Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, 21-29*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.03.021-029

УДК 669.1.017:669.15.194

ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДЕРЕВООБРОБКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНІ РІЗАННЯ

О. Є. Семеновський, І. М. Кудрявський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторів: semenovski@ukr.net; ihordino@gmail.com.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – серпень 2019.
Бібл. 21, рис. 8, табл. 2.

Анотація. Аналіз явищ, що виникають в процесі обробки деревини різанням визначив необхідність проведення досліджень направлених на оптимізацію режимів виготовлення деталей меблевої галузі. При цьому особливу зацікавленість викликають недостатньо досліджені перехідні режими, з точки зору швидкості різання, що мають місце при обробленні складно профільних поверхонь відкритого та закритого типів, таких як прямокутні та фігурні пази, а також складнопрофільні та фасонні оздоблювальні деталі. При оброблені матеріалів різанням робота та тертя інструменту по заготовці зумовлює утворення та виділення значної кількості енергії у вигляді теплоти. Саме тому в наших дослідженнях особлива увага була приділена визначенню температур в зоні різання при обробці інструментом, що має різну шорсткість поверхонь. При обробленні деревини практично відсутні достовірні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при оброблення багаторізцевим інструментом. Проаналізувавши існуючі методики визначення температури в зоні різання та провівши ряд попередніх експериментів, в наших дослідженнях ми використовували методику визначення температур методом штучної термопари. За результатами дослідів побудовані графічні залежності. Це дозволило зробити висновок, що температура в зоні різання при деревообробці, від шорсткості поверхонь інструменту залежить більше, ніж від зусилля різання. Ступінь впливу цього фактору визначалось з побудованої графічної залежності температури, як функції шорсткості в логарифмічних координатах. Проведені дослідження дозволили ввести доповнення в імперичні рівняння, що застосовуються для визначення температури в зоні різання при обробці в інтервалі перехідних режимів різання. В роботі визначені дійсні значення температур леза інструменту за рахунок використання кольорів мінливості, що утворюються на поверхні в діапазоні максимально можливих температур при обробці деревини. Визначені температури, які викликають обвуглецювання оброблених поверхонь деревини. Отримані результати наочно показали, що при зменшенні тертя в зоні різання, за рахунок зниження шорсткості поверхні інструменту, можливе зниження температури, що має позитивний вплив.

Ключові слова: температура, різання деревини, лезо інструменту, фрезерування, стружка, кольори мінливості, термопара, шорсткість, абразивна обробка.

Постановка проблеми

Особливість процесу різання при деревообробці в тому, що теплостійкість матеріалу інструменту досить висока, а температура, при якій починаються незворотні процеси утворення на обробленій поверхні окислених прошарків, а потім і процеси горіння, тління - значно нижча і не перевищує 200°С.

При обробленні деревини практично відсутні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при оброблення багаторізцевим інструментом.

Аналіз останніх досліджень

Деревина була першим конструкційним матеріалом. При виготовленні одного з перших людських знарядь – спису застосовувалась, як механічна обробка деревини – з метою надання відповідної форми, так і хіміко-термічна, при якій загострений кінець обпалювався у багатті і таким чином зміцнювався. На рис. 1. наведено фото спису виготовленого за декілька тисячоліть до н.е.

З появою ремесел деревина стала одним з основних конструкційних матеріалів для виготовлення прядильних, ткацьких, млинових, гончарних та інших верстатів. Її широко застосовували в вагоно-судно-авто- і авіабудуванні.

В нашій роботі основним завданням було дослідження процесів, що відбуваються при чистовій обробці деревини, кінцевим фасонним інструментом [1-4]. Такий вид оброблення застосовується в меблевій промисловості, де особливо важливо отримувати

поверхні, часто складно-профільні, з високою точністю та заданою шорсткістю.

Рис. 1. Спис який знайшли в середині мамонтових ребер.

Fig. 1. Spear which is found in the middle of mammoth ribs.

Провівши аналіз загальних основ та особливостей обробки деревини різанням, що відбувається при значних швидкостях (до 50…100 *м/сек*), в порівнянні з обробкою металів та сплавів, де швидкість режиму різання не перевищує -30…80 *м/хв* [1, 5, 6].

При оброблені матеріалів різанням робота та тертя інструменту по заготовці зумовлює утворення та виділення значної кількості енергії у вигляді теплоти.

Якщо при обробці металів та сплавів співвідношення розподілу теплової енергії загальновідомі, тобто в стружку виділяється (60...85 %) тепла, в інструмент (15...35%), а решта відповідно в заготовку і навколишнє середовище - (1...5%), (0,5…3 %), то процеси, які відбуваються при обробці деревини досліджені недостатньо. Особливо це стосується процесів фрезерування складно-профільних поверхонь та пазів. При цьому досліджувані режими різання займають проміжне положення зі швидкістю до 10 *м/сек*.

Одним з видів цього оброблення є фрезерування за профілем копіру. В процесі копіювання отримують фасонні деталі, що не є тілами обертання. Оброблення проводять кінцевими фрезами малого діаметра. Фрезерують рельєфні елементи та проводять скульптурне різьблення. При вибірці фасонних пазів, шипових гнізд, при скульптурних різьбових роботах і фасонних обробках бокових поверхонь деталей застосовуються фасонні інструменти. Процес різання поділяється на поглиблення фрези - свердління і переміщення її, або деталі в заданому напрямку перпендикулярно до осі фрези - процес фрезерування. Отже, ріжучі елементи фрези мають розташовуватися як на бічній поверхні, так і на торці фрези. При фрезеруванні пазів має місце зустрічна подача при вході різця в деревину і попутна при виході різця.

Міцність деревини зменшується зі збільшенням вологості від абсолютно сухого стану до точки насичування волокон. Міцність більш вологої деревини змінюється незначно. Зменшення тимчасового опору різанню зовсім не визначає відповідного зниження роботи різання, що витрачається на зняття поверхневого прошарку у вигляді стружки. Крім зміни величини напруження деформації, треба враховувати ще зміна величини деформації, яка значно більша у вологої деревини в порівнянні з сухою.

Зміна температури при деревообробці завжди залежить від багатьох факторів, наприклад від породи деревини, її фізико-механічних властивостей [7]. Зі збільшенням температури міцність деревини зменшується, але цей процес досліджений не достатньо [8, 9]. В літературі можна знайти дані, які описують особливості обробки замороженої деревини. Вплив вологості і температури на властивості деревини і її здатність оброблюватись різанням потребують подальших досліджень.

При обробленні деревини практично відсутні достовірні дані досліджень реального розподілення теплової енергії, що обумовлено незначною теплопровідністю деревини, а також складністю процесів вимірювання температури в зоні різання при обробленні багаторізцевим інструментом.

Методи вимірювання температури поділяють на контактні і безконтактні. До контактних належать такі методи: калориметричний, термопар, термоопору, термоіндикаторів, волоконно-оптичний, кварцових термометрів, термотранзисторів, калориметричний. Безконтактні методи: інфрачервоних перетворювачів (інфрачервоні пірометри, тепловізори), ультразвукових термометрів [3-11].

Для вимірювання температур у процесі різання широко використовують термопари [1, 6]: штучні, напівштучні, природні.

При першому варіанті (рис. 2.) заготовка *2* і різець *1* ізолюються від верстата. Термострум спрямовується від різця *1* через заготовку *2*, струмознімач на гальванометр *3*. В двох інших варіантах різець ізолюється від верстата і через мілівольтметр з'єднується з корпусом верстата (наприклад, через піноль) або з деталлю (якомога ближче до зони різання) через ковзний контакт з графітового електроду.

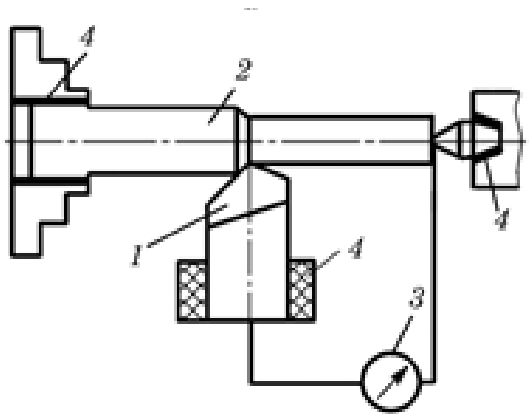

Рис. 2. Метод природної однорізцевої термопари.

Fig. 2. Odnoral method of natural thermocouple.

Хоча природна термопара дає можливість вимірювати температуру безпосередньо в зоні контакту ріжучої кромки інструменту та заготовки, що дає найбільш реальні результати, але цей метод неможливо застосовувати для діелектриків, яким є деревина.

Для вимірювання температури різальної кромки інструменту, в тому випадку коли заготовка не є провідником реально застосовувати метод комбінованого ножа. Тобто дві твердосплавні пластинки (із сплавів, що мають різну електропровідність) контактують між

собою по ріжучій кромці. Під дією температури різання між електродами виникає термоелектрорушійна сила, величину якої можна виміряти за допомогою мілівольтметра. Перевагою даного методу є те, що можна виміряти температуру прямо в зоні різання, навіть для діалектричних матеріалів. До недоліків можна віднести нестабільність показів температури, при незначній зміні площі контакту під час роботи, або при регулюванні ножа, а також складність створення достатньо жорсткої системи

Дуже цікаві результати отримані проф. Швердом за допомогою оптичного методу описані в роботі [10]. Він дає можливість вимірювати температуру на будь якому відрізку стружки або різця [16-18].

Перевагою цього методу [19, 20] є те, що за його допомогою можна отримати уяву про температуру різних ділянок стружки та деталі (рис. 3).

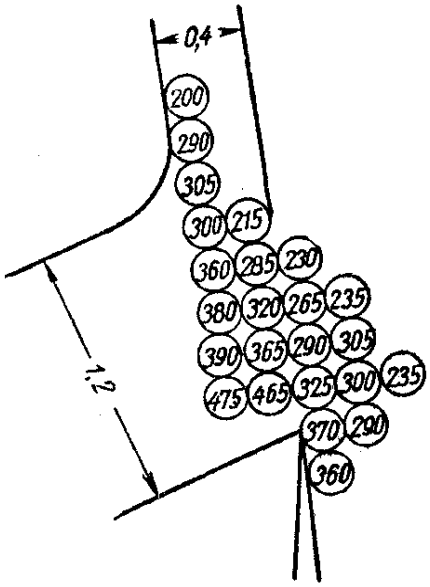

Рис. 3. Результати визначення температури в зоні різання оптичним методом.

Fig. 3. Results of determination of temperature in the cutting zone using an optical method.

На рисунку показано зміну температури на різних точках стружки та деталі. З рисунку видно що найбільша температура в стружці розміщена біля вершини різця.

Згідно цього самого рисунку температура деталі також значна. Так на відстані близько 0,5*мм* від оброблюваної поверхні температура деталі досягає 235°С.

Цей метод дозволяє детально вивчати температуру стружки та різця, але не отримав широкого розповсюдження через такі недоліки:

1) поява тонких окислів на поверхні стружки що спотворює показання приладу;

2) кріплення приладу на різці не зручне, а при кріпленні його поза межею різця, коливання останнього в процесі різання заважають вимірюванні температури фіксованої точки

3) складне тарування пристрою, оскільки теплота випромінювання залежить не тільки від температури нагрітої ділянки, а також від кольору та стану її поверхні. Шорстка поверхня стружки виділяє більше тепла ніж гладка тарована поверхня.

Досить складний також метод вимірювання температури за допомогою вбудованого електроду. Коли між половинками дерев'яної заготовки вклеюється фенольною смолою тонка (0,004-0,01 мм) алюмінієва фольга що виступає в ролі електроду. Нагрітий при різанні деревини зуб фрези, замикає ланцюг термоелектрорушійної сили. Термопара з вмонтованим електродом виміряє істинну або з невеликою похибкою температуру в зоні різання.

Для вимірювання температури непрямим шляхом використовують також метод фарб. При цьому методі використовується явище зміни кольору деяких фарб під дією температури.

В наших дослідженнях ми використовували аналогічний метод для контролю отриманих результатів за допомогою кольору окисних плівок на поверхні інструменту та заготовки.

Результати досліджень

На практиці при обробці деревини теплота, яка зумовлює нагрівання заготовки майже не впливає на зміну її розмірів. Нагрівання різального інструменту знижує його зносостійкість і може спричинити зміну розмірів деталі через теплові деформації інструменту. В зоні різання інструмент може нагріватися до значних температур їх величина сягає 250…380°С і обмеження накладає теплостійкість матеріалу заготовки - деревини.

На температуру різання впливають властивості оброблюваного та інструментального матеріалів, елементи режиму різання, геометрія інструменту. Механізм впливу різних чинників на температуру різання зумовлений силами різання, тертям і умовами тепловідведення. Так, підвищення міцності, твердості й пластичності оброблюваного матеріалу збільшує, а збільшення його теплопровідності зменшує температуру в зоні різання.

Виходячи з положень теорії різання матеріалів [1, 4] із параметрів режиму деревообробки на температуру в зоні контакту інструменту і заготовки, найбільше впливає швидкість різання *v*, менше подача *s* і найменше глибина різання *t*. Крім цього, інтенсивність впливу падає зі збільшенням цих параметрів різання. Залежність температури різання від його режиму, отриману дослідним шляхом, виражають формулою:

$$\theta = C_\theta t^{x_\theta} s^{y_\theta} v^{n_\theta},$$

де: C_θ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки, матеріалу різця і умов різання;

v – швидкість різання, *м/хв*;

s – подача, *мм/об;*

t – глибина різання, *мм*;

x_θ, y_θ, n_θ – показники степенів, що враховують вплив, відповідно, *t, s, v* на температуру в зоні різання.

В існуючу формулу було додатково введений ще один аргумент, який вказує на вплив на температуру в зоні різання шорсткості передньої поверхні інструменту. Зрозуміло, що саме шорсткість поверхонь визначає сили тертя, які в значній мірі впливають на темпе-

ратурні показники процесу різання при обробці деревини.

Саме тому в наших дослідженнях особлива увага була приділена визначенню температур в зоні різання при обробці інструментом, що має різну шорсткість поверхонь.

Проаналізувавши існуючі методики визначення температури в зоні різання та провівши ряд попередніх експериментів, в наших дослідженнях ми використовували методику визначення температур методом штучної термопари.

Метод штучної термопари (рис.4) забезпечує вимірювання температури різця біля різальної кромки. Для цього в отвір, який на 0,2...0,5 *мм* не доходить до передньої поверхні різця *1*, вставляють термопару *5*. До кінців термопари *5* підключають мілівольтметр *3*, який і визначає електрорушійну силу. Термопара ізолюється трубкою *4*.

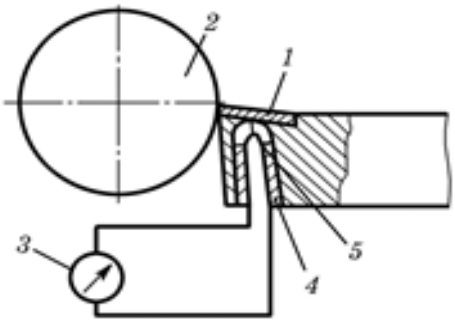

Рис. 4. Метод штучної термопари.
Fig. 4. Method of artificial thermocouple.

Значною перевагою цього методу є можливість використання стандартних термопар, які не потребують спеціального тарування. Недолік методу полягає у вимірюванні температури на певній глибині від контактних поверхонь інструменту, через що температура на 50...80 °С нижча від дійсної, але цю похибку в наших дослідженнях ми враховували за рахунок утворення кольорів мінливості на передній поверхні інструменту в інтервалі температур 200…300°С, що дозволяло досить точно коректувати отримані результати.

Тарування термопари (рис. 5) проводилось шляхом її витримки при різних температурах в муфельній печі та побудови за отриманими результатами графічної залежності – $\theta = f(U)$.

Особливість процесу різання при деревообробці в тому, що теплостійкість матеріалу інструменту (в нашому випадку сталь Р18 – 650 °С), досить висока, а температура, при якій починаються незворотні процеси утворення на обробленій поверхні окислених прошарків, а потім і процеси горіння, тління, значно нижча і не перевищує 200°С.

При проведенні дослідів нами встановлено, що різниця між температурою ріжучої кромки інструменту і оброблюваної заготовки при незначних подачах, які мають місце при чистовій обробці, не перевищує 100… 200°С.

Для отримання інструменту поверхні якого мали б різну ступінь шорсткості проводилось шліфування різців по передній і задній поверхням, абразивом з різною зернистістю, а також полірування.

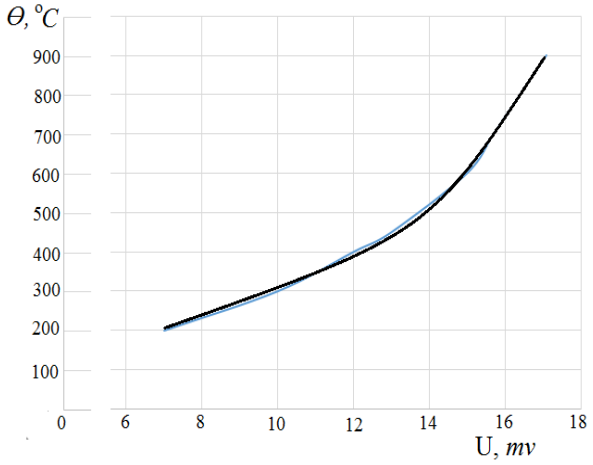

Рис. 5. Тарувальний графік температур залежно від електрорушійної сили термопари.

Fig. 5. Travalini temperature graph depending on the electromotive force of the thermocouple.

Таблиця 1. Відповідність шорсткості обробленої поверхні до зернистості абразивного інструменту.

Table 1. The line roughness of the processed surface to the grit of the abrasive tool.

Позначення зернистості, відповідно до ГОСТ 3647-71	Розмір зерен основної фракції, *мкм*	Шорсткість поверхні R_a, *мкм*
63Н	800…630	1,75
12Н	160…125	0,32
М20	20…14	0,16
М3…10	3…10	0,032

Діапазон зміни шорсткості R_a оброблених поверхонь змінювався від 1,75 мкм до 0,16 мкм, від обдирочного і чорнового шліфування до фінішного, а також полірування (0,032). Для забезпечення відповідних показників шорсткості застосовувався інструмент із заданим розміром зерен.

В табл. 1 наведені види шліфування, зернистість абразивного інструменту, а також, відповідно до цих параметрів, отримана шорсткість оброблених поверхонь інструменту.

З метою відповідності отриманої шорсткості поверхонь розміру абразивних зерен тривалість шліфування не перевищувала 15..20 *сек,* відповідно рекомендаціям.

Провівши аналіз існуючих режимів різання при виготовленні деталей меблевої галузі встановлено, що чистове фрезерування відкритих поверхонь кінцевими фрезами, оброблення поверхонь пазів ланцюговими інструментами, а також оброблення складно профільних об’ємних поверхонь фасонним інструментом проводиться при перехідних режимах. Тобто діапазон зміни швидкості головно руху знаходиться в межах до…10 *м/сек*.

Зменшення цієї швидкості недоцільно з точки зору зниження продуктивності процесу. В той же час однією із задач нашої роботи було забезпечення висо-

кої якості обробленої поверхні, мінімальної шорсткості.

Виходячи з того, що чистове фрезерування при обробленні складно-профільних поверхонь в меблевій промисловості часто є фінішною обробкою, тому що обробляти складно-профільні об'ємні поверхні досить складно абразивним інструментом. А досить часто і неможливо використовувати методи шліфування, особливо при обробці внутрішніх закритих поверхонь, типу пазів та рельєфних об'ємних поверхонь.

Матеріал різальної частини різця – Сталь Р18. Матеріал заготовки деревина твердих порід (дуб). Геометричні параметри різців з різною шорсткістю поверхонь були ідентичними, з метою мінімінізувати вплив побічних випадкових факторів на результати дослідів. Кути в плані φ, *та* φ_1 дорівнювали відповідно – 45 та 30˚, що забезпечило величину кута при вершині 105 ˚. Радіус при вершині різця r = 0,02 *мм.* Величина головного заднього кута α була мінімальною відносно рекомендованого діапазону і складала 6˚, з метою зменшення тертя задньої поверхні інструмента по обробленій поверхні заготовки ї зменшення впливу цього фактора на сили взаємодії інструменту і заготовки. Передній кут γ, а також кут нахилу головної різальної кромки λ дорівнювали нулю, що забезпечило напрям відводу стружки, який не заважав би підведенню термопари.

Режим різання був незмінним. Швидкість різання була максимально наближена до реальних режимів обробки різанням деревини твердих порід при перехідних режимах, які мають місце в процесі чистового фрезерування кінцевими фрезами та ланцюговим інструментом і складала 7…10 *м/сек.*

Для її забезпечення, враховуючи діаметри заготовки 75…150 *мм,* на верстаті була встановлена частота обертання заготовки 915 *об/хв.*, що забезпечило необхідну дійсну швидкість різання в наших дослідах.

Глибина різання склала 8 *мм,* а подача була в межах 0,3…0,4 *мм/об,* що відповідало максимальним значенням температур в зоні різання.

Результати визначення температури в зоні різання при різних параметрах шорсткості інструменту за тарувальним графіком наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Значення температур в зоні різання.
Table 2. Temperatures in the cutting zone.

Зернистість абразиву, Н	Шорсткість інструменту, Ra, *мкм*	Температура в зоні різання, Θ,˚С
63Н	1,75	120
12	0,32	90
М20	0,16	80
М3	0,032	60

В таблиці наведені усереднені дані результатів дослідів по 5 дослідах на точку, для забезпечення достовірності отриманих результатів.

За результатами проведених дослідів побудовані графічні залежності температури в зоні різання від шорсткості $\theta = f\,(Ra)$. Побудова графічних залежностей в логарифмічних координатах дає можливість визначення ступеню впливу певних змінних параметрів функціональних залежностей (аргументів) на саму функцію, при незмінності інших параметрів. В нашому - конкретному випадку ми можемо визначити показник степеню при коефіцієнті, який визначає вплив шорсткості поверхонь інструменту на температуру в зоні різання рис. 6.

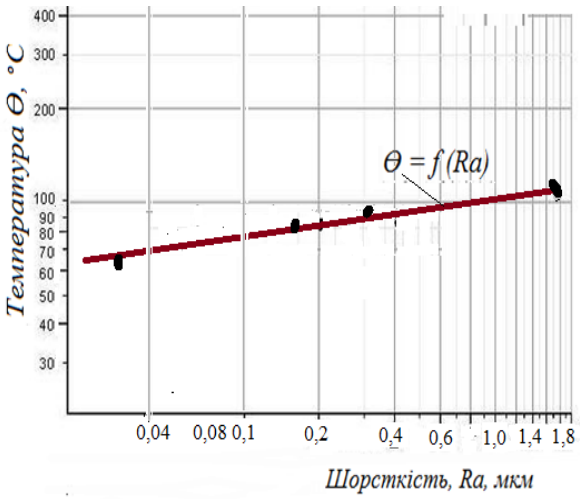

Рис. 6. Графічна залежність температури в зоні різання від шорсткості поверхні інструменту.

Fig. 6. Graphical dependence of temperature in cutting zone from the surface roughness of tool.

Аналізуючи характер графічної залежності можна зробити висновок, що температура в зоні різання при деревообробці, від шорсткості поверхонь інструменту залежить більше ніж від зусилля різання. Ступінь впливу цього фактору визначалось з побудованої графічної залежності температури, як функції шорсткості в логарифмічних координатах.

Показник степеню, який вказує на ступінь впливу шорсткості поверхні інструменту на температуру a_θ = 0,12.

З урахуванням дослідженого нами фактору впливу шорсткості поверхні інструменту на температуру в зоні різання, математичний вираз для розрахунку температури в зоні різання буде мати наступний вигляд:

$$\theta = C_\theta t^{x_\theta} s^{y_\theta} V^{n_\theta} R^{a_\theta}.$$

З метою математичного ілюстрування отриманих результатів досліджень в загальновідоме математичне рівняння, що застосовувалось для визначення температур в зоні різання при різних параметрах режимів різання нами введений коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні інструменту на температуру в зоні різання *(R^a).*

Виходячи з отриманих нами результатів і побудованої графічної залежності (рис. 6) кут нахилу функціональної залежності складає - *7˚,* що відповідає числовому значенню тангенса – 0,12 (*tg7˚=0,12*).

При математичній обробці результатів експериментів досліджувана величина, в нашому випадку це температура в зоні різання, розглядалася, як функціональна залежність від відповідних аргументів. Ступінь впливу кожного аргументу, тобто кожного фактору впливу, визначалась у вигляді ступеневої функ-

ції, шляхом логарифмування, виходячи з математичного змісту логарифму і степеня.

Апроксимація результатів в такому випадку проводиться в програмі Excel, а ступінь вірогідності отриманих результатів можливо підвищувати шляхом збільшення ступеню апроксимації.

В процесі проведення дослідів параметри різання перехідних режимів були близькими до екстремальних значень, з точки зору теплостійкості матеріалу заготовки. Було зазначено, що на поверхнях , як заготовки так і інструменту відмічено появу окисних плівок (рис. 7). При проведенні аналізу теоретичних даних було відмічено, що при вимірюванні температури в зоні різання за допомогою штучної термопари похибка отриманих результатів може перевищувати 10%, що пояснюється тим, що термопара знаходиться на певній відстані від зони різання.

Рис. 7. Зміна температури поверхні різця та заготовки при обробленні в екстремальних режимах.

Fig. 7. Temperature of the surface of the cutter and workpiece during processing in extreme conditions.

150°C 170°C 220°C

Рис. 8. Обвуглецювання поверхонь заготовок в процесі нагрівання до заданих температур.

Fig. 8. Amplitudine surfaces of the workpieces in the process of heating to a predetermined temperature.

Для уточнення отриманих результатів, які стосуються визначення температур в зоні різання, враховуючи інтервал екстремальних температур, нами були досліджені кольори мінливості окисних плівок, що утворились на поверхні інструменту в процесі деревообробки.

Це дало можливість досить точно визначати температури різальних кромок , а також розподілення температур по тілу різця.

Похибка результатів вимірювання температури в зоні різання методом штучної термопари склала 80 °C, що пояснюється значною віддаллю зони встановлення термопари від різальної кромки.

При аналізі отриманих результатів встановлено, що температура поверхні заготовки також значно відрізняється від температури інструменту, це пояснюється значно нижчою теплопровідністю матеріалу деревини в порівнянні з металом.

Для визначення похибки отриманих результатів проведена витримка зразків деревини при різних температурах. На рис. 8. показані зразки дубової деревини після їх обвуглецювання.

Наявність на оброблених поверхнях заготовок прошарку, що відрізняється за кольором має значення не тільки для визначення температур, а і для декоративного оздоблення поверхонь деталей меблів.

Висновки

В результаті проведених досліджень отримано необхідний масив даних про вплив як окремих складових режимів різання на динамічні характеристики і процеси структуроутворення. Це дозволило сформулювати уявлення про якісні і кількісні залежності і виявити загальні закономірності впливу параметрів процесу різання на температуру в зоні різання.

В результаті аналізу результатів проведених дослідів в роботі отримані наступні висновки.

1. Встановлено, що для призначення режимів різання при обробці складнопрофільних поверхонь деревини твердих порід не визначені рекомендації, що до впливу параметрів режиму оброблення на температурні характеристики процесу

2. Проведені дослідження дозволили ввести доповнення в імперичні рівняння, що застосовуються для визначення сили різання при точінні, а також температури в зоні різання при обробці в інтервалі перехідних режимів різання .

3. В роботі визначені дійсні значення температур леза інструменту за рахунок використання кольорів мінливості, що утворюються на поверхні в діапазоні максимально можливих температур при обробці деревини.

4. Визначені температури, які викликають обвуглецювання оброблених поверхонь деревини.

5. В процесі проведення дослідів по визначенню впливу швидкості на температуру в зоні різання отримані дійсні значення похибок, які мають місце при проведенні подібних експериментів.

6. Отримані результати наочно показали, що при зменшенні тертя в зоні різання, за рахунок зниження шорсткості поверхні інструменту, можливе зниження температури, що має позитивний вплив.

Список літератури

1. *Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л.* Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Підручник. Ніжин:Видавець ПП Лисенко М.М., 2013. 752 с.

2. *Абельский Ш.Ш.* О температурном поле вращающихся гибких дисков. Инженерно-физический журнал. Том XX. №2. С. 338-343.

3. *Агапов, А.И.* Трансформация углов резания при пилении древесины рамными пилами. Деревооб. пром-сть. 1989. №5. С. 6-7.

4. *Бершадский А.Л.* Резание древесины. Минск: Высшая школа, 1975. 304 с.

5. *Капустин, А.В.* Особенности расчета коэффициентов породы древесины. Марийский государственный технический университет. Йошкар-Ола, 2003. 5 с.: 1ил. Библиогр.: 2 назв. Рус, Деп. В ВИНИТИ 13.02.2003; №290-В 2003.

6. *Капустин А.В.* Математическое моделирование процессов резания древесины. Шестые Вавиловские чтения. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2002. С. 204-205.

7. *Кряжев, Н.А.* Фрезерование древесины. Москва. Лесн. пром-сть, 1979. 200 с.

8. *Лопатин, А.М.* Совершенствование конструкций и обоснование параметров зубьев дискового ножа кустореза: Автореферат дис. канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2002. 19 с.

9. *Любченко, В.И.* Резание древесины и древесных материалов. Москва. Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.

10. *Мазуркин, П.М.* Биотехническое моделирование процессов резания древесины: Научное издание. Йошкар-Ола: Мар-ГТУ, 2001. 80 с.

11. Новые способы резания древесины: сост. В.Е. Печенкин, П.М. Мазуркин. Горький: ГГУ, 1979. 90с.

12. *Опальчук А.С., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л.* Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник-Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2015. 426 с.

13. *Пашков В.К.* Основы научных исследований. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 86 с.

14. *Пашков В.К.* Измерительная система для регистрации температурных полей зуба пилы. Сборник научных трудов факультета МТД. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 116-119.

15. *Pinchevska Olena, Sedliačik Ján, Horbachova Oleksandra, Spirochkin Andriy, Rohovskyi Ivan*. Properties of hornbeam (Carpinus betulus) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 2019. Vol. 61(2). P. 25−39, DOI: 10.17423/afx.2019.61.2.03. https://www.scopus.com/sourceid/7700153234. Scopus.

16. *Чемоданов, А.Н.* Лес и лесопродукция: справочные материалы. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 304 с.

17. *Щепочкин С.В.* К оценке тепловых потоков и средних температур зуба круглой пилы. Изв. вузов. Лесной журнал. 2006. №1. С. 58-61.

18. *Щепочкин С.В.* Температурное поле зуба круглой пилы. Изв. вузов Лесной журнал. 2008. №3. С. 75–81.

19. *Щепочкин С.В.* О тепловом балансе процесса резания древесины круглыми пилами. Изв. вузов Лесной журнал. 2009. №3. С. 101–107.

20. *Щепочкин С.В.* Измерительная система для регистрации температурных полей зуба пилы. Сборник научных трудов факультета МТД. Вып. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 116–119.

21. *Щепочкин С.В.* Экспериментальные исследования коэффициентов теплоотдачи режущей части круглых пил. Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды VI международного евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2011. С. 324–331.

References

1. *Opalchuk A.S., Aftandilyants Y.G., Rogovskii L.L., Semenovsky O.Ye., Rogovskii I.L.* (2013). Materialoznavstvo i tenologiya konstruktsiynih materialiv. Pidruchnik - Nizhin: Vidavets Lysenko PP, MM, 2013. 752.

2. *Abelskaya S.* (2012). On the temperature field of the rotating floppy disk. Journal of Engineering Physics. Volume XX. №2. 338-343.

3. *Agapov A.I.* (1989). Transformation of cutting corners when sawing wood saws. Woodin. prom-st. №5. 6-7.

4. *Bershad A.L.* (1975). Cutting wood. Minsk High School, 304.

5. *Kapustin A.V.* (2003). Features of the calculation of the coefficients wood species. Mari State Technical University. Yoshkar-Ola, 5.: 1-yl. Bibliogr .: 2 titles. Rus Dep. In VINITI 13.02.2003; №290-in 2003.

6. *Kapustin A.V.* (2002). Mathematical modeling of processes of cutting wood. Sixth Vavilov Reading. Yoshkar-Ola, Mari State Technical University, 204-205.

7. *Logs, N.A., Milling N.A.* (1979). Wood. Ridge. Moscow. Forest. prom-st, 200.

8. *Lopatin, A.M.* (2002). Perfection of designs and a substantiation of parametres of the circular cutter tooth brush cutter: Abstract Dis. cand. tehn. Science. Yoshkar-Ola, 2002. 19.

9. *Lubchenco, V.I.* (1986). Cutting wood and wood materials: Textbook for high schools. Moscow. Forest. prom-st, 296.

10. *Mazurkin, P.M.* (2001). Bioengineering modeling of processes of cutting wood: Scientific publication. Yoshkar-Ola: Mar STU, 80.

11. New ways of cutting wood (1979). Proc. Manual/ Ed. V.E. Petchenkin, P.M. Mazurkin. Gorky: GGU, 90.

12. *Opalchuk A.S., Rogovsky L.L., Semenovsky O.Y., Rogovskii I.L.* (2015). Materialoznavstvo i tenologiya konstruktsiynih materialiv. The Teaching posibnik-Nizhin: Vidavets Lysenko PP, MM, 426.

13. *Pashkov V.K.* (2003). Basic research. Ekaterinburg USFEU. 86.

14. *Pashkov V.K.* (2005). Measuring system for recording the temperature fields sawtooth/ Collection of

scientific works of the Faculty of MTD. Vol. 1/ Ekaterinburg USFEU, 116-119.

15. *Pinchevska Olena, Sedliačik Ján, Horbachova Oleksandra, Spirochkin Andriy, Rohovskyi Ivan*. (2019). Properties of hornbeam (Carpinus betulus) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 2019. Vol. 61(2). 25−39, DOI: 10.17423/afx.2019.61.2.03. https://www.scopus.com/sourceid/7700153234. Scopus.

16. *Suitcases, A.N.* (2002). Wood and timber products: References. Yoshkar-Ola Mari State Technical University, 304.

17. *Shchepochkina S.V.* (2006). To estimate the heat fluxes and average temperatures circular saw tooth. Math. universities. Forest magazine. №1. 58-61.

18. *Shchepochkina S.V.* (2008). Temperature Field circular saw tooth. Math. universities Forest magazine. №3. 75-81.

19. *Shchepochkina S.V.* (2009). About the heat balance of the process of cutting wood circular saws. Math. universities Forest magazine. №3. 101-107.

20. *Shchepochkina S.V.* (2005). Measuring system for registering temperature fields saw tooth. Collection of scientific works of the Faculty of MTD. Vol. 1. Ekaterinburg USFEU, 116-119.

21. *Shchepochkina S.V.* (2011). Experimental study of heat transfer coefficients of the cutting circular saws. Woodworking: technology, equipment, management of the XXI century. Proceedings of the VI International Eurasian symposium. Ekaterinburg, 324-331.

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕРІВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

А. Е. Семеновский, И. Н. Кудрявский

Аннотация. Анализ явлений, возникающих в процессе обработки древесины резанием определил необходимость проведения исследований направленных на оптимизацию режимов изготовления деталей мебельной отрасли. При этом особый интерес вызывают недостаточно исследованные переходные режимы, с точки зрения скорости резания, которые имеют место при обработке сложно профильных поверхностей открытого и закрытого типов, таких как прямые и фигурные пазы, а также объёмные фасонные отделочные детали. При обработанные материалов резанием работа трения инструмента по заготовке обуславливает образование и выделение значительного количества энергии в виде теплоты. Именно поэтому в наших исследованиях особое внимание было уделено определению температур в зоне резания при обработке инструментом, который имеет разную шероховатость поверхностей. При обработке древесины практически отсутствуют достоверные данные исследований реального распределения тепловой энергии, что обусловлено незначительной теплопроводностью материала, а также сложностью процессов измерения температуры в зоне резания при обработке многорезцовым инструментом. Проанализировав существующие методики определения температуры в зоне резания и проведя ряд предыдущих экспериментов, в наших исследованиях мы использовали методику определения температур методом искусственной термопары. По результатам опытов построены графические зависимости. Это позволило сделать вывод, что температура в зоне резания при обработке древесины, от шероховатости поверхностей инструмента зависит больше, чем от усилия резания. Степень влияния этого фактора определялось с построенной графической зависимости температуры, как функции шероховатости в логарифмических координатах. Проведенные исследования позволили ввести дополнения в эмпирическое уравнение, применяемое для определения температуры в зоне резания при обработке в интервале переходных режимов резания. В работе определены действительные значения температур лезвия инструмента за счет использования цветов побежалости, образующихся на поверхности в диапазоне максимально возможных температур при обработке древесины. Определены температуры, которые вызывают обуглевание обработанных поверхностей древесины. Полученные результаты наглядно показали, что при уменьшении трения в зоне резания, за счет снижения шероховатости поверхности инструмента, возможно снижение температуры, что является позитивным фактором.

Ключевые слова: температура, резание древесины, лезвие инструмента, фрезерование, стружка, цвета побежалости, термопара, шероховатость, абразивная обработка.

ON IMPACT PARAMERS WOODWORKING ON TEMPERATURE IN CUTTING ZONE

O. Ye. Semenovskii, I. M. Kudryavsky

Abstract. Analysis of the phenomena occurring during the treatment of wood by cutting identified need for research aimed at the optimization of manufacturing conditions of parts of the furniture industry. With particular interest are insufficiently investigated transients, in terms of cutting speed, which occur in the processing of complex shaped surfaces of open and closed types, such as straight and curly grooves, as well as three-dimensional shaped trimmings. When processed friction materials by cutting work tool on the workpiece causes the formation and evolution of considerable energy in the form of heat. That is why in our studies, special attention was paid to determining the temperature in the cutting zone in the processing tool, which has a different surface roughness. When processing timber almost no reliable research data real distribution of thermal energy due to low thermal conductivity material, as well as the complexity of the temperature measurement process in the cutting zone when processing tool. After analyzing the existing methods for determining the temperature in the cutting zone and through a series of previous experiments, in our research we used the method of determining the temperature of artificial thermocouple method. According to the results of experiments built graphical dependence. This led to the conclusion that the temperature in the cutting zone while processing wood, the roughness of the surface depends on the tool is greater than the cutting force. The degree of influence of this factor was determined with the constructed graphical dependence of the temperature, as the roughness function in logarithmic coordinates. The studies allowed to enter the supplement in an empirical

equation that is used to determine the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. applied for detecting the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. applied for detecting the temperature in the cutting zone while processing transients in the range of cutting conditions. The paper defines the actual tool blade temperature values by using a tint formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor. formed on the surface in the range of the maximum possible temperature in the processing timber. Temperatures that cause treated wood surfaces. The results clearly showed that reducing the friction in the cutting area, by reducing the surface roughness of the tool, possibly lowering the temperature, which is a positive factor.

Key words: temperature, wood cutting, tool blade, milling, shavings, rush colors, thermocouple, roughness, abrasive processing.

О. Є. Семеновський ORCID 0000-0003-3358-1297.
І. М. Кудрявський ORCID 0000-0003-4732-7353.