

**Посвятенко Е.К.,  
Посвятенко Н.І.,**  
Національний транспортний університет,  
м. Київ, Україна

## **РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО КОНТАКТНІ ЯВИЩА ТА ТЕРТЯ В ПРОЦЕСАХ РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

### **Стан питання**

Теплові явища відіграють важливу роль у процесі різання, оскільки, визначають температуру в зоні різання, що впливає на характер пластичної деформації, утворення стружки, наріст, усадку стружки, силу різання і мікроструктуру поверхневого шару. Ще більш істотно температура різання впливає на інтенсивність зношування інструмента і період його стійкості [1]. Так, основні інструментальні матеріали задовільно працюють у процесі різання до досягнення наступних температур: вуглецеві та леговані інструментальні сталі – 200 - 220 °С; швидкорізальні сталі – 500 - 550 °С; тверді сплави – 850 - 1050 °С; синтетичні і природні алмази – 800 °С; кубоніт – 1100 °С; мінералокераміка – 1050 - 1150 °С.

Джерелом виділення теплоти при знятті стружки є механічна робота, яка витрачається на її зрізання, при чому до 99,5 % цієї роботи перетворюється у тепло. Механічна робота, а отже і виділення тепла відбувається у зоні пластичної деформації, ділянках тертя по передній та задній поверхнях. Експерименти показують, що при обробці звичайних конструкційних сталей зі швидкостями до 40 м/хв відносна кількість теплоти становить: 60 - 70 % тієї, що переходить у стружку, 3 % - у інструмент; 30 - 40 % – у деталь; 1 - 2 % – у навколишнє середовище [1].

Н.Й. Резніков серед кількох джерел утворення теплоти при різанні виділяє механічну роботу тертя, що виникає між різцем і стружкою внаслідок їх контакту по передній грані інструменту, а також – механічну роботу тертя між виробом і різцем в зоні їх контакту по задній грані останнього [2]. У роботі Г.І. Грановського та ін. [3] відзначається наступне. Якщо враховувати тільки головні джерела тепла, то можна стверджувати, що вони розміщені на трьох поверхнях. Першим джерелом є зона максимальних зсувів, або зона найбільших деформацій. Другим джерелом тепла є поверхня, по якій відбувається тертя стружки по передній грані інструмента. Третім джерелом тепла є контактна площадка задньої гарні інструмента, що третєся по заново сформованій обробленій поверхні.

Прийнято вважати, що ділянка тертя по передній поверхні складається з двох частин: ділянки пластичного контакту і ділянки пружного контакту. На першій ділянці розташований загальмований шар, у межах якого стружка рухається не по передній поверхні, а по загальмованому (привареному) шару, і опір, здійснюваний рухом стружки, визначається опором зсуву у контактному шарі стружки з урахуванням температури цих шарів. На цій ділянці зовнішнє тертя ковзання відсутнє і замінюється більш енергетично вигіднішим внутрішнім тертям між окремими шарами стружки. На другій ділянці стружка контактує в умовах зовнішнього тертя ковзання і опір руху стружки визначається силою тертя між стружкою і передньою поверхнею інструмента.

### **Результати дослідження**

Питанням тертя в період становлення науки про різання матеріалів приділялось вкрай мало уваги. Учені, що започатковували обробку матеріалів різанням як науку, мали створювати власну базу експериментальних методик та приладів. До середини XIX ст. обробка матеріалів різанням залишалась, головним чином, справою практики майстрів і механіків, а знання і досвід передавались ними із покоління в покоління. Першим і єдиним основним довідником і підручником з металообробки була книга Р. Буханана, яка була опублікована у першому десятилітті XIX ст. Перші найбільш глибокі дослідження в галузі обробки матеріалів різанням були проведені російським та українським вченим професором І.А. Тіме (1838 - 1920 рр.). Системне експериментальне дослідження професором І.А. Тіме стало науковою основою процесу різання, причому найважливіші результати цього дослідження наступні:

- вперше висловлено припущення про спільність закономірностей різних за кінематикою процесів різання (точіння, стругання тощо);
- доведено, що різання є послідовним сколювання (зсувом) окремих елементів оброблюваного матеріалу, тобто вперше вірно визначена сутність процесу;
- вперше введено поняття про площину сколювання (зсуву) та кут нахилу цієї площини і показано, що основне деформування матеріалу при різанні відбувається в межах цієї площини;
- експериментально визначено, що сума кутів різання і нахилу площини сколювання знаходиться у порівняно вузькому діапазоні (145° - 155°);
- вперше виявлено явище усадки стружки і введено поняття коефіцієнту усадки;
- дана класифікація видів стружки;
- введено поняття “коефіцієнта різання” як сили різання, віднесеної до 1 мм<sup>2</sup> поперечного перерізу зрізуваного шару, і досліджено його залежність від кута різання та механічних властивостей оброблюваного матеріалу;

- отримано перше (приблизне) рівняння для визначення сили різання без урахування сили тертя;  
 - показана періодичність сили різання, яка викликається утворенням окремих елементів стружки.  
 Таким чином, пріоритет професора І.А. Тіме, як першого дослідника механіки процесу різання матеріалів, є незаперечним [4].

Зауважимо, що О.М. Розенберг пізніше розрахував середній коефіцієнт тертя стружки по передній поверхні різця у схемі процесу різання І.А. Тіме, який виявився рівним 0,46. При цьому допускалось, що зсув відбувається у площині, паралельній силі, що діє на стружку [5].

Аналізуючи механіку сил, що діють в процесі різання на стружку та інструмент, а також враховуючи сили тертя на передній та задній поверхнях різця, К.О. Зворикін сформулював умови пластичності при різанні металів і аналітично визначив напрямок площини зсуву матеріалу. Він отримав наступне рівняння для визначення кута зсуву  $\Phi$ , що визначає напрямок єдиної площини зсуву оброблюваного матеріалу:

$$2\Phi + \Theta - \gamma = C, \quad (1)$$

де  $\Theta$  – кут тертя на передній поверхні інструмента;

$\gamma$  – передній кут інструмента;

$C$  – постійна величина, що приблизно дорівнює 80.

Аналізуючи наступну формулу К.О. Зворикіна для визначення положення площини зсуву через кут зсуву  $\beta_1$ :

$$\beta_1 = 90 - \frac{\Phi + \Phi_1 + \alpha}{2}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – кут різання;

$f = \operatorname{tg}\Phi$  і  $f_1 = \operatorname{tg}\Phi_1$  – відповідно коефіцієнти тертя стружки по різцю ( $\Phi$  – кут зовнішнього тертя) і внутрішнього тертя, що залежить від пружно-пластичних властивостей обробленого матеріалу ( $\Phi_1$  – кут внутрішнього тертя), О.М. Розенберг знаходить для заліза і сталі  $f = 0,44$ , а  $f_1 = 0,34$ . При цьому якщо кут різання  $\alpha = 75^\circ$  (передній кут  $15^\circ$ ), то  $\beta_1 = 31^\circ 30'$ , а  $\alpha + \beta_1 = 148^\circ 30'$ . На підставі такого аналізу О.М. Розенберг робить висновок, що кут зсуву залежить лише від кута різання і властивостей оброблюваного матеріалу [5].

Наукова значимість рівняння (1), яке не зазнало суттєвих змін і по сьогодні, полягає в тому, що вперше було поєднано усі основні фактори механіки процесу різання при стружкоутворенні: явища в площині зсуву і в зоні контакту стружки з передньою поверхнею інструмента і з геометрією різального клина.

С.С. Рудник відзначає: «Дослідження XIX ст. виразно показали, що теоретичним шляхом не можна обґрунтувати закони різання: треба було зробити багато точних ретельних дослідів, щоб зібрати достатній матеріал для формулювання законів різання. Перший зразок такого емпіричного дослідження була робота проф. Зворикіна, другий – величезного обсягу – клясичні дослідження Фред. Тейлора»[6].

Тейлор протягом більш ніж чверть століття (1880 - 1906 рр.), у виробничих умовах заводів США виконав понад 50 тис. дослідів, знявши 365 т стружки. Він уперше в математичній формі дав основні закони швидкості, зокрема, залежність стійкості різця від швидкості різання (закон T-v).

У 1912 р. під керівництвом проф. Георга Шлезінгера в технологічній лабораторії – дослідницькій станції для металообробних верстатів Берлінського політехнічного інституту (Versuchfeld für Werkzeugmaschinen – VfW) досліджено стійкість швидкорізальних різців німецьких та англійських фірм, на основі чого запропоновано новий критерій затуплення інструменту [6].

С.С. Рудник, теоретично аналізуючи сили, напруги та деформації у процесі різання, користується поняттями «елементарні сили зовнішнього тертя  $fN$ », що виникають в наслідок нормального тиску  $N$  при русі стружки по передній грані, а також кутом тертя  $\Phi$ , коефіцієнтом тертя  $f$  ( $f = \operatorname{tg}\Phi$ ) і силою тертя ( $Q = N / \cos \Phi$ ). Дослідник застосовує також поняття «внутрішнє тертя» між матеріалом стружки та нерухомої поверхні виробу, при чому коефіцієнт внутрішнього тертя дорівнює  $f_1 = \operatorname{tg}\Phi_1$ , де  $\Phi_1$  – кут внутрішнього тертя. Для кута зсуву  $\Theta$  Рудник отримав спрощену залежність останнього від кута різання  $\delta$ :

$$\Theta = 73^\circ - 0,6\delta, \quad (3)$$

яка по суті є різновидом формул К.О. Зворикіна (1), (2).

О.М. Розенберг показав, що в основі зміни всіх явищ процесу різання лежать зміни температури на передній грані інструмента, від якої залежить наявність і стан наросту на передній грані, величина коефіцієнта тертя між стружкою і передньою гранню, напрямок рівнодійної сили на передній грані. Зна-

чення коефіцієнта тертя при обробці конструкційної сталі 40 в діапазоні швидкостей різання 20 - 140 м/хв знаходиться в межах 0,4 - 1,7 [7].

О.О. Виноградов на основі своїх експериментальних досліджень [8] дійшов висновку, що сума кутів дії  $\omega = \eta - \gamma$  і зсуву  $\Phi$  у великому практично використовуваному діапазоні умов різання дорівнює 40 - 50°. Це підтвердило висновки К.О. Зворикіна, С.С. Рудника і М.М. Зорева.

Згідно з результатами досліджень М.М. Зорева та М.Ф. Полетики [9] питома сила тертя  $q_F$  на передній поверхні однозначно залежить від дійсного опору розриву  $S_k$ :

$$q_k = 0,28S_k, \quad (4)$$

а довжина пластичного контакту стружки з передньою поверхнею, де діє внутрішнє тертя, приблизно дорівнює половині довжини загального контакту.

### Висновки і перспективи

За 120 років, коли вперше К.О. Зворикіним було введено в механіку процесу різання поняття тертя, зокрема, внутрішнього, провідними вченими було виконано багато теоретично-експериментальних досліджень цього процесу. Було встановлено, що коефіцієнт тертя у зоні контакту «стружка-інструмент» сягає величин 0,5 - 1,7, що на порядок вище коефіцієнта тертя в машинах і механізмах. Фундаментально досліджено процеси внутрішнього тертя, які пов'язані з пружно-пластичними деформаціями і наростоутворенням. Проте останнє явище вимагає додаткових досліджень з метою визначення заходів для боротьби з ним, а також для корисного його використання.

### Література

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищих навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
2. Резников Н.И. Учение о резании металлов: учебник / Н.И. Резников. – М.: Машгиз, 1947. – 588 с.
3. Грановский Г.И. Резание металлов: учебник / Г.И. Грановский, П.П. Грудов, В.А. Кривоухов, М.Н. Ларин, А.Я. Малкин. – М.: Машгиз, 1954. – 368 с.
4. Жорнік Н.І. Історичні межі періоду становлення науки про різання матеріалів / Н.І. Жорнік // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып. 66. – С. 47-60.
5. Розенберг А.М. Экспериментальное исследование процесса образования металлической стружки / А.М. Розенберг // Известия Сибирского Технологического института. – Томск, 1929. – Т.51, вып. IV. – 58 с.
6. Рудник С.С. Теорія різання металів: підручник / С.С. Рудник. – Київ: ОНТВУ-Машбудвидав, 1932. – 240 с.
7. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин. – М.: Машгиз, 1956. – 320 с.
8. Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / А.А. Виноградов. – Киев: Наук. думка, 1985. – 263 с.
9. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. – 148 с.

Надійшла 24.04.2012