

- створено класифікацію та розподіл діапазонів швидкостей в залежності від їх призначення та галузі науки, що вивчає та використовує швидкість;
- обґрунтовані процеси високошвидкісної обробки на основі аналізу їх фізико-механічних особливостей;
- розглянутий вплив всіх параметрів на продуктивність, температуру, зношення інструменту та інше.

Продуктивність обробки в зв'язку з підвищенням рівня швидкостей різання значно зростає, це може досягати в 3...10 разів. Велика швидкість робить надшвидкісне різання економічно ефективним, особливо при обробці спеціальних матеріалів та деталей. Зростанням темпів виробництва за останні роки в Україні дає привід для подальших розглядів цього перспективного напрямку.

Література

1. Kronenberg M. Gredanken zur Theorie und Praxis der Ultra – Schnellspannung // Tech. Zbl. Prekt Mezallbearb. – 1961. – Bd. 56 – №8 – S. 443 – 446.
2. Kronenberg M. Zweiter Bericht über Vervielfachung heute üblicher Schnittgeschwindigkeiten – Werkstattstechnik. – 1961. – Bd. 51 – №3 – S. 141.
3. Полосаткин Г. Д., Караваева В. Л. Резание металлов сверхвысокими скоростями // Обработка жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев. -1962. – С. 95 – 103 с.
4. Ящерицин П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск: Высшая школа, 1990. – 512 с.
5. Держук В.А., Діордіца І.Н., Глоба А.В., Пінковський Н.В., Майданюк С.В., Пливак С.В. Аналіз фізических явлений происходящих при высокоскоростной обработке // Вісник Українського державного технологічного університету. – 2002. -№2. – С. 68 – 73.

Держук В.А., Севериненко О.Л. **Повышение производительности изготовления деталей.**
В данной работе проведены обоснования одного из перспективных методов повышения производительности изготовления деталей приборов путем увеличения скорости обработки. Также выявлено влияние разных факторов на данный процесс изготовления.

Derguk V.A., Severinenko O.L. **The increase productivity of the details instruments processing**
In the given activity the substantiations of one of perspective methods of a raising the productivity of manufacturing of parts of devices are conducted by increase of processing speed. Also influencing of the miscellaneous factors on the given process of manufacturing are detected.

Надійшла до редакції
24 січня 2003 року

УДК 621.793

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛА В ЗАГОТІВЦІ ПРИ НАДШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Усачов П.А., Іваненко Н.В., Національний технічний університет України “Київський політехнічний Інститут”, м. Київ, Україна

У статті розглядається новий підхід до рішення проблеми прогнозу розподілу тепла в перетинах заготовки при надшвидкісному фрезеруванні.

Вступ

Питання дослідження характеристик процесу різання при високошвидкісному фрезеруванні є актуальним, позаяк полегшує процес проектування технологічних процесів обробки поверхонь деталей надшвидкісним фрезеруванням, а також конструювання верстатів для високошвидкісної обробки матеріалів, розробки нових інструментів та дозволяє покращити техніко-економічні показники виробництва в цілому. Застосування вище згаданих верстатів у свою чергу дозволяє підвищити продуктивність не знижуючи показників якості.

При вирішенні поставленого завдання були проведені експериментальні дослідження, внаслідок чого сформульовано низку гіпотез. Так роботи [1 - 4] дають теплофізичне обґрунтування можливості використання надвисоких швидкостей різання при механічній обробці поверхонь деталей і направлена на перевірку авторами нової гіпотези можливості обробки металів різанням при надвисоких швидкостях. За основу були взяті результати експериментальних випробувань, проведених в МВТУ ім. Баумана процесу переривчастого різання металів зі звичайними швидкостями [1].

Проведені випробування процесу переривчастого різання зі звичайними швидкостями різання довели, що можливо керувати тепловим режимом технологічної операції в умовах переривчастого різання шляхом підбору періодизації, часу робочого та холостого ходу.

Однією зі складових, котрі впливають на якість обробленої поверхні є проблема прогнозування розподілу тепла в заготівці при надшвидкісному фрезеруванні, що є метою даної роботи. Теплотворення і тепловідвід відіграють велику роль при обробці металів різанням, тому що вони змінюють механічні і фізичні характеристики оброблюваного матеріалу, впливають на продуктивність процесу і якості обробленої поверхні.

Аналіз факторів, що визначають тепловиділення і тепловіддачу в процесі обробки деталі різанням, дозволив установити, що найбільший вплив на температуру в зоні різання роблять теплофізичні властивості оброблюваного матеріалу, швидкість різання, а також теплообмін між зоною різання та оброблюваним матеріалом.

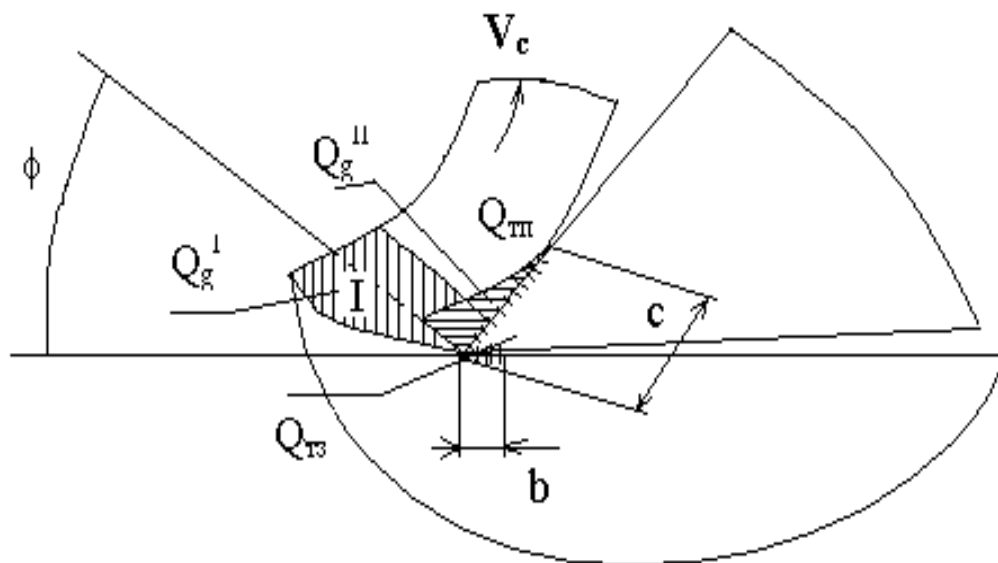
Моделювання розподілу тепла в заготівці

Розглянемо процес різання матеріалу. На рис. 1 а наведено зображення утворення джерел теплоти, що виникають в процесі різання. На рис. 1 б наведено епюри розподілу тепла в зоні різання.

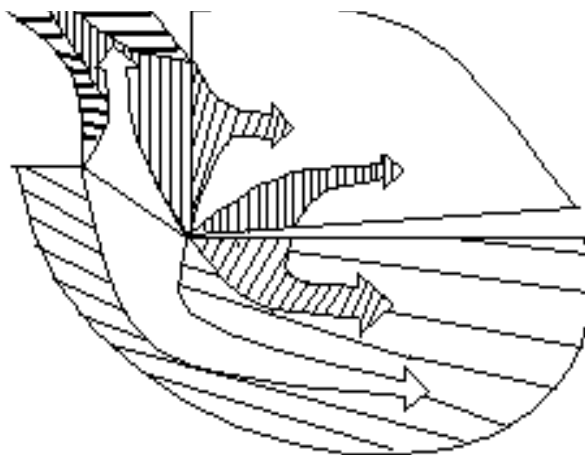
Розподіл тепла між стружкою, деталлю, інструментом і навколишнім середовищем залежить від швидкості різання. Як видно з рис. 2, великий відсоток тепла при різанні йде в оброблюваний матеріал, але з підвищенням швидкості різання відсоток тепла, що відходить в оброблюваний матеріал, зменшується.

Тому, призначаючи параметри процесу різання, важливо знати, як буде розподілено тепло в заготівці при обробці її з заданими параметрами. Отже для прогнозу розподілу тепла в заготівці пропонується виконання наступних мате-

матичних перетворень із застосуванням методу кінцевих елементів, теореми Гауса та методу Гальоркіна.



а)



б)

Рисунок 1 - Джерела утворення (а) і розподіл потоків (б) тепла

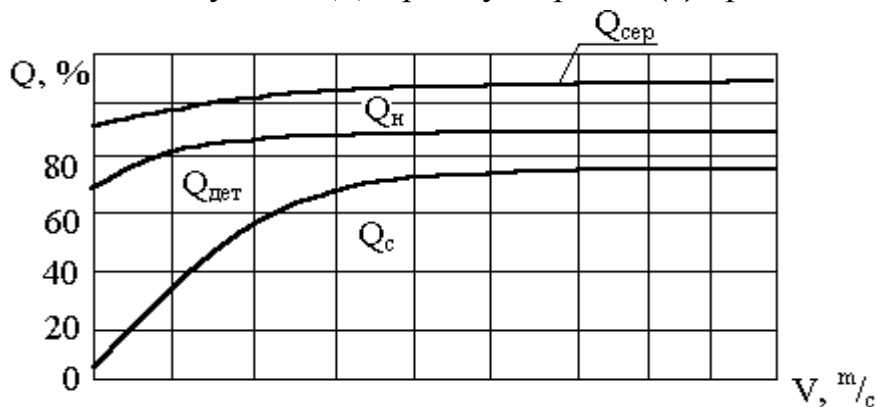


Рисунок 2 - Розподіл тепла між стружкою, деталлю, інструментом і навколишнім середовищем

Процес поширення тепла в заготівці при кінцевому і торцевому надшвидкісному фрезеруванні можна описати диференціальними рівняннями в частинних похідних, що має вид [3]

$$\rho \times c \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial T}{\partial X} + V_y \frac{\partial T}{\partial Y} + V_z \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \frac{\partial}{\partial X} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + Q \quad (1)$$

Рівняння (1) повинно задовольняти наступним межовим умовам на поверхні S_T (на верхній межі поширення тепла $T=T_S$ (тут T_S – відома температура уздовж поверхні S_T); на поверхні S_q (на ділянці, через які йдуть потоки тепла в деталь) $\alpha \partial T / \partial p = -q$ (тут α - коефіцієнт теплопровідності матеріалу поверхні; p - нормаль до поверхні S_q ; q - тепловий потік у напрямку до нормалі p); на поверхні $S_{\infty \text{отд}}$ (на ділянці контакту з навколишнім середовищем) $K \partial T / \partial p = \alpha_{\text{отд} \infty}$ - температура навколишнього середовища).

Однак у випадку, коли розглядається поширення тепла в перетинах заготовок, перпендикулярних обробленим поверхні, адекватний опис процесу поширення тепла дає рівняння другого порядку.

Таке рівняння в області W має вид:

$$\rho \times c \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial T}{\partial X} + V_y \frac{\partial T}{\partial Y} \right) = \frac{\partial}{\partial X} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \sum_{i=1}^n q_i \times \delta(x - x_i) \times \delta(y - y_i) \quad (2)$$

де T - температура заготовки в точці (x, y) у момент часу τ , V_x і V_y - проекції вектора швидкості джерел тепла, що переміщуються, на осі X і Y відповідно; K_x і K_y - коефіцієнти теплопровідності заготовки відповідно в напрямках OX і OY ; ρ - густина матеріалу заготовки; c - питома теплоємність матеріалу заготовки; n - число джерел тепла; q - тепловий потік i -го джерела; X_i і Y_i - координати джерел тепла.

Для ізотропного матеріалу по напрямках X і Y виконуються рівності

$$q_x = -K_x \frac{\partial T}{\partial X}, \quad (3)$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial T}{\partial Y}$$

Співвідношення (2) і (3) визначають систему диференціальних рівнянь, що описують розглянуту задачу поширення тепла в перерізах заготовки.

Для рішення системи рівнянь задані початкові умови:

$$T(x, y, 0) = T_0(x, y), \quad \tau = 0 \quad (4)$$

та граничні умови [2]

$$K_x \frac{\partial T}{\partial X} L_x + K_y \frac{\partial T}{\partial Y} L_y + \alpha(T - T_\infty) = 0, \quad x, y, \in \partial W, \quad (5)$$

де L_x і L_y - направляючі косинуси зовнішньої нормалі до межевої поверхні; α - коефіцієнт тепловіддачі, величина якого залежить від властивостей навколишнього середовища; T_∞ - температура навколишнього середовища; $T_0(x, y)$ - початкова температура в точці (x, y) .

Рішення задачі (2) – (5) ускладнюється тим, що коефіцієнти теплопровідності є функціями координат і часу. Метод кінцевих елементів, на відміну від кінцево-різницевого [3], дозволяє одержати апроксимацію похідної в деякій облас-

ті. Область заготовки W розподілямо на кінцеве число елементів так, що рішення апроксимовано сумою:

$$T(x, y, \tau) \cong \sum_{i=1}^m N_i(x, y) T_i(\tau), \quad (6)$$

де N_i - власні функції оператора управління (2); T_i – дискретне представлення функції $T(x, y, \tau)$ і m – число вузлових точок в області W .

Рівняння відносно функції T_i :

$$\int_W N_i \left[\left\{ \frac{\partial}{\partial X} \left(K_x \frac{\partial}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(K_y \frac{\partial}{\partial Y} \right) - V_x \frac{\partial}{\partial X} - V_y \frac{\partial}{\partial Y} \right\} \sum_{j=1}^m N_j T_j + \sum_{k=1}^l q_k \delta(x - x_k) \delta(y - y_k) - \frac{\partial}{\partial \tau} \sum_{j=1}^m N_j T_j \right] dx dy = 0, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

виходять прирівнюванням до нуля зважених нев'язань.

За допомогою інтегрування в роздріб і теореми Гауса рівняння (7) і граничні умови (5) можуть бути приведені до матричної форми:

$$[P]\{T\} + [H]\{T\}' - \{F\} = 0, \quad (8)$$

де $\{T\} = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}'$ і $\{T\}'$ позначають похідну вектора $\{T\}$ за часом. Елементи матриць H, P і вектора F визначаються рівністю (9)

$$H_{ij} = \sum_E \int \left(\frac{\partial N_i}{\partial X} K_x \frac{\partial N_j}{\partial X} + \frac{\partial N_i}{\partial Y} K_y \frac{\partial N_j}{\partial Y} \right) dx dy + \sum_E \int \left(N_i V_x \frac{\partial N_j}{\partial X} + N_i V_y \frac{\partial N_j}{\partial Y} \right) dx dy + \sum_{LE} \int N_i \alpha N_j ds$$

$$P_{ij} = \sum_E \int N_i N_j dx dy, \quad (10)$$

$$F_i = \sum_E \int N_i \sum_{k=1}^l q_k \delta(x - x_k) \delta(y - y_k) dx dy + \sum_{LE} \int N_i \alpha T_\infty ds, \quad (11)$$

де E – область відповідного елемента і крива LE відноситься лише до тих елементів, для яких визначені граничні умови (5).

Для вирішення рівняння (8) застосовується метод Галеркіна. Тимчасова область рівняння розподілиться на кінцеве число елементів так, що матриця

$$\{T\} = \sum_{s=0}^{s=k} N_s(\tau) \{T_s\}, \quad (12)$$

Рівняння для зважених нев'язань

$$\int_0^\tau N_s \left([H] \sum N_s \{T_s\} + [P] \sum \frac{\partial N_s}{\partial \tau} \{T_s\} - \{F\} \right) d\tau = 0, \quad S=1, 2, \dots, k \quad (13)$$

дозволяють одержати рекурентні формули для обчислення розподілу тепла $\{T_s\}$ в заготовці.

Висновки

Описаний метод застосовується для складання прогнозу розподілу тепла в перетинах заготовок при обробці їх кінцевими фрезами.

Для порівняння зображень розподілу тепла в заготовці, отриманих розрахунковим методом і експериментально, використовувалися термоіндикатори. На торці заготовок наносилися смужками термофарби. Після повного їхнього виси-

хання заготовки з'єднувалися, закріплювалися в машинних тисках і фрезерувалися. Розбіжність розрахункових і експериментальних ізотерм не перевищувало 7...10...10%

При надшвидкісному фрезеруванні швидкість поширення тепла була менше швидкості різання $V < V_{\text{різ}}$. Тому інструмент при обробці приходив у матеріал з температурою навколишнього середовища. При цьому показник шорсткості обробленої поверхні був значно вищого класу, ніж при звичайному фрезеруванні. Якщо при звичайному чистовому фрезеруванні одержують 7 клас шорсткості, то при надшвидкісному – 8...9 класи.

У подальшому розвитку данного напрямку є розробка і вдосконалення перспективних технологічних процесів надшвидкісного фрезерування поверхонь деталей, проектування нового обладнання, конструкцій фрез.

Література

1. Качалов В.С., Корнев С.С., Корнева В.М. Теплофизическое обоснование возможности использования сверхвысоких скоростей резания при механической обработке металлов //Труды МВТУ. –1986. -№ 453. –С. 3-11.
2. Усачев П.А., Нощенко А.Н. Основы повышения работоспособности режущего инструмента. -К.: Знання, 1983. -15с.
3. Усачев П.А., Нощенко А.Н. Расчет температурных полей зоны резания //Станки и инструменты. –1986. -№ 2. С.23-24.
4. Остафьев В.А., Чернявская А.А. Расчет нестационарных температурных полей при обработке металло резанием. -М.: ЦНИИЕЭ Строймаш, 1970. -16 с.

Усачов П.А., Иваненко Н.В. **Прогнозирование распределения тепла в заготовке при сверхскоростном фрезеровании**

В статье рассматривается новый подход к решению проблемы прогноза распределения тепла в сечениях заготовки

Usachov P.A., Ivanenko N.V. **Prognosis of the thermal distribution in workpiece at supervelocity milling**

In work state the new solution method of the problem of the prognosis of the thermal distribution in cut of the workpiece

*Надійшла до редакції
29 квітня 2003 року*