

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ АБРАЗИВНИХ ЗЕРЕН ІЗ ПОВЕРХНЕЮ ОБРОБЛЮВАНОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ПРИ ГІДРОАБРАЗИВНОМУ РІЗАННІ

Костюнін М. В.

Рассмотрена актуальность применения гидроабразивного резания для обработки заготовок из твердого сплава. Исследован процесс взаимодействия абразивных зерен с поверхностью обрабатываемого твердого сплава при обработке методом гидроабразивного резания, а также влияние струи жидкости на поверхность обрабатываемого твердого сплава. Представлены результаты виртуального эксперимента по исследованию напряжений, возникающих в зоне взаимодействия абразивных зерен с поверхностью обрабатываемого твердого сплава. Получена математическая модель для определения величины напряжения в зоне взаимодействия, а также построены поверхности зависимости напряжения от основных факторов процесса гидроабразивного резания.

Розглянута актуальність застосування гідроабразивного різання для обробки заготовок з твердого сплаву. Досліджено процес взаємодії абразивних зерен з поверхнею оброблюваного твердого сплаву при обробці методом гідроабразивного різання, а також вплив струменя рідини на поверхню оброблюваного твердого сплаву. Представлені результати віртуального експерименту по дослідженню напружень, що виникають у зоні взаємодії абразивних зерен з поверхнею оброблюваного твердого сплаву. Отримана математична модель для визначення напружень в зоні взаємодії, а також побудовані поверхні залежності напруження від основних факторів процесу гідроабразивного різання.

In the article actual use of hydroabrasive cutting for processing of the hard metal preforms is examined. The process of interaction with the surface of work hard metal of the abrasive grains processed hard metal with the processing method hydroabrasive cutting, and the impact of the liquid jet to the surface of processing a hard metal is investigated. The results of the virtual experiment to research the stresses in the zone of interaction with the surface of work hard metal of the abrasive grains processed a hard metal have been proposed. As result was received a mathematical model for determine the stress in the interaction zone, and also built the surface of the dependence stress of the main factors of the process hydroabrasive cutting.

Костюнин Н. В.

аспирант КрНУ им. М. Остроградского
krossha87@mail.ru

КрНУ им. М. Остроградского – Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

УДК 621.9.048.3:621.921

Костюнін М. В.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ АБРАЗИВНИХ ЗЕРЕН ІЗ ПОВЕРХНЕЮ ОБРОБЛЮВАНОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ПРИ ГІДРОАБРАЗИВНОМУ РІЗАННІ

Тверді сплави – тверді і зносостійкі композитні інструментальні матеріали. В основному виготовляються на основі карбідів вольфраму, титану, танталу, хрому при різному вмісті кобальту або нікелю. Тверді сплави знаходять широке застосування в промисловості для виготовлення формоутворюючого інструменту: штампів, прес-форм, філь'єр і т. і.

Електрофізичні і механічні методи, що традиційно використовуються для обробки такого роду матеріалів, тісно пов'язані зі значним зносом інструменту, малою продуктивністю, чи не забезпечують необхідної точності і шорсткості поверхні. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми являється застосування гідро-абразивного різання.

Так як при гідро-абразивному різанні в процесі різання участь приймають зерна абразивного матеріалу, метою роботи є дослідження взаємодії абразивних зерен із поверхнею оброблюваного твердого сплаву.

В якості оброблювального матеріалу було вибрано тверді сплави марок ВК3, ВК8 і ВК15 з вмістом кобальту 3, 8, і 15 % відповідно. Необхідні механічні властивості складових сплавів представлені в табл. 1 [4].

Таблиця 1

Механічні властивості складових твердих сплавів, що необхідні для проведення віртуального експерименту

Назва	ВК3	ВК8	ВК15
Модуль пружності, Н/м ²	$6,5 \cdot 10^{11}$	$5,9 \cdot 10^{11}$	$5,6 \cdot 10^{11}$
Коефіцієнт Пуассона	0,21	0,21	0,21
Модуль зсуву, Н/м ²	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,45 \cdot 10^{11}$	$2,9 \cdot 10^{11}$
Масова густина, кг/м ³	15300	14500	14000
Границя міцності при розтягуванні, Н/м ²	$100 \cdot 10^7$	$160 \cdot 10^7$	$180 \cdot 10^7$
Коефіцієнт теплового розширення, 1/К	$3,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$
Теплопровідність, W/(м·К)	71,176	71	74
Питома теплоємність, J/(кг·К)	170	167	175,9

В якості абразиву було вибрано Si₂O₃, фізико-механічні властивості якого представлені у табл. 2.

Щоб побудувати віртуальну модель, було визначено кількість зерен абразиву що проходять через поперечний переріз струменя в одиницю часу, та геометричну ймовірність попадання абразивного зерна в певну точку на поверхні оброблюваного матеріалу для визначення розподілу зерен в перерізі струменя.

Кількість одиничних актів контактної взаємодії абразиву з поверхнею деталі обумовлено витратою абразиву в одиницю часу через сопло, швидкістю витікання струменя, діаметром сопла і швидкістю його подачі щодо оброблюваного матеріалу. Так, чим більший тиск витоку струменя і менша подача сопла, тим більше число зерен бере участь в роботі, що в кінцевому рахунку призводить до зменшення шорсткості [6].

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості Si_2O_3

Назва	Si_2O_3
Модуль пружності, H/m^2	$2,88 \cdot 10^{11}$
Коефіцієнт Пуассона	0,25
Модуль зсуву, H/m^2	$1,2 \cdot 10^{11}$
Масова густина, $\text{кг}/\text{m}^3$	3240
Границя міцності при розтягуванні, H/m^2	$76 \cdot 10^7$
Коефіцієнт теплового розширення, $1/\text{K}$	3
Теплопровідність, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	17
Питома теплоємність, $\text{J}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	69

Трикомпонентний гідроабразивний струмінь (повітря, рідина, абразив) розглядали спрощено – у вигляді однокомпонентного потоку невзаємодіючих абразивних часток.

Геометрична ймовірність попадання абразивного зерна на виділену площадку контакту струменя з матеріалом [6]:

$$p = \frac{2(H - h_1 - h_2)\sqrt{d_c^2 - r^2}}{\pi d_c H}, \quad (1)$$

де d_c – діаметр струменя в повітрі;

r – відстань від центру струменя до поверхні різа.

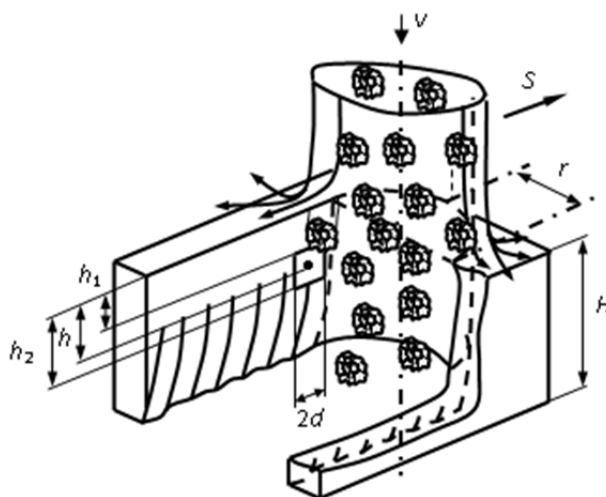


Рис. 1. Схема для визначення числа абразивних зерен, що беруть участь в процесі формування поверхні деталі

Так як нас цікавив розподіл зерен абразиву в перерізі струменя на поверхні заготовки, то h_1 і h_2 дорівнюють нулю, і геометрична вірогідність попадання абразивного зерна на виділену площадку контакту струменя з матеріалом прийме вигляд:

$$p = \frac{2\sqrt{d_c^2 - r^2}}{\pi d_c}. \quad (2)$$

Діаметр струменя дорівнював 1 мм. Побудували криву геометричної ймовірності попадання абразивного зерна на виділену площадку контакту струменя з матеріалом (рис. 2).

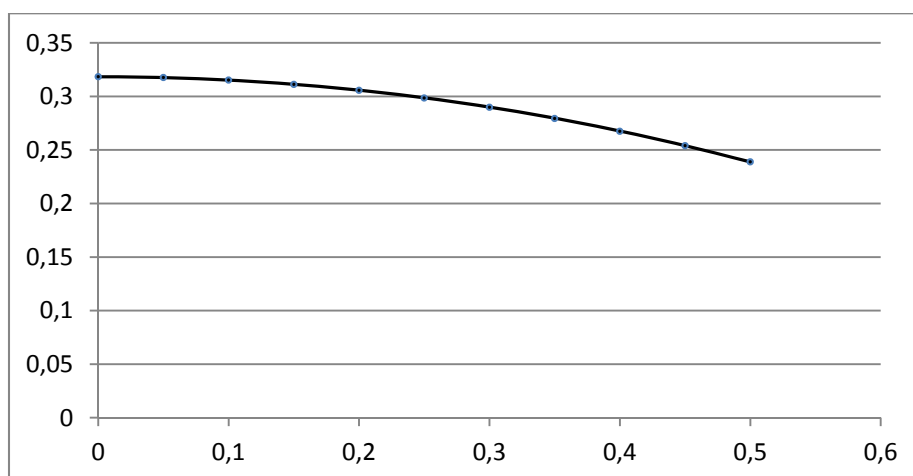


Рис. 2. Крива геометричної ймовірності попадання абразивного зерна на виділену площадку контакту струменя з матеріалом

Числа зерен у поперечному перерізі струменя в одиницю часу визначили за формулою:

$$n = \frac{3 \cdot Q}{2\pi \cdot r^2 \cdot \rho V}, \quad (3)$$

де Q – масова витрата абразиву, $Q = 0,095$ кг/с;

r – середній розмір зерна, $r = 68$ мкм;

ρ – густина абразиву, $\rho = 3240$ кг/м³;

V – швидкість зерен абразиву в потоці рідини, $V = 15$ м/с.

Визначили, що через поперечний переріз струменя в одиницю часу проходить 24 зерна абразиву.

Для поставленої мети було розроблено віртуальну модель (рис. 3) у програмному середовищі SolidWorks, яка дозволяє дослідити процес взаємодії зерен з поверхнею оброблюваного матеріалу.

В ході дослідження було проведено трифакторний експеримент [5] з метою отримання математичної моделі для визначення величини напруження у зоні взаємодії одиничного абразивного зерна із поверхнею оброблюваного твердого сплаву.

В якості змінних факторів прийнято процентний вміст зв'язки в сплаві (ε), тиск насосної станції (P), та навантаження (F), що діє на абразивне зерно. Кодування змінних факторів приведено в табл. 3.

Таблиця 3

Кодування змінних факторів

Рівень факторів	ε		P , МПа		F , Н	
	x_1	$\ln x_1$	x_2	$\ln x_2$	x_1	$\ln x_1$
Верхній (+)	0,15	-1,89	400	5,99	12000	9,39
Основний (0)	0,08	-2,53	350	5,7	10000	9,21
Нижній (-)	0,03	-3,51	300	5,29	8000	8,99

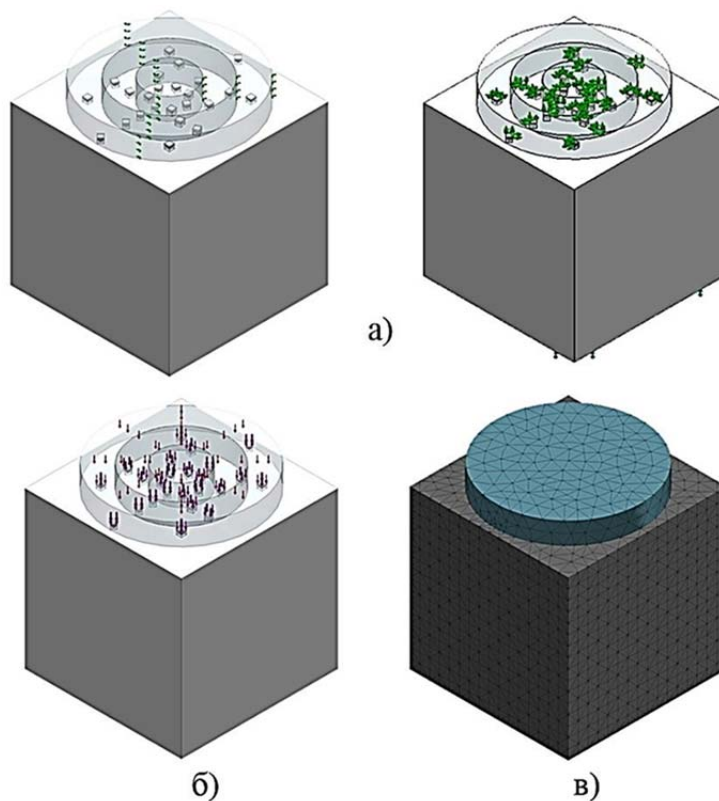


Рис. 3. Віртуальна модель взаємодії абразивних зерен і оброблювальної поверхні:
а – кріплення; б – навантаження, що діє на абразивне зерно; в – сітка моделі,
що складається з тетраїдальних елементів

Для визначення тиску, з яким струмінь рідини діє на поверхню оброблюваного матеріалу, було побудовано віртуальну модель у середовищі SolidWorks (рис. 4). За допомогою програми FloWorks розрахували тиск на поверхні оброблюваного матеріалу.

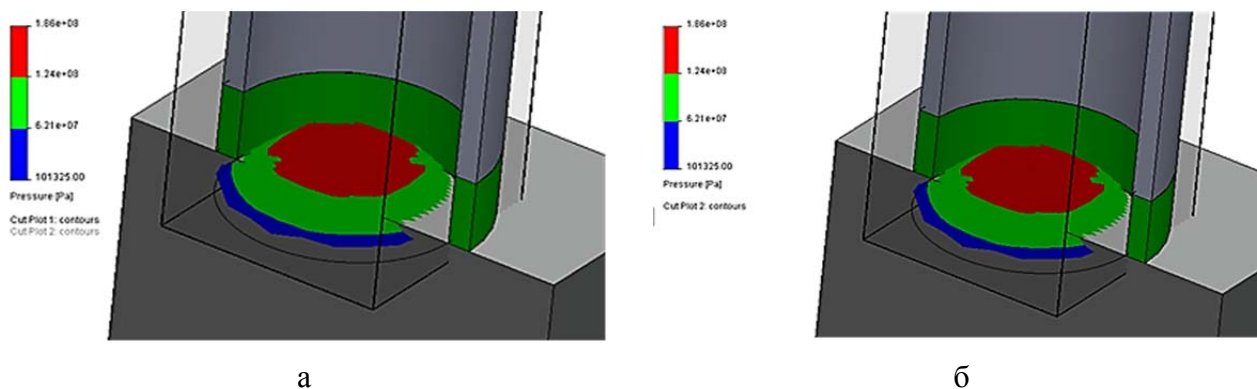


Рис. 4. Віртуальна модель для визначення тиску струменя рідини на поверхню оброблюваного матеріалу:
а – при тиску насосної станції 400 МПа; б – при тиску насосної станції 300 МПа

При побудові віртуальної моделі, яка дозволяє дослідити процес взаємодії зерен з поверхнею оброблюваного матеріалу, зміну тиску струменя рідини на поверхню оброблюваного матеріалу показали схематично, поділивши переріз струменя на три зони згідно з результатами, отриманими у програмі FloWorks.

Деякі результати, отримані в ході віртуального експерименту показані на рис. 5.

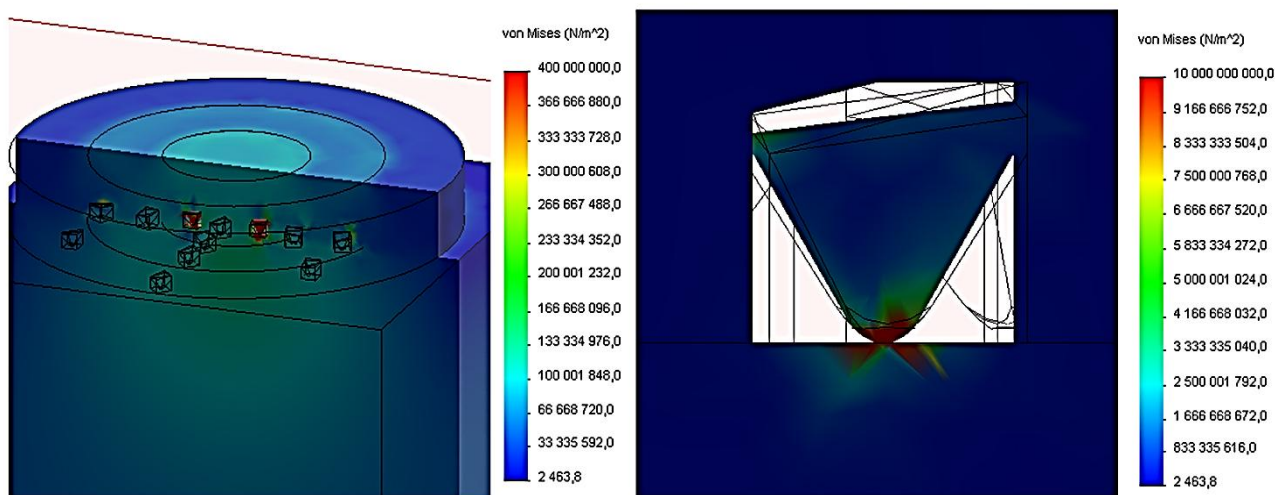


Рис. 5. Результати експерименту для 1 досліду

У табл. 4 приведено матрицю планування 2^3 та результати експериментів, і розрахунку критеріїв Кохрена (G), Стюдента ($s^2\{b_i\}$), та дисперсії адекватності (s_{ad}^2) [6].

Таблиця 4

Матриця планування 2^3 і результати експериментів

№ точок v	x_0	x_1	x_2	x_3	Напруження в зоні взаємодії σ , $\cdot 10^9 \text{ Н/м}^2 \cdot (\ln \sigma)$		Критерії		
					\bar{y}_v	$M\{\bar{y}_v\}$	G	$s^2\{b_i\}$	s_{ad}^2
1	+	-	-	-	12,12	2,4950	0,129	0,0262	0,0018
2	+	+	-	-	13,07	2,5704			
3	+	-	+	-	14,88	2,7002			
4	+	+	+	-	14,94	2,7041			
5	+	-	-	+	12,24	2,5050			
6	+	+	-	+	13,45	2,5994			
7	+	-	+	+	15,10	2,7152			
8	+	+	+	+	14,32	2,6623			
b_i	2,62	0,015	0,076	0,0015					

Розраховані критерії вказують на те, що розроблена математична модель адекватно описує досліджуваний процес у вибраних межах змінюваних факторів.

Математична модель, розроблена в ході експерименту, має вигляд:

$$\sigma = e^{1,38} \cdot F^{0,0075} \cdot P^{0,218} \cdot \varepsilon^{0,019}, \quad (4)$$

Побудовано поверхні залежності величини напруження у зоні взаємодії абразивних зерен із поверхнею оброблюваного твердого сплаву при незмінних процентному вмісті зв'язки в сплаві (ϵ), тиску насосної станції (P), та навантаженні (F) відповідно. Графіки цих поверхонь наведені на рис. 6.

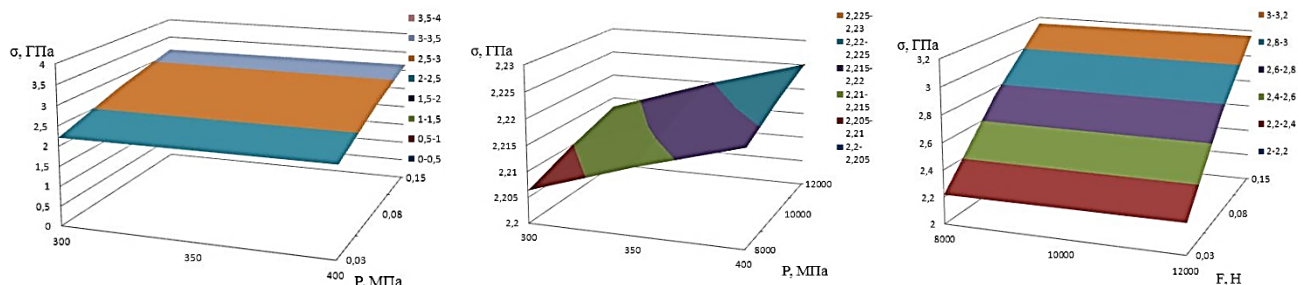


Рис. 6. Поверхні залежності напруження у зоні взаємодії одиничного абразивного зерна із поверхнею оброблюваного твердого сплаву незмінних процентному вмісті зв'язки в сплаві (ϵ), тиску насосної станції (P) та навантаженні (F) відповідно

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень взаємодії абразивних зерен із поверхнею оброблюваного твердого сплаву на основі віртуальної комп'ютерної моделі встановлено величину напруження, що виникає в зоні взаємодії, досліджено вплив початкових параметрів на величину напруження. Величини напружень, що виникають в зоні взаємодії абразивних зерен з поверхнею твердого сплаву, значно перевищують граничні значення, а отже в зоні взаємодії буде відбуватися руйнування оброблюваного матеріалу. Подальші дослідження та розрахунки дадуть можливість визначити об'єм видаленого матеріалу за один акт взаємодії абразивного і оброблюваного матеріалів і продуктивність обробки в цілому, якість обробленої поверхні, та ефективні режими обробки. Також розроблено математичну модель для визначення величини напруження у зоні взаємодії абразивних зерен з поверхнею оброблюваного твердого сплаву. Отримана модель дозволяє оцінити вплив основних факторів процесу гідроабразивного різання заготовок із твердого сплаву на етапі віртуального експерименту і зменшити обсяги натурних експериментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Киффер Р. Твердые сплавы : перев. с нем. / Р. Киффер, Ф. Березовский. – М. : Металлургия», 1971. – 392 с.
2. Попов Л. М. Физико-химические методы обработки : Компьютерный текст лекций / Л. М. Попов. – [2-е изд., перер.]. – Челябинск : ЮУрГУ, 2006. – 97 с.
3. Самойлов В. С. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент / В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. А. Фальковский. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. Саленко О. Ф. Дослідження взаємодії одиничного абразивного зерна із поверхнею оброблюваного твердого сплаву / О. Ф. Саленко, М. В. Костюнін, А. М. Федотьев // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 471–476.
5. Степанов Ю. С. Моделирование числа абразивных зерен, участвующих в процессе формирования поверхности детали при резании сверхзвуковой гидроабразивной струей / Ю. С. Степанов, Г. В. Барсуков, А. В. Михеев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 1 (21). – С. 15–19.
6. Романов В. Н. Планирование эксперимента : учеб. пособие / В. Н. Романов; М-во науки, высш. шк. и техн. политики РФ, Сев.-Зап. заоч. политехн.ин-т ; М-во науки, высш. шк. и техн. политики РФ. Сев.-Зап. заоч. политехн. ин-т (С.-Петербург). – СПб. : СЗПИ, 1992. – 104 с. : табл.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2012 р.