

Рис. 4. Графік залежності мінімальної величини тиску від радіуса заокруглення штамп за різних зовнішніх навантажень

Цього можна досягти профілюванням зубків високотемпературним окисленням з подальшою вібраційною обробкою. Остання достатньо зміцнене твердий сплав. Підвищенням якості технології складання доліт можна скоротити розміри зубків на 15–20 %.

1. Краснеков В.И. О применимости теории Герца к одной пространственной контактной задаче // Известия вузов: "Машиностроение". – М., 1958. – № 1. 2. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1949.

УДК 621.924

З.А. Стоцько, Т.О. Стефанович
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра електронного машинобудування

ЕНЕРГЕТИЧНА КОНЦЕПЦІЯ ПРОЦЕСУ СТРУМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ НЕЗВ'ЯЗАНИМИ ТВЕРДИМИ ТІЛАМИ

© Стоцько З.А., Стефанович Т.О., 2005

Виділено і проаналізовано механізми, за допомогою яких у процесі струменевої обробки формується мікрорельєф і структурно-напружений стан на оброблюваній поверхні.

Обґрунтовано використання енергетичної концепції для побудови моделі процесу.

In the article the mechanisms, which form the surface microrelief and the stress state during blast treatment are picked out and analysed. Use of energy method for creating the mathematical model of the process is grounded.

Актуальність і постановка задачі досліджень. Обробка матеріалу струменем незв'язаних твердих тіл належить до комплексних методів формування параметрів якості поверхонь виробів. Як

показує практика, струменева обробка забезпечує значне покращання експлуатаційних характеристик деталей машин у лабораторних умовах. Однак обнадійливі результати обробки в лабораторних умовах важко відтворити в умовах виробництва. Це пов'язано з відсутністю зрозумілої методики для визначення оптимальних режимів обробки. Тому актуальним є детальне дослідження й аналіз процесів, які відбуваються під час струменевої обробки поверхонь незв'язаними твердими тілами, а також побудова на основі зібраних даних універсальної математичної моделі процесу, яку буде покладено в основу систем автоматизованого проектування.

Механізми формування мікрорельєфу і структурно-напруженого стану на оброблюваній поверхні. Для побудови математичної моделі процесу необхідно розглянути механізми, за допомогою яких формується мікрорельєф і структурно-напружений стан на оброблюваній поверхні. До них належать:

- мікрорізання, сліди якого видно на електронних знімках оброблених поверхонь. Масова дія твердих тіл на виріб утворює високорозвинуту матову поверхню великої площі без напрямлених слідів обробки, що надає їй цінних експлуатаційних властивостей;
- крихке руйнування, викликане багатократною ударною дією твердих тіл;
- поверхневе пластичне деформування (ППД), за якого на оброблюваній поверхні формується напружений стан з переважними напруженнями стиску;
- гідромолекулярне руйнування як прояв ефекту Ребіндера, за проникнення рідкої компоненти робочого середовища у високорозвинуті субмікротріщини на оброблюваній поверхні [1].

Визначальними механізмами, які суттєво впливають на фізико-механічні властивості оброблених поверхонь і рівномірність зняття матеріалу, є мікрорізання і поверхневе пластичне деформування. Тому процес струменевої обробки поверхонь незв'язаними твердими тілами розглядатимемо у двох аспектах: як процес розмірного оброблення матеріалів і як процес поверхнево-пластичного деформування.

Під час струменевої обробки дія ріжучих кромek абразиву на оброблювану поверхню є нетривалою і має імпульсний ударний характер. Метал з оброблюваної поверхні видаляється за рахунок мікрорізання, тобто зняття металу абразивними зернами. Входження вершини абразивного зерна в метал поверхні оброблюваної деталі залежить від прикладеного до нього навантаження, величини радіуса скруглення вершини і фізико-механічних властивостей оброблюваної деталі. Скруглені вершини зерна забезпечують високу механічну міцність і великі фактичні кути різання. Значення кутів різання γ_i і δ_i залежить від глибини h входження абразивного зерна в метал і радіуса скруглення вершин ρ (рис. 1).

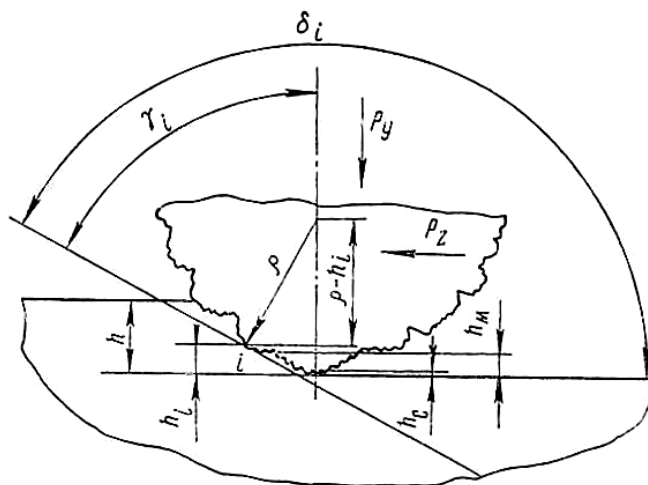


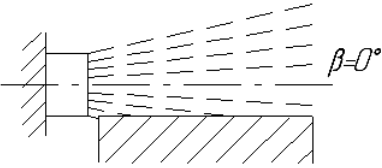
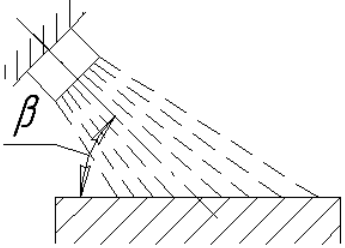
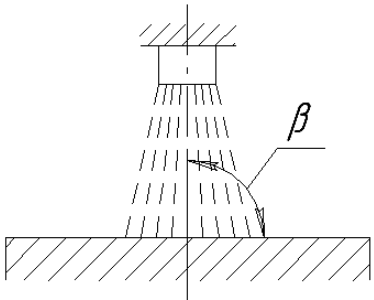
Рис. 1. Схема взаємодії твердого тіла з поверхнею

За малих значень h величини цих кутів стають настільки великими, що роблять практично неможливим процес різання. Тоді відбувається тільки пружне або пружно-пластичне деформування поверхневого шару металу. Із збільшенням глибини входження вершини абразивного зерна збільшується об'єм металу, який піддається пластичному деформуванню як спереду абразивного зерна, так і з боків та нижче лінії зрізу. За певного критичного значення глибини входження переміщення абразивного зерна супроводжується зняттям стружки. Як показали дослідження, процес зняття стружки стає можливим за напружень, які виникають по лінії сколювання і перевищують опір матеріалу зрізу. Тобто залежно від фактичного відношення глибини входження абразивного зерна до радіуса скруглення його вершини вплив на оброблювану поверхню може набувати вигляду пружного деформування, пластичного деформування, деформування зсуву і сколювання [2, 3].

Переважання того чи іншого виду деформування залежить від взаємного розміщення нерухомого струменевого апарату та оброблюваної поверхні.

Під час оброблення ударним струменем ($\beta=90^\circ$) основна частина енергії, яку має тверде тіло, витрачається на деформацію поверхневого шару і твердого тіла, тобто у цьому випадку переважає механізм поверхневого пластичного деформування. Під час оброблення ковзним струменем ($\beta=0^\circ$) енергія твердого тіла витрачається на підвищення швидкості ковзання його по поверхні. В обох випадках деформації зсуву і сколювання є малими. Вони стають максимальними, коли струмінь напрямлено до оброблюваної поверхні під кутом $\beta = 45^\circ$ [4]. У цьому випадку переважальним механізмом формування мікрорельєфу і структурно-напруженого стану на оброблюваній поверхні є мікрорізання (див. таблицю).

Схеми струменевого оброблення

Вид оброблення	Значення кута атаки β	Схема оброблення
ковзним струменем	0°	
косим струменем	$0^\circ < \beta < 90^\circ$	
ударним струменем	90°	

Вихідним параметром, який описує струменеве оброблення як процес розмірного оброблення матеріалів і може використовуватися для призначення оптимальних припусків, є глибина знятого твердими тілами шару матеріалу з поверхні оброблюваної деталі. Вихідними параметрами, які описують струменеве оброблення як процес зміни фізико-механічних властивостей поверхні виробу і можуть використовуватися для прогнозування структурно-напруженого стану, є зміна твердості оброблюваної поверхні і глибина шару наклепаного металу, отримана на оброблюваній поверхні після струменевого оброблення. Ці параметри визначаються роботою, виконаною твердими тілами під час взаємодії із оброблюваною поверхнею. Треба зазначити, що в струмені робочого середовища знаходиться велика кількість твердих тіл, які одночасно взаємодіють із оброблюваною поверхнею, причому результати взаємодії кожного окремо взятого твердого тіла мають непередбачуваний і невідтворюваний характер, тоді як результати сумарної взаємодії великої кількості незв'язаних твердих тіл з оброблюваною поверхнею мають відтворюваний характер, піддаються експериментальній фіксації і, відповідно, математичному опису. Тому приймемо, що загальну роботу із зміни розмірів і структурно-напруженого стану оброблюваної поверхні виконують окремі пакети твердих тіл, щільність яких регулюється концентрацією твердої компоненти робочого середовища в рідкій. Робота із зміни форми і властивостей оброблюваної поверхні здійснюється завдяки перетворенню енергії, яку мають тверді тіла на початок взаємодії з поверхнею.

Загальний баланс енергії для процесу струменевого оброблення. Кожен пакет твердих тіл на виході із сопла струменевого апарату має запас кінетичної енергії, яку визначають за формулою:

$$E_k = \frac{m_i \cdot V_{0i}^2}{2} \quad (1)$$

де m_i – маса i -го пакета незв'язаних твердих тіл; V_{0i} – швидкість i -го пакета незв'язаних твердих тіл на виході із сопла.

Розподіл маси і швидкості пакетів незв'язаних твердих тіл у струмені є невідомим і потребує окремого дослідження.

Уся енергія, за винятком втрат, перетворюється в роботу із зміни розміру і структурно-напруженого стану оброблюваної поверхні. Формулу загального балансу енергії для процесу струменевої обробки запишемо у вигляді:

$$E_k = E_{кор} + E_{втр} \quad (2)$$

де $E_{кор}$ – корисна енергія, яка перетворюється в роботу із зміни розміру і структурно-напруженого стану оброблюваної поверхні; $E_{втр}$ – втрати енергії.

Корисна енергія розподіляється на енергію, яка перетворюється в роботу за пружно-пластичного деформування оброблюваної поверхні та енергію, яка витрачається на деформацію зсуву і сколювання поверхневого шару, тобто перетворюється у роботу різання:

$$E_{кор} = E_{пл.д.} + E_{пр.д.} + E_{різ} \quad (3)$$

де $E_{пл.д.}$ – енергія, яка перетворюється в роботу з пластичного деформування оброблюваної поверхні; $E_{пр.д.}$ – енергія, яка перетворюється в роботу з пружного деформування оброблюваної поверхні; $E_{різ.}$ – енергія, яка перетворюється в роботу різання.

Енергія, яка перетворюється в роботу з пружного деформування $E_{пр.д.}$, повертається твердим тілам під час відскоку від оброблюваної поверхні, що необхідно врахувати, визначаючи втрати енергії. Співвідношення між енергіями $E_{пл.д.}$ і $E_{різ.}$ залежить від переважального механізму формування мікрорельєфу і структурно-напруженого стану на оброблюваній поверхні і визначається кутом атаки β .

Втрати енергії під час процесу струменевого оброблення можна поділити на:

- втрати під час транспортування твердих тіл до оброблюваної поверхні:
 - 1) на подолання сил опору повітря E_{on} ;
 - 2) на подолання сил тертя в струмені $E_{mp.c.}$;
- втрати, пов'язані із наявністю рідкої компоненти в робочому середовищі:
 - 1) на подолання твердими тілами плівки рідини, утвореної на оброблюваній поверхні E_{pid1} ;
 - 2) на подолання сил молекулярного зчеплення з рідиною при відскоці твердого тіла E_{pid2} ;
- на процес сухого тертя і подолання сил адгезійного зчеплення:
 - 1) на тертя у стику між твердим тілом і поверхнею за пружної деформації E_{mp1} ;
 - 2) на тертя між твердим тілом і поверхнею під час проникнення твердого тіла у поверхню за пластичної деформації E_{mp2} ;
 - 3) на розрив тимчасового зв'язку між твердим тілом і поверхнею під час відскоку твердого тіла від оброблюваної поверхні E_{mp3} ;
- втрати у вигляді хвильової енергії, яка поширюється вглиб металу за пружної деформації $E_{xв}$;
- втрати у вигляді енергії пружно напруженого металу, яка повертається твердим тілам під час відскоку від поверхні E_{np} .

Запишемо вираз для визначення втрат і згрупуємо в ньому однорідні елементи:

$$E_{втр} = (E_{on} + E_{mp.c.}) + (E_{pid1} + E_{pid2}) + (E_{mp1} + E_{mp2} + E_{mp3}) + E_{xв} + E_{np}. \quad (4)$$

Аналізуючи отримане рівняння втрат для процесів гідроабразивного і піскоструменевого оброблення, зазначимо, що за наявності рідкої компоненти у робочому середовищі (гідроабразивне оброблення) додатково витрачається енергія на подолання плівки рідини, але суттєво зменшуються втрати на процес сухого тертя і подолання сил адгезійного зчеплення. Тому можна зробити висновок, що введенням рідкої компоненти до робочого середовища можна зменшити втрати енергії і, відповідно, підвищити продуктивність оброблення.

Підставивши вирази (3) і (4) у (2), отримаємо розгорнутий вигляд рівняння балансу енергії для процесу струменевого оброблення:

$$E_k = (E_{нл.д.} + E_{np.д.} + E_{piз}) - (E_{on} + E_{mp.c.}) - (E_{pid1} + E_{pid2}) - (E_{mp1} + E_{mp2} + E_{mp3}) - E_{xв} - E_{np} \quad (5)$$

Знехтувавши хвильовою енергією $E_{xв}$ та врахувавши, що енергія, яка перетворюється в роботу з пружного деформування $E_{np.д.}$, повертається твердим тілам під час відскоку від оброблюваної поверхні у вигляді E_{np} , перепишемо рівняння (5) у вигляді:

$$E_k = (E_{нл.д.} + E_{piз}) - (E_{on} + E_{mp.c.}) - (E_{pid1} + E_{pid2}) - (E_{mp1} + E_{mp2} + E_{mp3}) \quad (6)$$

Втрати енергії під час удару твердого тіла об оброблювану поверхню становлять 10–15 % від величини енергії, яку має в запасі тверде тіло [9]. Тому остаточно:

$$E_k = \frac{(E_{нл.д.} + E_{piз})}{0,85}. \quad (7)$$

Вираз (7) встановлює залежність між кінетичною енергією пакета твердих тіл і роботою, яка необхідна для досягнення бажаних значень вихідних параметрів процесу струменевого оброблення, які одночасно є і критеріями оптимізації [10]. Цей вираз є базовим для побудови математичної моделі процесу.

Висновки. Процес струменевого оброблення поверхонь твердими тілами необхідно розглядати у двох аспектах: як процес розмірного оброблення за механізмом мікрорізання і як процес формування структурно-напруженого стану на оброблюваній поверхні за механізмом поверхневого пластичного деформування. В основу математичної моделі процесу оброблення поверхонь струменем незв'язаних твердих тіл покладено енергетичну концепцію, за якою робота з пластичного деформування й різання оброблюваних поверхонь здійснюється завдяки перетворенню кінетичної енергії, яку мають пакети твердих тіл у струмені, за винятком її втрат на різних етапах процесу. Мінімізувавши втрати кінетичної енергії, можна підвищити продуктивність оброблення.

Щоб застосувати запропоновану енергетичну концепцію, необхідно встановити, як розподіляються маси і швидкості пакетів твердих тіл у струмені.

1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техника, 1989. – 177 с. 2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1977 – 320 с. 3. Ящерицын П.И. и др. Финишная обработка деталей уплотнённым потоком свободного абразива. – Минск: Наука и техника, 1978 – 224 с. 4. Билик Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов. – М.: Машигиз, 1960 – 196 с. 5. Рыковский Б.П., Смирнов В.А., Щетинин Г.М. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом. – М.: Машиностроение, 1985 – 152 с. 6. “*Transt Surface Treatment*”, edited by S.A. Meguid, London and New York, 1986 – 326 p. 7. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов. – М.: Машиностроение, 1986 – 320 с. 8. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. – М.: Машиностроение, 1977. – 166 с. 9. Олейник Н.В., Кычин В.П., Луговской А.Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. – К.: Техника, 1984 – 152 с. 10. Стоцько З.А., Стефанович Т.О. Загальні аспекти технології обробки поверхонь струменем незв'язаних твердих тіл // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2004.– № 515. – С. 95–100.

УДК 531.7.08
М.О. ТИХАН

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра приладів точної механіки

ДО ПИТАННЯ ДИНАМІКИ ДАВАЧІВ ТИСКУ

© Тихан М.О., 2005

Наведено результати аналізу динаміки давача тиску для двох схем силового навантаження його мембрани.

The analysis of dynamics of the pressure sensor is carried out at two circuits of force loading of his diaphragm have been proposed.

Вступ. Відомо, що сучасні системи автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні вимагають особливо точних первинних засобів вимірювання чи контролю. У багатьох системах такими засобами є давачі різноманітних фізичних величин, зокрема давачі тиску.

Постановка проблеми. Зазначимо, що проблеми забезпечення точності вимірювання стосовно давачів тиску насамперед вимагають точного моделювання динаміки вимірювальних перетворювачів, що входять до структури давачів. Як відомо, у сучасних конструкціях багатьох давачів тиску первинними вимірювальними перетворювачами є круглі мембрани у вигляді тонких жорстко защемлених пластин. Власне точність вимірювального перетворення первинним елементом першочергово впливає на точність вимірювання давачем загалом. Тому аналіз динаміки мембран давачів тиску як елементів з розподіленими параметрами є актуальною проблемою.