

Я.П. Коваленко, аспірант*Державний університет «Житомирська політехніка»***І.А. Бойко, к.т.н., доц.***АТ «Мотор Січ», Запоріжжя***П.П. Мельничук, д.т.н., проф.***Державний університет «Житомирська політехніка»*

Застосування методу скінчених елементів для пошуку шляхів оптимізації температурного поля при різанні інструментами із ПКНБ групи ВL

Інтенсифікація машинобудівної галузі сьогодні пов'язана з розробкою новітніх методів дослідження процесів виготовлення деталей машин та із вдосконаленням високошвидкісних процесів різання. В промисловості все частіше впроваджують процеси металообробки інструментами із надтвердих матеріалів, що дають значне підвищення продуктивності, якості оброблюваної поверхні та вдосконалення режимів різання лезовим інструментом. Усі ці параметри визначаються багатьма факторами, а саме конструктивними та геометричними елементами різальної частини, матеріалом різального інструменту, стружкоутворенням, умовами охолодження різальних кромок, що в подальшому формує умови для вибору продуктивних режимів різання. Вибір матеріалу інструментів є одним із найважливіших параметрів, що забезпечує високу продуктивність процесу різання. Поширеного застосування здобув полікристалічний кубічний нітрид бору групи ВL для лезових інструментів. Але під час високоінтенсивних процесів обробки постають питання з оптимізації температурних полів у зоні обробки. Ще більш складним завданням є дослідження процесів високошвидкісної обробки з визначенням температурних режимів та технологічних процесів як в науковому середовищі, так і безпосередньо в промисловому виробництві. Вирішення цих завдань може бути здійснено шляхом моделювання робочих процесів різання, зокрема застосуванням методу скінчених елементів, що дасть побудову нових моделей у термобаричних процесах під час різання.

Ключові слова: *полікристалічний кубічний нітрид бору; температурні режими; метод скінчених елементів; механічна обробка; режими різання.*

Актуальність теми. Одним із головних факторів, що обумовлює процес різання, є температура в зоні різання. Цей показник значно впливає на зношування інструменту, характер наростоутворення, якість поверхні деталей та інші показники. Підвищити точність розрахунково-експериментального визначення температури різання можливо шляхом застосування програмного забезпечення, що дозволить розв'язувати задачі теплофізики за допомогою методу скінчених елементів. Основною умовою, що визначає відповідність прийнятої моделі реальним умовам, що мають місце в процесі різання, є адекватна постановка граничних умов (зокрема, теплового навантаження на контактних та тепловіддачі на вільних поверхнях інструменту). Також у сучасній галузі машинобудування перспективним напрямом у покращенні продуктивності процесів різання є зміна конструктивних рішень та геометричних параметрів різального інструменту, які дозволяють суттєво збільшити величину поздовжньої подачі. При цьому необхідною передумовою є забезпечення високої якості обробки, яка відповідає вимогам, що заявлені до процесів фрезерування. Однією із нових тенденцій є розвиток високошвидкісної обробки. Характерною особливістю такої обробки є зменшення інтенсивності росту температури різання, зниження сил різання, зниження шорсткості оброблюваної поверхні та покращення якості параметрів поверхневого шару виробів. Але в той же час під час високошвидкісної обробки має місце значне зношування інструменту, яке обумовлюється складною фізико-хімічною контактною взаємодією в зоні різання. Ці питання певною мірою вирішуються за рахунок застосування інструментів, оснащених композитами на основі полікристалічного кубічного нітриду бору групи ВL. Такий матеріал характеризується покращеними механічними властивостями, теплофізично-хімічною стійкістю, що дозволяє розробити новітні принципи управління процесами механіки контактної взаємодії матеріалу інструменту з оброблюваними елементами навколишнього середовища, розробкою конструкції інструмента, яка базується на сучасних закономірностях процесів різання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. У роботах [1–2] С.А. Клименка розглянуто технологічні можливості різальних інструментів, які оснащені полікристалічними надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору (КНБ) груп ВН, ВL, ВС, та показані приклади ефективного застосування. Роботи науковців, таких як М.П. Мазур [3], Д.В. Криворучко, В.О. Залого [4], сформували сучасні методи моделювання процесів різання методом скінчених елементів, що дає можливість забезпечувати прогнозування температурного поля, проєкції сил

різання, форм та розмірів стружки і оброблюваної поверхні. Розглянуто результати термобаричних досліджень [5], а саме теплофізика контактної взаємодії в зоні різання інструментами із ПКНБ групи VL авторами С.А. Клименко, А.С. Манохіним, Ю.О. Мельничуком з використанням методу скінченних елементів та даних, які отримані від штучної термопари, що встановлена в інструменті під опорною поверхнею різальної пластини із ПКНБ. Розробка методики та відповідних моделей, які призначені для експериментально-аналітичного визначення залежності температури, відображаються у розв'язанні задач теплопровідності [6]. Автори [7] пропонують сучасний підхід та розрахунки процесів вільного різання заготовки із композитного матеріалу методом скінченних елементів.

У роботі [8] А.С. Гаюра, Ю.Бень, М.П. Мазура наведено опис скінченноелементної моделі процесу вільного ортогонального різання лезовим інструментом із покриттям та здійснено моделювання теплових явищ процесів різання методом скінченних елементів. Також вагома кількість експериментальних досліджень у термобаричних процесах обробки здобули широке розповсюдження в роботах В.Ф. Боброва, М.О. Нодельмана, В.Б. Крижанівського, М.М. Зорева, а також багато скінченноелементної реалізації побудовано зарубіжними дослідниками, що отримали побудовані моделі, зокрема J.N. Wince, N.Fang, Y.C. Yen, Park, T.Ozel, T.Altan.

Метою статті є огляд методів моделювання процесів різання інструментами, оснащеними ПКНБ групи VL, визначення характеристик теплового поля в зоні різання при обробці загартованих сталей в машинобудівній галузі із застосуванням методу скінченних елементів.

Викладення основного матеріалу. Вимоги до проектування в машинобудівній галузі постійно збільшуються. Це відбувається у зв'язку з впровадженням нових технологічних процесів, режимів, матеріалів під час виготовлення деталей з високими вимогами до розмірної точності та експлуатаційного ресурсу, тому найбільш вигідним методом стає застосування числового моделювання. Одним із сучасних та доступних методів числового моделювання, який знайшов широке застосування в галузі інженерно-технічного аналізу, є метод скінченних елементів, тому що цей метод є більш досконалим інструментом для проведення розрахунків та вирішення завдань забезпечення надійності та регулювання силових параметрів.

Метод скінченних елементів дозволяє поєднати три найважливіші особливості процесів різання, а саме теплові явища, пластичні деформації та відведення стружки, тертя на поверхні інструменту.

Розрахунок температурного поля [4, с. 118], що виникає в результаті теплопровідності, базується на інтегруванні диференційного рівняння теплопровідності Фур'є:

$$\rho C_v \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dx_i} \left(\lambda \frac{dT}{dx_i} \right) + Q, \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності; C_v – масова теплоємність; ρ – густина; Q – потужність об'ємних теплових джерел.

Граничні умови при розрахунку температурного поля (рис. 1):

- температура на границі тіла – $T = T_s$;
- тепловий потік на контактній границі – $\lambda \frac{dT}{dx_i} n_i = q_s$,

де $q_s = \tau_{ii}$.

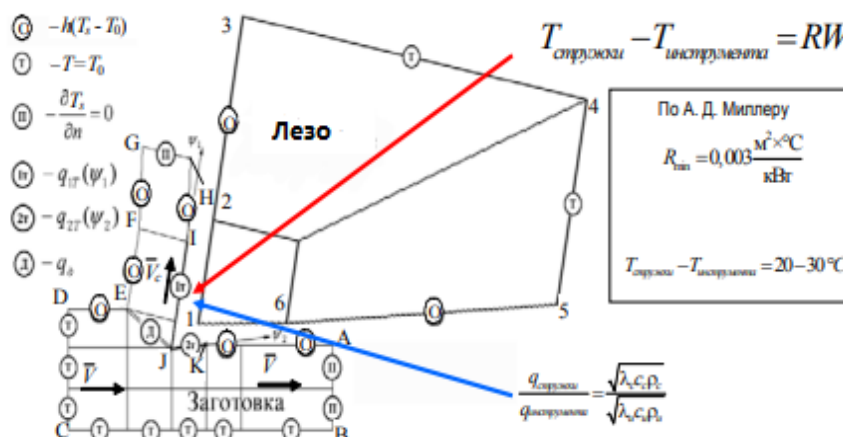


Рис. 1. Граничні умови при розрахунку температурного поля

Одним з головних параметрів [9, с. 35], що визначає процес різання, є характеристика температури в зоні різання. Унаслідок пластичних деформацій та тертя в зоні різання виникає висока температура, яка суттєво впливає на зношування інструменту, коефіцієнт тертя, якість оброблюваної поверхні та інші

показники процесу. Тому для вибору оптимальних параметрів і режимів різання необхідно враховувати закономірності змін температури залежно від факторів, що на неї впливають.

При обробці пластичних матеріалів основним джерелом теплоутворення є:

- 1) пластична деформація в зоні стружкоутворення;
- 2) тертя стружки і заготовки об різець;
- 3) зона відділення стружки меншою мірою.

Тепло, що виникає під час різання, розповсюджується від точок з вищою температурою до точок з нижчою температурою. Формула теплового балансу при різанні металів має вигляд:

$$Q = Q_{стр} + Q_{ин} + Q_{заг} + Q_{сер}, \quad (2)$$

де Q – загальна кількість тепла (100 %); $Q_{стр}$ – кількість тепла, що відходить у стружку (50–86 %); $Q_{ин}$ – кількість тепла, що відходить в інструмент (40–10 %); $Q_{заг}$ – кількість тепла, що відходить у заготовку (9–3 %); $Q_{сер}$ – кількість тепла, що відходить в навколишнє середовище (1 %).

На поверхні інструмента, де мають місце високі нормальні навантаження (3–10 ГПа) та виникає тертя за високих температур інтенсивно зношується різальний інструмент.

Залежно від умов різання (виду оброблюваного матеріалу, інструментального матеріалу, його геометрії, режимів різання, умов охолодження тощо) можуть мати місце такі чотири види зносу, які треба передбачати під час моделювання.

Абразивно-механічний знос, тобто дряпання різця твердими включеннями, що знаходяться в оброблюваному матеріалі (карбіди, нітриди, наріст, стружка та ін.). Цей вид зносу переважає за відносно невисоких швидкостей різання і характерний для інструментів з інструментальних сталей.

Адгезійний знос, тобто виривання частинок інструмента внаслідок схоплювання контактних поверхонь різця зі стружкою та заготовкою. Він характерний для швидкорізальних сталей і найсильніше проявляється за хімічної спорідненості матеріалів різця і заготовки. Тому не рекомендується оброблювати титанові сплави різцями з твердих сплавів типу ТК або ТТК через підвищене адгезійне зношування.

Дифузійний знос полягає в тому, що за дуже високого тиску і температури понад 900 °С в зоні контакту сильно розм'якшуються поверхневі шари інструмента, в результаті чого атоми інструментального матеріалу активно дифундують (проникають) в стружку.

Крихкий знос відбувається при обробці інструментами з крихких матеріалів (тверді сплави, мінералокераміка), що мають властивість викришуватися.

Основні форми зносу різальної частини інструменту наведені на рисунку 2.

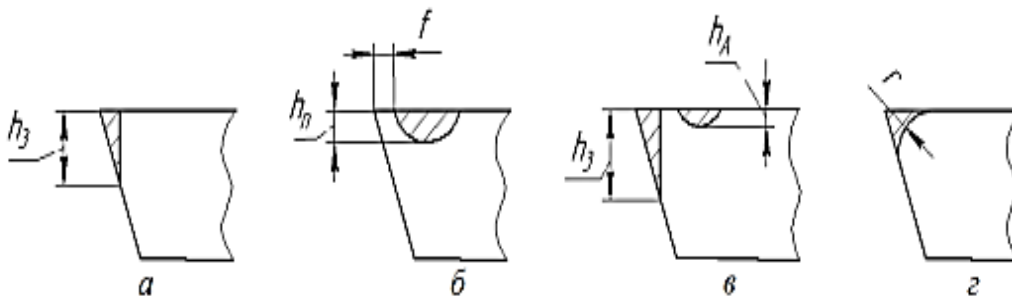


Рис. 2. Основні форми зносу різальної частини інструменту

а) переважно по задній поверхні. Найчастіше такий знос спостерігається за чистої обробки пластичних матеріалів з малою товщиною зрізу (до 0,1 мм), а також при обробці крихких матеріалів, коли утворюється стружка надлому;

б) переважно по передній поверхні, коли на ній утворюється лунка глибиною $h_{п}$. Спостерігається за чорнової обробки пластичних матеріалів з товщиною зрізу понад 0,5 мм, а також при великих швидкостях різання (внаслідок дифузійного зносу) і від'ємних передніх кутах;

в) одночасний знос по передній і задній поверхнях різця при обробці пластичних матеріалів з товщиною зрізу 0,1–0,5 мм;

г) за чистої обробки матеріалів, які мають низьку теплопровідність, наприклад, пластмас, різальна кромка інструменту плавно закругляється. [9, с. 35].

У [10] представлено методику, яка дозволяє визначити кількість теплоти, що виникає в результаті деформації матеріалу, тертя стружки на передній поверхні інструменту та тертя задньої поверхні інструменту по оброблюваній поверхні заготовки, а також розрахувати щільність теплових потоків і температуру на передній та задній поверхні інструменту.

Ця методика найбільш детально описує теплофізику процесу різання, тому є доцільним застосовувати до процесу фрезерування адаптовані основні характеристики теплонапруги процесу різання.

При кінцевому фрезеруванні заготовки, наприклад, із твердих сплавів чотиризубою фрезою діаметром $d = 12$ мм з округим кроком зубів: $\omega_1 = 88^\circ 40'$, $\omega_2 = 89^\circ$, $\omega_3 = 83^\circ 40'$, $\omega_4 = 98^\circ 40'$, переднім кутом $\gamma = 7^\circ$, заднім кутом $\alpha = 9^\circ$ та кутом нахилу гвинтової канавки $\omega = 43^\circ 30'$, на режимі: швидкість різання $v = 30$ м/хв, хвилинна подача $S_m = 160$ мм/хв, ширина фрезерування $B = 3$ мм та глибина фрезерування $t = 5$ мм, зміна щільності теплових потоків на передній та задній поверхнях зуба фрези залежно від кута його нахилу буде мати вигляд, показаний на рисунку 3.

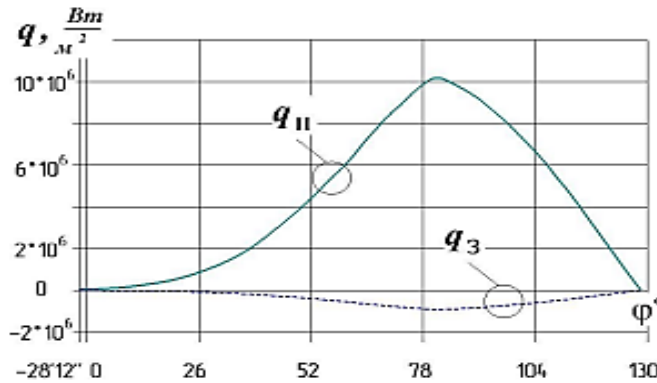


Рис. 3. Зміна щільності теплових потоків на задній та передній поверхнях інструменту залежно від кута нахилу зуба фрези

Авторами публікацій була отримана залежність, яка дозволяє визначити величину щільності теплового потоку, який вступає в заготовку, залежно від повороту зуба фрези. Залежність базується на формулах, які представлені в роботах А.Н. Резнікова. Якщо брати до розгляду самі формули, то загальну кількість теплоти (Вт), що виділяється при деформації матеріалу інструменту, визначають:

$$Q_d = 0,427 \left[P_{NO} v - (P_{NO} \cos \gamma + P_{ZO} \sin \gamma) \frac{v}{k_1} \right], \quad (3)$$

де P_{ZO} та P_{NO} – складові зусиль різання без врахування сил, які діють у зоні контакту «різальний клин – виріб», тобто

$$P_{ZO} = P_N - N_3; \quad P_{NO} = P_N - N_3, \quad (4)$$

N_3 – сила тертя задньої поверхні різального клину об заготовку;

$P_N = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ – нормальна складова сили різання;

P_z, P_y, P_x – відповідно головна, радіальна та осьова складові сили різання;

v – швидкість різання;

k_1 – коефіцієнт поздовжньої усадки стружки;

γ – передній кут різального клину.

Тоді кількість тепла (Вт) від деформації матеріалу, яке поступає в заготовку та інструмент, можна визначити при використанні залежності:

$$Q_{ди-з} = 0,427 \left[P_{ZO} v - (P_{NO} \cos \gamma + P_{ZO} \sin \gamma) \frac{v}{k_1} \right] (1 - b^*), \quad (5)$$

де b^* – коефіцієнт, який визначає, яка частина теплоти деформації йде в стружку.

Якщо враховувати, що сили різання при фрезеруванні є величиною змінною, то кількість теплоти, яка поступає в заготовку, також є величиною змінною, що залежить від кута повороту зуба фрези. Також слід зазначити, що при роботі фрезою з гвинтовим зубом спостерігається зміна площини контакту інструменту та заготовки, тому кінцева щільність теплового потоку, що поступає в заготовку, також буде функцією, яка залежить від кута повороту зуба фрези.

Розподіл щільності теплового потоку, який поступає в заготовку, в зоні різання залежно від кута повороту зуба фрези зображено на рисунку 4.

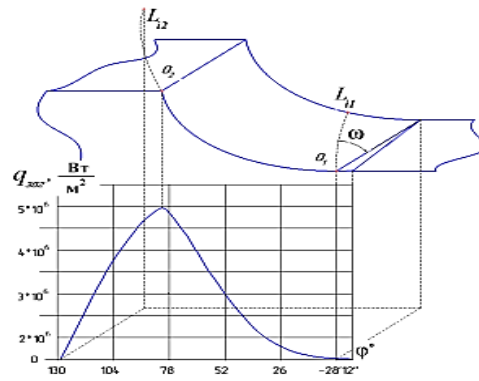


Рис. 4. Розподіл щільності теплового потоку, який поступає в заготовку, в зоні різання залежно від кута повороту зуба фрези

Довжину контакту інструменту з оброблюваною заготовкою автор [6] приймав відповідно за величину фаски зношування по задній поверхні, що дорівнює 0,1 мм. Ширина контакту відповідає довжині активної частини різальної кромки та визначається за формулою:

$$L = \sqrt{\frac{2Rt}{\sin \lambda} + \frac{S}{2 \cos \lambda}} \quad (6)$$

На рисунку 5 представлено діаграму Парето, яка відображає ступінь впливу коефіцієнтів поліноміальної моделі на параметр оптимізації. Із аналізу діаграми визначається, що найбільше на температуру в зоні контакту впливає швидкість різання, другий важливий фактор – це кут нахилу різальної кромки. Глибина різання та подача впливають не менше, хоча зі зростом глибини температура зростає більш швидко, ніж зі збільшенням подачі.

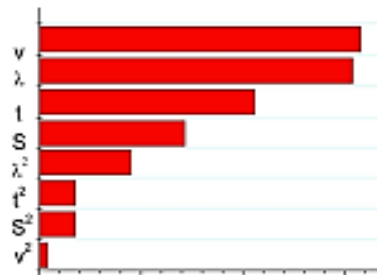


Рис. 5. Діаграма Парето

Аналіз даних [6] показує, що зі збільшенням кута нахилу різальної кромки температура різання зростає (рис. 6). Так зі збільшенням кута нахилу різальної кромки з 30 до 60° ($t = 0,1$ мм; $v = 1,4$ м/с; $h_z = 0,1$ мм; $S = 0,67$ мм/об) середня температура контакту збільшується з 800 до 1030°.

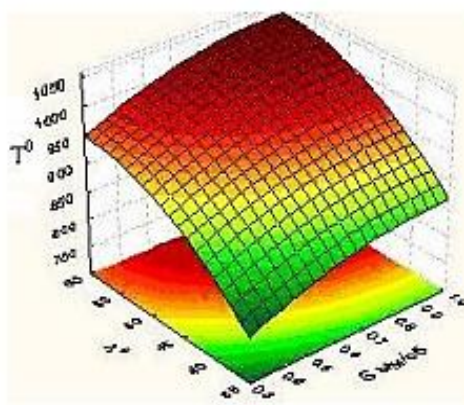


Рис. 6. Залежність температури різання від кута нахилу різальної кромки та подачі

Причинами росту температури у цьому випадку є збільшення середньої товщини зрізу (від 0,013 до 0,034 мм), ріст сили тертя на передній поверхні, а також збільшення сил, які діють на задню поверхню різця, що пов'язано зі зростом радіуса округлення різальної кромки ρ_k , що відображається у головній площині, та одночасним зниженням величини кінематичного заднього кута.

Спільна взаємодія вказаних параметрів приводить до зросту площі контакту оброблюваного матеріалу із задньою поверхнею різального інструменту і відповідно інтенсифікації процесів різання на площині зношування.

Ще на температуру впливає глибина різання, це зображено на рисунку 7.

З її зростом збільшується товщина шару, що зрізається, та ширина зрізу. Як результат, зростає потужність теплового потоку за рахунок збільшення довжини активної частини різальної кромки, загальна кількість теплоти, що поступає в інструмент від контактних площ різця зі стружкою та оброблюваним виробом.

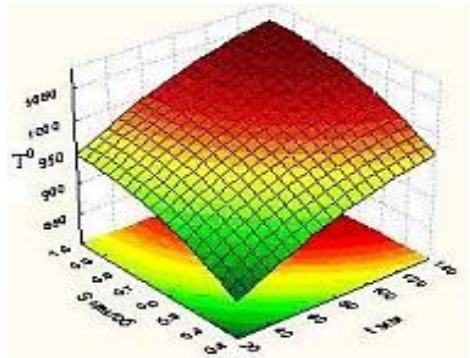


Рис. 7. Залежність температури різання від глибини різання та подачі

Спільна дія вказаних факторів є причиною інтенсивного підвищення температури в контрольних точках на підложжі пластини і середній температури різання. Зі збільшенням глибини різання від 0,05 до 0,1 мм температура на контактних поверхнях зростає на 50° ($t = 0,1$ мм; $v = 1,4$ м/с; $h_z = 0,1$ мм; $\lambda = 60^\circ$, $S = 0,67$ мм/об).

З подальшим збільшенням глибини різання інтенсивність зросту температури знижується. Вплив подачі відображається головним чином у збільшенні товщини шару, що зрізається. При $t = 0,1$ мм, $\lambda = 50^\circ$ та збільшенні подачі в діапазоні 0,3–1 мм/об a_{cp} збільшується від 8 до 34 мкм.

Швидкість різання є фактором, що здебільшого впливає на температуру в зоні контакту (рис. 8). При зміні швидкості різання в діапазоні від 0,5 до 1,5 м/с температура зростає з 880° до 1060° ($t = 0,1$ мм; $h_z = 0,1$ мм; $\lambda = 60^\circ$; $S = 0,67$ мм/об).

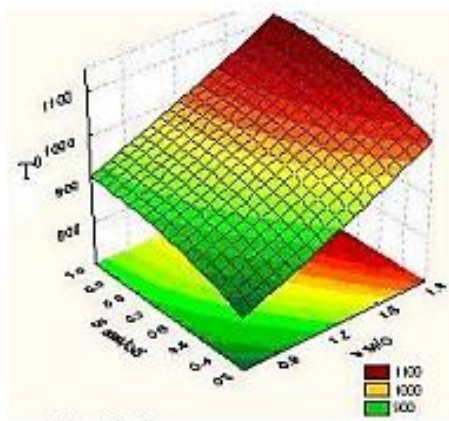


Рис. 8. Залежність температури різання від швидкості різання та подачі

Необхідно зауважити, що за рівних умов обробка з кутами нахилу різальної кромки ($30\text{--}40^\circ$) дає можливість застосовувати більш високі швидкості різання без суттєвого зниження періоду стійкості інструменту. Результати [6] утворення тепла певної щільності дозволяють застосовувати метод скінченних елементів, який наближений до лабораторних досліджень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Одним із головних параметрів процесів різання є температура в зоні різання. В тепловому полі внаслідок пластичних деформацій та тертя відбуваються високотемпературні процеси, що надалі впливають на якість поверхонь деталей та інші параметри.

Численні дослідження залежності температури від різних факторів показують, що температура в зоні різання залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, режиму різання, геометрії різального інструменту і багатьох інших умов. Найбільше на температуру в зоні різання впливає швидкість різання, меншою мірою впливає подача, а вплив глибини різання майже не виявляється. Аналітичний метод розрахунку теплових потоків та температур, розроблений багатьма науковцями, дає задовільний збіг з практичним застосуванням для невисоких швидкостей обробки інструментами із ПКНБ групи VL, у тому числі і у процесах фрезерування. Але для визначення температур при високошвидкісній обробці ці методи ще недостатньо розглянуті та апробовані. Тому, у зв'язку з цим, для визначення температури за більш високих швидкостей обробки має місце застосування методу скінченних елементів, що дозволить здобути результати розподілу температур у зоні різання. Моделі скінченних елементів мають великий перелік параметрів для вирішення різних поставлених завдань, різних форм скінченних елементів, різних наборів координатних функцій.

На сьогоднішній день вивчення експериментальних досліджень у зоні температурних полів не дає повну характеристику та розуміння протікання процесів різання, а також розрахунки, які представлені в низці робіт, не зовсім відповідають практичним рішенням, та не до кінця збігаються з експериментальними даними. Тому застосування практичного моделювання та створення математичних моделей процесів різання дозволить на основі універсальних визначень відповідності розглядати всі стадії процесу, зокрема, температурні діапазони, деформування, зношування інструменту, стружковідведення.

Метою наступних робіт авторів буде скінченноелементна реалізація процесів різання при фрезеруванні загартованих сталей інструментами із ПКНБ групи VL, застосування методів моделювання в процесах різання з використанням ідеології скінченних елементів.

Список використаної літератури:

1. *Клименко С.А.* Технологические возможности инструментов, оснащенных композитами на основе кубического нитрида бора / *С.А. Клименко, М.Ю. Копейкина, А.Ю. Чумак.* – Киев, 2017. – 54 с.
2. Контактные напряжения на передней поверхности инструментов, оснащенных композитами на основе кубического нитрида бора, при точении закаленной стали / *С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, А.С. Манохин и др.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/66395/1/Klymenko_Klymenko_Manokhyn_JES_2017_1_4_F8-F14.pdf.
3. *Мазур М.П.* Основы теории резания материалов / *М.П. Мазур.* – Хмельницький, 2018. – 195 с.
4. *Криворучко Д.В.* Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / *Д.В. Криворучко, В.О. Залого, Д.В. Залого* ; под общ. ред. *В.А. Залого.* – Сумы : Университетская книга, 2012.
5. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / *С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина и др.* – Киев : ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2018. – 51 с.
6. *Манохин А.С.* Температура резания при безвершинном точении закаленных сталей / *А.С. Манохин* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://library.ztu.edu.ua/e-copies/Zbirnyk/Process_obrobky_6/19.pdf.
7. *Щуров И.А.* Моделирование процесса резания заготовок из композитных материалов с применением метода конечных элементов / *И.А. Щуров, И.С. Болдырев* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protsesta-rezaniya-zagotovok-iz-kompozitnyh-materialov-s-primeneniem-metoda-konechnyh-elementov/viewer>.
8. *Мазур М.П.* Моделирование тепловых явищ процесу різання інструментом з покриттям методом скінченних елементів / *М.П. Мазур, А.С. Гаюр, Ю.Бень* // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХП». – 2014. – Вип. 9. – 183 с.
9. *Романченко О.В.* Інтегровані технології машинобудування / *О.В. Романченко* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://moodle2.snu.edu.ua/pluginfile.php/118811/mod_resource/content/1/Лекції.pdf.
10. *Резников А.Н.* Теплофизика резания / *А.Н. Резников.* – М. : Машиностроение, 1969. – 288 с.

References:

1. Klimentko, S.A., Kopeikina, M.Yu. and Chumak, A.Yu. (2017), *Tekhnologicheskie vozmozhnosti instrumentov, osnashchennykh kompozitami na osnove kubicheskogo nitrída bora*, Kiev, 54 p.
2. Klimentko, S.A., Klimentko, S.An., Manokhin, A.S. et al. (2017), *Kontaktnye napryazheniya na perednei poverkhnosti instrumentov, osnashchennykh kompozitami na osnove kubicheskogo nitrída bora, pri tochenii zakalЕННОI stali*, [Online], available at: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/66395/1/Klymenko_Klymenko_Manokhyn_JES_2017_1_4_F8-F14.pdf
3. Mazur, M.P. (2018), *Osnovy teorii' rízan'nykh materialiv*, Hmel'nyckyj, 195 p.
4. Krivoruchko, D.V., Zaloga, V.O. and Zaloga, D.V. (2012), *Modelirovanie protsessov rezaniya metodom konechnykh elementov: metodologicheskie osnovy*, monografiya, in Zaloga, V.A. (ed.), Universitetskaya kniga, Sumy.

5. Klimentenko, S.A., Manokhin, A.S., Kopeikina, M.Yu. et al. (2018), *Vysokoproizvoditel'naya chistovaya lezviinaya obrabotka detalei iz stalei vysokoi tverdosti*, ISM im. V.N. Bakulya, Kiev, 51 p.
6. Manokhin, A.S., *Temperatura rezaniya pri bezvershinnom tochenii zakalennykh stalei*, [Online], available at: http://library.ztu.edu.ua/e-copies/Zbirnyk/Process_obrobky_6/19.pdf
7. Shchurov, I.A. and Boldyrev, I.S., *Modelirovanie protsessa rezaniya zagotovok iz kompozitnykh materialov s primeneniem metoda konechnykh elementov*, [Online], available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssesa-rezaniya-zagotovok-iz-kompozitnykh-materialov-s-primeneniem-metoda-konechnykh-elementov/viewer>
8. Mazur, M.P., Gayur, A.S. and Ben', Yu. (2014), «Modeljuvannja teplovyh javyssh procesu rizannja instrumentom z pokryttjam metodom skinchennyh elementiv», *Suchasni tehnologii' v mashynobuduvanni*, zb. nauk. prac', NTU «HPI», Harkiv, Issue 9, 183 p.
9. Romanchenko, O.V., *Integrovani tehnologii' mashynobuduvannja*, [Online], available at: http://moodle2.snu.edu.ua/pluginfile.php/118811/mod_resource/content/1/Lektsii.pdf
10. Reznikov, A.N. (1969), *Teplofizika rezaniya*, Mashinostroenie, M., 288 p.

Коваленко Яна Павлівна – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- температурні режими.

Бойко Ігор Андрійович – кандидат технічних наук, начальник цеху в АТ «Мотор Січ», Запоріжжя.

Наукові інтереси:

- верстатобудування;
- металообробка.

Мельничук Петро Петрович – доктор технічних наук, професор Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-7071-651X>.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- роботизовані технології.

Kovalenko Ya.P., Boiko I.A., Melnychuk P.P.

Application of the finite element method to search for ways to optimize the temperature field when cutting with tools from the BL group PCNB

The intensification of the machine-building industry today is connected with the development of the latest methods of researching the processes of manufacturing machine parts and with the improvement of high-speed cutting processes. Metalworking processes with tools made of ultra-hard materials are increasingly being implemented in industry, which provide a significant increase in productivity, the quality of the machined surface and improvement of cutting modes with a blade tool. All these parameters are determined by many factors, namely the structural and geometrical elements of the cutting part, the material of the cutting tool, chip formation, the conditions of cooling the cutting edges, which further forms the conditions for choosing productive cutting modes. The choice of tool material is one of the most important parameters that ensures high productivity of the cutting process. Polycrystalline cubic boron nitride of the BL group for blade tools has become widely used. But during high-intensity processing processes, questions arise about the optimization of temperature fields in the processing zone. An even more difficult task is the study of high-speed processing processes, with the determination of temperature regimes, and technological processes, both in a scientific environment and directly in industrial production. Solving these problems can be done by modeling the working processes of cutting, in particular, using the finite element method, which will allow the construction of new models in thermobaric processes during cutting.

Keywords: polycrystalline cubic boron nitride; temperature regimes; finite element method; mechanical processing; cutting modes.

Стаття надійшла до редакції 15.07.2022.