

УДК 629.9.1

Н. М. Піхоцький, С. С. Заєць, Г. В. Волобуєва
Національний технічний університет України “Київський
політехнічний інститут”

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

В даній статті показані основні теплофізичні закономірності, які мають місце в процесі формоутворення деталей різанням і можуть бути використані для діагностики процесу обробки.

Вивчення теплофізичних явищ та закономірностей, які мають місце під час формоутворення деталей є дуже важливим для діагностики процесу обробки, оскільки вони нерозривно пов'язані з іншими елементами процесу різання. Внаслідок виконання механічної роботи різання виділяється теплота, яку необхідно врахувати при визначенні оброблюваності деталі, розмірної стійкості інструменту та призначенні режимів різання, що в кінцевому результаті безпосередньо впливає на якість оброблюваної поверхні.

Сучасні системи діагностики направлені на покращення якості оброблюваної поверхні і отримання максимально точних розмірів деталей за рахунок визначення прямих параметрів процесу різання, не враховуючи фізичних причин їх зміни.

Одним із варіантів діагностики процесу різання є визначення оброблюваності деталі, з метою наступного корегування режимів обробки для отримання необхідної якості поверхні.

Під оброблюваністю матеріалу[1] розуміють сукупність його властивостей, які визначають параметри процесу проходження обробки. До числа показників оброблюваності, які розкривають суть цього терміну відносяться:

1. Сила різання (або момент обертання) в порівнянні з еталонним металом.
2. Ефективна потужність затрачена на здійснення різання в порівнянні з еталоном.
3. Усадка (повздовжня та поперечна), а також форма і розміри стружки, як міра пластичної деформації в зоні різання.
4. Якість поверхні обробленої різанням, в порівнянні з еталоном.
5. Інтенсивність зношування різального інструменту.
6. Теплота, яка виділяється під час взаємодії поверхні інструменту та деталі, а також її розподілення між оброблюваним матеріалом та інструментом, а також температура в зоні різання.
7. Енергозатрати на утворення одиниці маси стружки.

Розглянемо показник 6 більш детально. Під час проведення дослідів[2] встановлено, що в теплову енергію переходить до 90 % роботи пластичної деформації. Отже, кількість теплоти, яка виділяється під час обробки Q [3] можна визначити наступним чином:

$$Q = \frac{A}{E} = \frac{P_z \cdot V}{E}, \quad (1)$$

де A – робота пластичної деформації, E – механічний еквівалент тепла,
 P_z, V – відповідно сила та швидкість різання.

Розміщення джерел теплоти, яка утворюється під час токарної обробки деталі зображено на рис. 1. Кількість тепла, яке утворюється при різанні, можна визначити за допомогою виразу [4]:

$$Q = Q_D + Q_{T3} + Q_{ТП}, \quad (2)$$

де Q_D - теплота деформації яка проходить в зоні зміщення на умовній площині зміщення; $Q_{ТП}$ - тепло утворене внаслідок тертя на передній поверхні інструменту в межах зони контакту зі стружкою шириною C ; Q_{T3} - тепло утворене внаслідок тертя на задній поверхні інструменту в межах зони контакту між поверхнею різання та різцем, ширина якої C_2 .

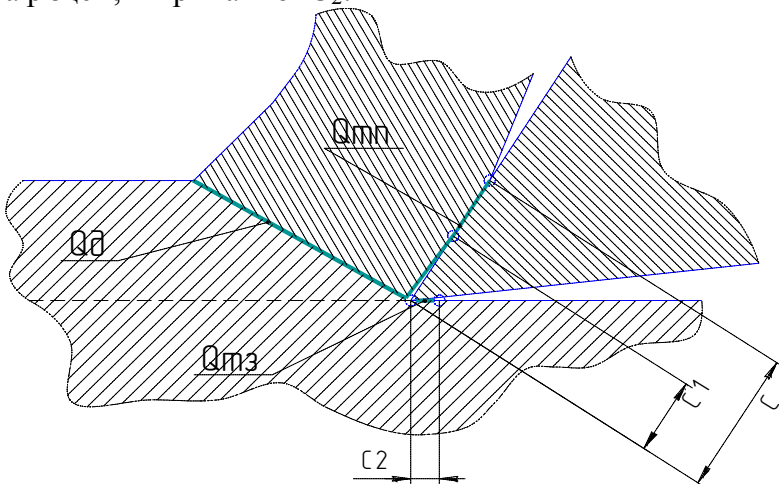


Рис. 1. Джерела утворення тепла в зоні різання

Розповсюдження тепла відбувається в напрямку більш холодних зон, при цьому відбувається його розподілення між стружкою, інструментом та деталлю, внаслідок чого утворюються теплові потоки (рис.2)

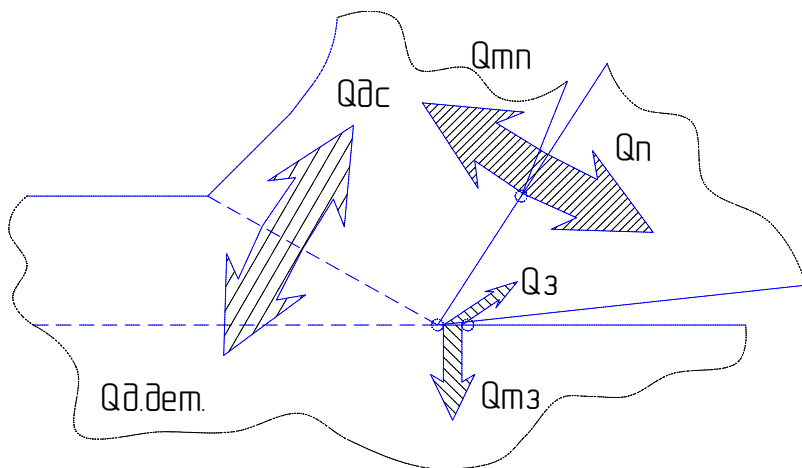


Рис. 2. Потоки тепла в стружку, інструмент та деталь

Частина тепла деформації $Q_{д.дет}$ з умовної площини зміщення переходить в стружку. Із зони тертя на передній поверхні в стружку також переходить частина тепла тертя $Q_{тз} - Q_3$, де Q_3 — теплота, яка переходить в інструмент. Таким чином, температура стружки визначається результируючим тепловим потоком:

$$Q_c = Q_{дс} + Q_{тп} - Q_{п} \quad (3)$$

В результаті цього інтенсивність теплового потоку направлено в деталь можна виразити:

$$Q_{дет} = Q_{д.дет} + Q_{тз} - Q_3 \quad (4)$$

Температурне поле різальної зони інструменту визначається дією сумарного теплового потоку:

$$Q_{п} = Q_{п} + Q_3 \quad (5)$$

Враховуючи вище перераховані вирази можна записати формулу для визначення кількості тепла, яке виділяється під час різання:

$$Q = Q_c + Q_{дет} + Q_{п} + Q_{ср} \quad (6)$$

де Q_{CP} — кількість теплоти, що виділяється в навколишнє середовище.

Так як кількість виділеної теплоти пропорційна виконаній роботі (1), то вплив на дану величину та її розподіл між складовими процесу різання мають властивості матеріалу оброблюваної деталі та режими різання.

В таблиці 1 приведені дані, щодо кількості та розподілення тепла під час токарної обробки інструментом із матеріалом різальної кромки Т60К8 з наступними режимами: глибина різання $t = 1,5$ мм; подача інструменту $s = 0,12$ мм/об; швидкість різання $V = 100$ м/хв., [5].

Таблиця 1
Залежність кількості теплоти від оброблюваного матеріалу

Матеріал оброблюваної деталі	Загальна кількість теплоти, ккал/хв	Середня температура стружки, °С	Кількість тепла у відсотках		
			в стружці	в деталі	в різці
Сталь 40Х	12,9	420	71	26	1,9
Чугун	13	290	42	50	1,5
Алюміній	8,7	140	21	73	2,2

Експериментальні дані [5].отримані при обробці сталі 40Х інструментом із матеріалом різальної кромки Т60К6, при глибині різання $t=1,5$ мм, та подачі різця $s = 0,12$ мм/об зображені в вигляді графіку (рис. 3.) показують, що розподіл тепла між стружкою, деталлю і інструментом корінним чином змінюється при збільшенні швидкості різання: кількість тепла, що переходить в стружку, зростає, а в деталь та інструмент - зменшується.

Наприклад, при точінні сталі 40Х із швидкістю різання 20-50 м/хв в стружку переходить в середньому близько 45% тепла, а в деталь і інструмент відповідно 47 і 4,5%; при швидкості різання 100-300 м/хв в стружку вирушає 75% тепла, а в деталь і інструмент відповідно лише 22 і 1,5%.

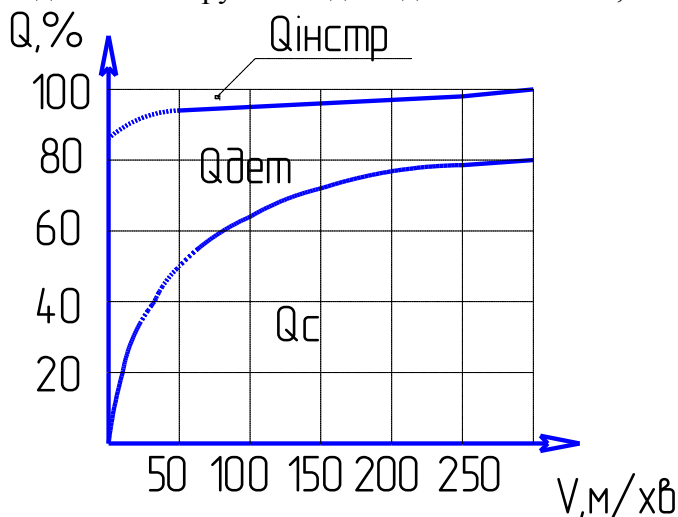


Рис. 3. Графік розподілу теплоти між інструментом, деталлю та стружкою

Зменшення долі тепла, яке переходить в деталь при збільшенні швидкості різання, викликане зміною співвідношення між швидкістю різання і швидкістю поширення тепла із зони деформації. З джерела теплоутворення на умовній площині зрушення в деталь входить тепловий потік $Q_{д.дет}$.

Швидкість поширення тепла залежить від градієнту температур на умовній площині зміщення та температуропровідності оброблюваного матеріалу. Якщо швидкість різання, тобто швидкість, з якою інструмент перетинає тепловий потік, мала, то тепло від умовної площини зміщення безперешкодно перейде в деталь. При

збільшенні швидкості різання інструмент швидше перетинає зону з тепловим потоком, і тому в деталь встигає перейти менша кількість тепла, при цьому основна частина тепла залишається в стружці. Зменшення долі тепла, що переходить в інструмент, при збільшенні швидкості різання пов'язано із зменшенням ширини зони контакту на передній поверхні, через яку тепло із стружки переходить інструмент.

Отже, на розподілення тепла між стружкою, деталлю та інструментом впливають механічні та теплофізичні властивості матеріалу деталі та швидкість різання.

Враховуючи приведені дані, більш доцільно для діагностики процесу різання, а саме визначення оброблюваності деталі використовувати інший параметр, а саме температуру різання, оскільки вимірювання останньої зводиться до визначення рівня природних сигналів, які супроводжують процес різання.

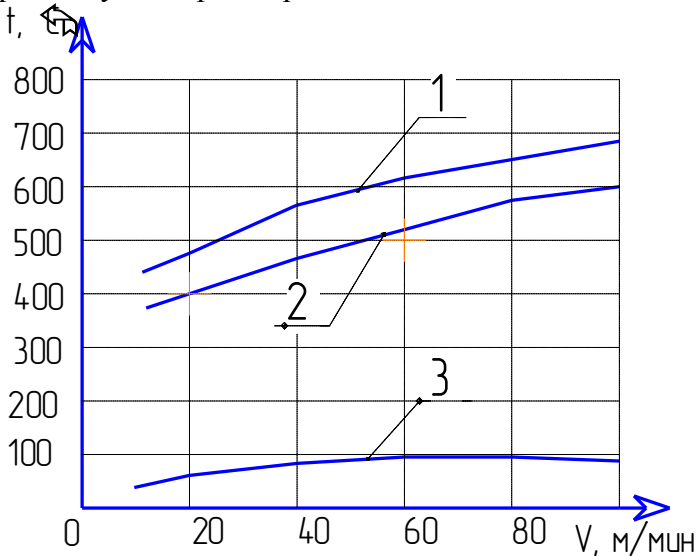


Рис. 4. Залежність температури різання T : 1 – різця, 2 – стружки, 3 – заготовки від швидкості різання V

Розглянемо фактори, які головним чином впливають на температуру різання.

Температура різання зростає при збільшенні швидкості різання (рис. 4), що може бути виражено наступною формулою:

$$T = C_1 \cdot V^Z, \quad (7)$$

де C_1 - коефіцієнт, який враховує умови обробки (режими різання, геометричні параметри різального інструменту, матеріал заготовки і т. д.), z - показник степені, який характеризує зміну температури різання при відповідній зміні швидкості різання.

Враховуючи експериментальні дані [6] можна побачити, що в середньому показник степені змінюється в інтервалі $z \approx 0.26 \dots 0.72$ і не перевищує 1.

При зростанні подачі спостерігається зменшення інтенсивності збільшення температури різання, що відбувається за рахунок посилення відводу тепла від поверхні тертя в стружку та інструмент через збільшення площі контакту інструменту з деталлю та товщини стружки.

Залежність між температурою різання та подачею може виражатись наступною формулою:

$$T = C_2 \cdot s^x, \quad (8)$$

де C_2 – коефіцієнт, який враховує умови обробки, x – показник степені, який характеризує інтенсивність зміни температури при відповідній зміні подачі. При цьому $x \approx 0.13 \dots 0.45$, з чого можна зробити висновок, що подача в меншій мірі впливає на температуру різання ніж швидкість.

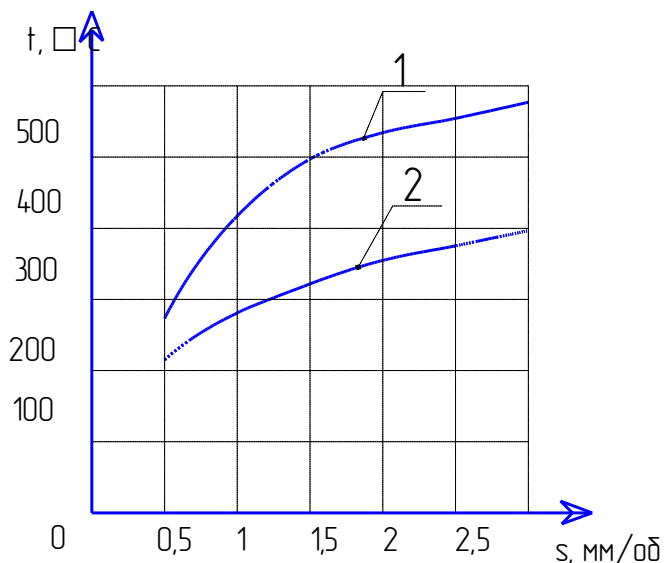


Рис. 5 Вплив подачі s на температуру різання T , 1 – при обробці сталі, 2 – при обробці чавуна

Вплив глибини різання на температуру можна виразити формулою:

$$T = C_3 \cdot t^y, \quad (9)$$

де C_3 – коефіцієнт, який враховує умови обробки, y – показник степені, який характеризує інтенсивність зміни температури при зміні глибини різання.

Оскільки при збільшенні глибини різання збільшується кількість теплоти, яка виділяється так як збільшується робота різання, проте пропорційно до кількості теплоти зростає довжина активної частини різальної кромки, що приводить до збільшення тепловідводу з зони різання. На основі цього можна зробити висновок, що глибина різання в меншій мірі впливає на температуру ніж швидкість різання, що підтверджено експериментально, так як $y \approx 0.1$.

Таким чином рівняння, яке описує залежність температури різання від режимів різання може бути записане в вигляді:

$$T = C \cdot V^Z \cdot s^X \cdot t^Y, \quad (10)$$

де C – загальний коефіцієнт, який враховує умови проведення обробки (матеріал деталі, геометричні параметри та матеріал різального інструменту і т. д.).

Вираз (10) може бути використаний, як модель процесу різання, або модель визначення оброблюваності деталі. На основі вимірювання температури різання, як не прямого параметру процесу механічної обробки може бути побудована підсистема визначення оброблюваності деталі, оскільки існує жорсткий зв'язок останнього з режимами різання, які безпосередньо впливають на якість отриманої поверхні.

Література:

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов.-М. Высшая. Школа, 1985.- 13 с
2. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 1. Исходные положения, / Вестник Машиностроения.- 2010, №1 70 с
3. Рубинштейн С.А., Левант Г.В., Основы учения о резании металлов и режущий инструмент. - М. Машиностроение, 1968 – 66 с.
4. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. - М., Машиностроение», 1975 - 148 с
5. Даниелян А. М. Тепловой баланс при резании металлов.-М., изд-во АН СССР, 1955, с.407.
6. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент – М. Машиностроение, 1976 – 68 с