес поглинання в перших є об'ємним, а не поверхневим.

Відзначимо, що поглинання енергії лазера та перехід її в теплову у поверхневому шарі здійснюється майже миттєво, викликаючи при цьому різке зростання температури матеріалу в зоні лазерного впливу. Разом з тим, одночасно проходить переміщення тепла в середину (до глибини шарів) матеріалу. Розподілу температури на поверхні матеріалу, як правило, відповідає просторовому розподіленню лазерного випромінювання в поперечному перерізі. Зазначимо, що оцінку процесів теплообміну при опроміненні лазерним випромінюванням дають як теоретичним, так практичним методам.

При цьому поглинання лазерного випромінювання твердим тілом (в нашому випадку деревиною) розглядають як появу джерела теплової енергії всередині або на поверхні цього тіла. Інакше кажучи, реакцію деревини на дію цього джерела визначають на основі трьохвимірної рівняння теплопровідності виду:

$$(\rho \cdot c) \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) + A_{\lambda}(x, y, z, \tau). \quad (9)$$

Як видно з рівняння (9), характер розв'язання цього рівняння $t()$ буде визначатися функцією розподілу джерел $A_{\lambda}(x, y, z, \tau)$ та крайовими (граничними) умовами для конкретної задачі, а амплітуда розв'язку буде визначатися величиною коефіцієнтів теплопровідності λ та ізобарною питомою теплоємністю c .

Питома теплоємність c буде проявляти себе в здатності матеріалу накопичувати тепло, що поступає від зовнішнього джерела, доки не досягне стану рівноваги. Таким чином, енергію, яка акумулювалася і накопичилася в матеріалі масою M , при прирості температури Δt можна визначити:

$$\Delta E = c \cdot M \cdot \Delta t. \quad (10)$$

Тоді, проінтегрувавши останнє рівняння по всьому об'ємі матеріалу, можна вирахувати кількість надлишкового тепла, що акумулювалась тілом.

Відомо, що коефіцієнти c та λ визначають швидкість встановлення теплової рівноваги при миттєвому включенні теплового генератора, то коефіцієнт температуропровідності ($a = \lambda/(\rho \cdot c)$, ρ – фактична густина деревини) визначає теплові інерційні властивості матеріалу. Тоді, віддаль x , на яку проникла хвиля інфрачервоного випромінювання в середину тіла за час τ , може приблизно бути оцінена як:

$$x = \sqrt{a \cdot \tau}. \quad (11)$$

Після появи джерела теплової енергії, коли $x=0$, $\tau=0$ тепло поступає в матеріал із тепловою хвилею, що проходить віддаль x за час τ . При цьому в зоні матеріалу $0 < x < x(\tau)$ підвищується температура його і в ньому. Заноситься тепла енергія, що відповідає величині питомої теплоємності. В той час товщина шару матеріалу, яка знаходиться $x=x(\tau)$ та $x=S_1$ ($x=S_1$ – товщина матеріалу), поки що залишається не нагрітою. В міру поступлення тепла від генератора випромінювання (лазера), коли $x=0$, тепла хвиля сягає величини $x=S_1$, а тепло починає виходити із матеріалу через протилежну поверхню. В даному випадку, температура (при $x=S_1$) зростає до значення, що відповідає рівнянню теплопровідності:

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau} = \lambda \cdot A_{\lambda} \cdot \frac{t_0 - t_1}{S_1}, \quad (12)$$

де: t_0 – температура із сторони опромінення поверхні тіла; t_1 – температура протилежної поверхні тіла.

В цей момент саме настає рівновага, тобто:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial \tau}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial Q}{\partial \tau}\right)_{x=S_1}. \quad (13)$$

Зауважимо, що описаний вище процес спостерігається у всіх матеріалах при наявності точкового або розподіленого джерела променевої енергії, хоча чітке аналітичне розв'язання для $t()$ не може бути отримано через складні граничні умови, які містять величину потоку тепла в матеріалі і на виході з нього.

У випадку Гаусового розподілу, коли питома густина поглиненої енергії $q_A(x)$ визначається:

$$q_A(x) = \frac{Q_{\text{погл.}}}{F \cdot \tau} = q_0 \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{r^2}\right), \quad (14)$$

то розв'язок приведенного рівняння теплопровідності (9) має такий вигляд:

$$t(x, y, \tau) = \frac{q_{\text{max}} \cdot r^2}{\lambda} \left(\frac{a}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \int_0^{\tau} \frac{P(\tau - \tau') \partial \tau'}{\sqrt{\tau'(4 \cdot a \cdot \tau' + r^2)}} \cdot \exp\left[\frac{z^2}{4 \cdot a \cdot \tau} - \frac{x^2}{4 \cdot a \cdot \tau'}\right], \quad (15)$$

де: q_0 – густина потужності випромінювання лазера в центрі плями фокусування; q_0 – максимальна густина випромінювання в центрі плями (пучка); r – радіус Гаусового пучка променів; t – температура як функція глибини z , що відраховується від поверхні, радіальної віддалі x від центру теплового джерела і часу τ з моменту початку дії теплового імпульсу лазера; $P(\tau)$ – потужність лазерного випромінювання ($P = q / q_{\text{max}}$) за час τ ; h_λ ($h_\lambda = \sqrt{4 \cdot a \cdot \tau}$) – глибина проникнення променів в товщину матеріалу, м.

Щодо методів теоретичних досліджень температурних полів в матеріалі при лазерній обробці, то їх ми розглянемо в наступних наших роботах.

Література

1. **Діагностика властивостей** деревини в технологічних процесах деревооброблення: Наукове видання/ За ред. канд. техн. наук І.М. Озарківа. – Львів: Вид. дім "Панорама", 2003. – 228 с.

УДК674:621.9.001.57

*Доц. М.І. Пилипчук, канд. техн. наук;
студ. Ю.З. Юревич; студ. П.В. Бенько;
студ. С.В. Оспенков – НЛТУ України;
студ. І.П. Пилипчук – НУ "Львівська політехніка"*

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТОЧНОСТІ ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

Розроблено методику і програму у середовищі Excel для опрацювання статистичних даних результатів експериментальних досліджень технологічної точності деревообробних верстатів із установленням квалітету точності оброблення, класу точності верстата та закону розподілу похибок розмірів оброблених деталей.

Ключові слова: програма, дослідження, точність, оброблення, деревина, верстат.