

3. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы: монография / Г.И.Камель. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 160с.
4. Камель Г.И. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей: навч. посіб. / Г.И.Камель, В.М.Мілютін, П.С.Івченко, А.І.Панфілов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. – 496с.

Поступила в редколлегию 23.01.2017.

УДК 621.922.02.001.5

ТАНЦУРА Г.І., к.т.н. доцент
БІЛОУС М.О., студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА ВІД ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО РАДІАЛЬНОГО ТИСКУ НА АБРАЗИВНЕ ЗЕРНО

Вступ. Шліфування займає значне місце в металообробці. Здебільшого процес шліфування здійснюється шліфувальними кругами. В них різальні абразивні зерна періодично входять в контакт з деталлю, що обробляють. В процесі шліфування матеріалу зношуються різальні кромки шліфувальних зерен поверхневого робочого шару. Погіршуються умови здійснення технологічного процесу зняття шару металу з деталі. Внаслідок періодичного навантаження зерен вони руйнуються. Руйнується матеріал, який їх утримує. Зерна випадають. У взаємодію з матеріалом деталі, що обробляють, вступають цілі зерна з незношеними різальними кромками.

Періодичне навантаження зерен призводить до циклічно змінного напруженого стану матеріалу, що їх утримує. Термін руйнування (кількість циклів навантажень) з'єднання зерен з матеріалом залежить від ряду причин, серед яких і величини навантажень зерен, характер циклів зміни навантажень. Руйнування поверхневого шару забезпечує появу на ньому нових різальних кромок замість зношених. Покращуються умови реалізації основної функції абразивних зерен – зняття шару металу з деталі, що обробляють. Відновлюється технологічний процес шліфування.

Встановлення оптимальних умов зносу різальних кромок абразивних зерен та супутнього руйнування матеріалу, в якому вони утримуються при циклічному їх навантаженні, – актуальна науково-технічна проблема. Вона включає задачу визначення напруженого стану матеріалу, в якому утримуються абразивні зерна, як основного чинника, що призводить до руйнування матеріалу при циклічному його навантаженні.

Постановка задачі. В роботі [1] показано розподіл напружень, зумовлених дією відцентрових сил. Дія зосереджених сил, прикладених безпосередньо до зерен, не врахована. В дисертації Музички Д.Г. [2] досліджені особливості формозміни різальної поверхні шліфувального круга з урахуванням температурно-силових факторів, що впливають на напружений стан зерен. Окремі аспекти силової взаємодії зерен та матеріалу, що їх утримує, досліджені в статті Ушакова А.Н. [3]. В ній автор, використовуючи модель абразивного інструменту [4], вплив матеріалу шліфувального круга моделює системою дискретних пружних елементів. Неперервна схем взаємодії абразивного зерна з матеріалом, що його утримує, використана в роботі [5]. В ній автор до абразивного зерна заданої форми прикладає зовнішні сили. Поверхню, якою зерно взаємодіє зі зв'язкою, приймає такою, що не змінює свою форму. Вказане відповідає прийняттю гіпотези про безмежно жорсткий матеріал, який зв'язує зерна, що не дозволяє встановити зв'язок поміж прикладеними до зерна зусиллями та напруженим станом матеріалу, в якому воно розташоване.

У роботі поставлена задача дослідити розподіл напружень в матеріалі шліфувального круга при дії на нього нормальної сили. Шліфувальний круг розглянуто як виготов-

лений з ізотропного матеріалу. Його радіус значно перевищує розмір абразивних зерен. В статті він прийнятий безмежним.

Результати роботи. В прийнятій постановці шліфувальний круг займає частину простору $0 \leq z \leq \infty$. В ньому виокремимо циліндр висотою та діаметром c . Основу циліндра помістимо в площині $z = 0$. Циліндр будемо розглядати як абразивне зерно. В точці, що відповідає центру іншої основи, в перерізі $z = c$ прикладемо силу, що дорівнює тиску на зерно та спрямовану нормально до поверхні $z = 0$. За такої схеми напружено-деформований стан матеріалу зв'язки симетричний відносно осі z . Для такого випадку функція напружень має вигляд [6]

$$\varphi = \frac{P}{8\pi(1-\mu)} \left\{ R_1 + [8\mu(1-\mu) - 1] R_2 - \frac{2cz}{R_2} + 4(1-2\mu)[(1-\mu)z \ln(R_2 + z + c)] \right\}, (1)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; R_1 – радіус-вектор від проекції точки прикладення зосередженої сили до точки визначення напружень та переміщень; R_2 – радіус-вектор, який від точки розташований на нормалі до поверхні симетрично точці прикладення зосередженої сили до точки визначення напружень та переміщень; r – радіус-вектор від осі z до поточної точки визначення напружень та переміщень;

$$R_1 = \sqrt{(z-c)^2 + r^2}; \quad R_2 = \sqrt{(z+c)^2 + r^2}.$$

Напруження в пружному середовищі визначаються наступними залежностями:

$$\begin{aligned} Rr &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \Delta^2 - \frac{\partial}{\partial r^2} \right) \varphi; \\ B\beta &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \Delta^2 - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \varphi; \\ Zz &= \frac{\partial}{\partial z} \left((2-\mu) \Delta^2 - \frac{\partial}{\partial z^2} \right) \varphi; \\ Rz = Zr &= \frac{\partial}{\partial r} \left((1-\mu) \Delta^2 - \frac{\partial}{\partial z^2} \right) \varphi; \\ R\beta = Br = Bz = Z\beta &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Переміщення матеріалу

$$\begin{aligned} u_r &= -\frac{1}{2G} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial z}; \\ u_z &= -\frac{1}{2G} \left(2(1-\mu) \Delta^2 - \frac{\partial}{\partial z^2} \right) \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

де $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$.

Визначимо напруження по поверхням, що відповідають границям зерна циліндричної форми, вісь якого паралельна осі z , висотою та діаметром $c = 10$ мкм. Результати розрахунків напружень в радіальній площині $z \leq 0 \leq c$ і $\frac{c}{2} \leq r \leq c$ для матеріалу, коефіцієнт Пуассона для якого дорівнює нулю ($\mu = 0$), наведено далі. На рис.1 та 2 по-

казано розподіли нормальних напружень, віднесених до середніх значень тиску зерна на матеріал, що пов'язує абразивні зерна.

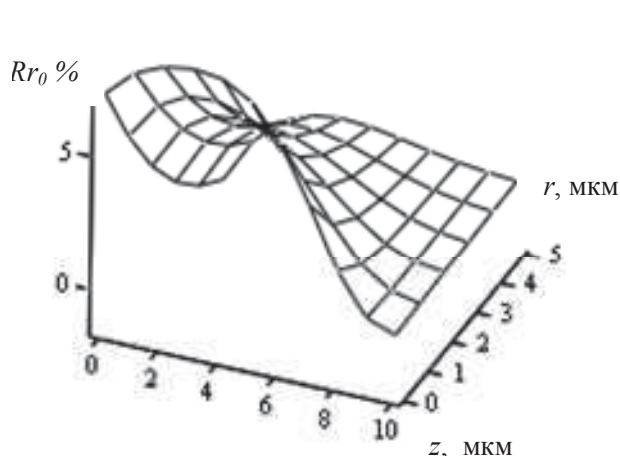


Рисунок 1 – Розподіл нормальних радіальних напружень по висоті z та в радіальному напрямку для матеріалу з модулем $\mu = 0$

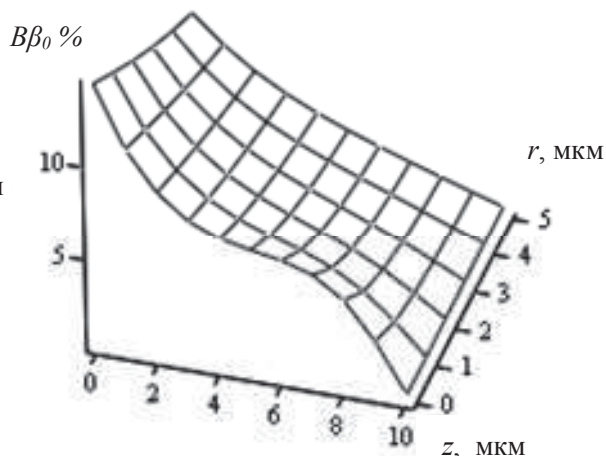


Рисунок 2 – Розподіл нормальних колових напружень по висоті z та в радіальному напрямку для матеріалу з модулем $\mu = 0$

На рис.3 та 4 наведено графіки розподілу дотичних напружень, що виникають в матеріалі, який утримує абразивні зерна.

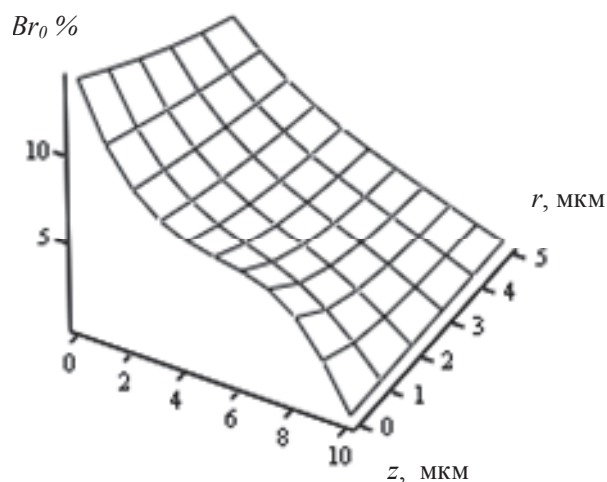


Рисунок 3 – Розподіл дотичних напружень в площинах нормальних до осі зерна по його висоті z та в радіальному напрямку для матеріалу з модулем $\mu = 0$

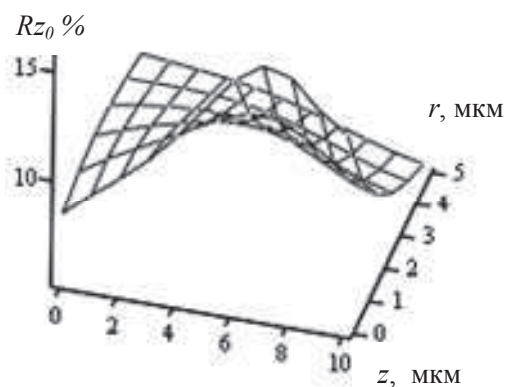


Рисунок 4 – Розподіл дотичних напружень в радіальних площинах по висоті зерна z та в радіальному напрямку для матеріалу з модулем $\mu = 0$

Наведені графічні залежності дозволяють зробити наступний висновок. Напруження, що залежать від куткової координати β , якісно та кількісно близькі. Їх значення зменшуються від верхньої частини абразивного зерна, якою воно взаємодіє з матеріалом, що обробляється, до протилежної основи. Нормальні радіальні напруження від поверхні шліфувального круга зростають до локального максимуму. Дотичні напруження, що залежать від радіуса-вектора r , також мають локальний максимум. Він розташований ближче до основи зерна. Зменшуються напруження і з віддаленням від зерна в радіальному напрямку. Останнє є реалізацією принципу Сен-Венана про локальність напруженого стану, зумовленого локальними збуреннями.

Максимальні значення усіх напружень не перевищують п'ятої частини розподіленого тиску абразивного кристала на матеріал шліфувального круга. Максимальні радіальні нормальні напруження менші за 10% розподіленого тиску. Це свідчить про обмежену можливість утримання зерна силами тертя у разі відсутності адгезійного зв'язку поверхні кристала з матеріалом та вимагає заходів, спрямованих на покращення зв'язку матеріалу шліфувального круга з абразивними зернами.

Відповідно до функції напружень напружено-деформований стан матеріалу шліфувального круга в районі різального зерна залежить від характеру деформування матеріалу. Одним з показників, що характеризує механічні властивості матеріалу, є коефіцієнт Пуассона. Для реальних матеріалів коефіцієнт Пуассона приймає значення в межах від нуля до однієї другої. З метою оцінки його впливу на напружений стан матеріалу шліфувального круга визначимо напружено-деформований стан та приймемо, що коефіцієнт Пуассона матеріалу, який утримує абразивні кристали в шліфувальному крузі, становить 0,25 та 0,5. Визначимо напруження в матеріалі за прийнятою схемою навантаження. Результати наведено на рис.5-8.

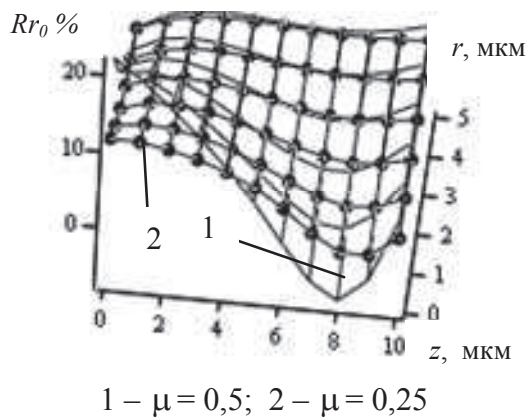


Рисунок 5 – Розподіл нормальних радіальних напружень по висоті z та в радіальному напрямку для матеріалу з різними значеннями коефіцієнта Пуассона

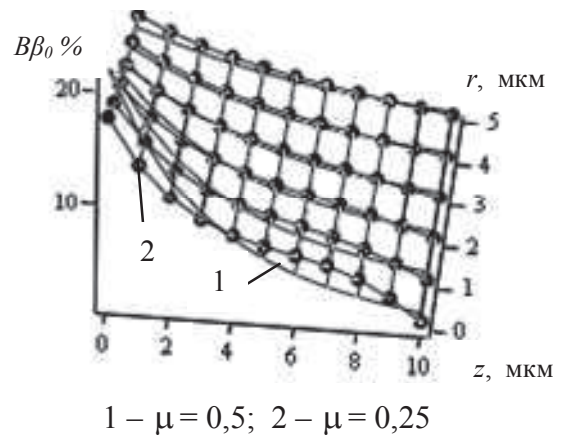


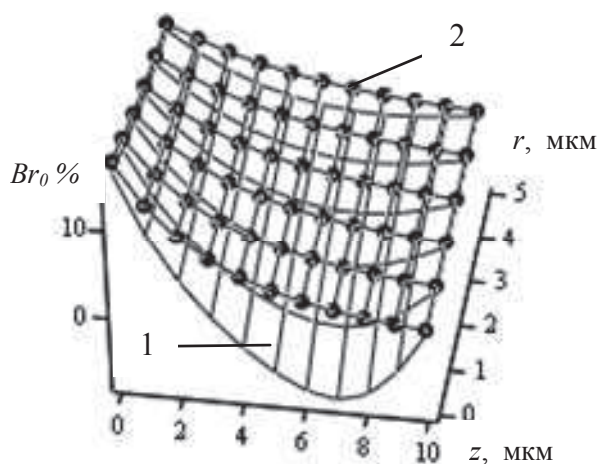
Рисунок 6 – Розподіл нормальних колових напружень по висоті z та в радіальному напрямку для матеріалу з різними значеннями коефіцієнта Пуассона

Відповідно до побудованих графічних залежностей нормальні радіальні напруження Rr по висоті зерна змінюють свій знак, якщо значення коефіцієнта Пуассона μ перевищує 0,25. Їхні максимальні значення більші при більшому значенні коефіцієнта Пуассона.

Нормальні колові напруження $B\beta$ несуттєво змінюються зі зміною вказаного коефіцієнта. Вони спадні. Їхні максимальні значення близькі та сягають 20% розподіленого тиску кристала на матеріал шліфувального круга

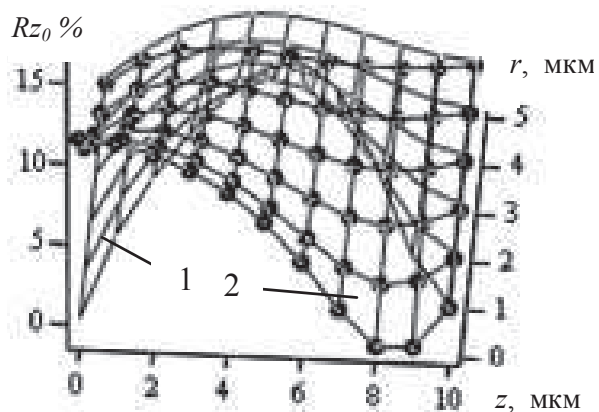
Аналіз графіків (рис.7) показує наступне. Зміна коефіцієнта Пуассона несуттєво впливає на розподіл дотичних напружень Bz . Їх значення при коефіцієнті Пуассона $\mu = 0,5$ дещо менші в тій частині матеріалу, що взаємодіє з середньою частиною шліфувального зерна. Максимальні напруження мають місце в обсягах матеріалу, ближчих до різальної поверхні зерна. Їх значення менші від значень відповідних нормальних напружень.

Відповідно до графічних залежностей, наведених на рис.8, значення коефіцієнта Пуассона μ суттєво впливають на характер розподілу дотичних напружень Bz . Найбільших абсолютних значень вони набувають в матеріалі, що взаємодіє з серединою абразивного зерна, якщо $\mu = 0,5$.



1 – $\mu = 0,5$; 2 – $\mu = 0,25$

Рисунок 7 – Розподіл дотичних напружень Br по висоті зерна z та в радіальному напрямку для матеріалу з різними значеннями коефіцієнта Пуассона



1 – $\mu = 0$; 2 – $\mu = 0,25$

Рисунок 8 – Розподіл дотичних напружень в радіальних площинах по висоті зерна z в радіальному напрямку для матеріалу з різними значеннями коефіцієнта μ

Наведене вище показує, що максимальні нормальні напруження в матеріалі шліфувального круга в зоні його взаємодії з абразивним шліфувальним зерном перевищують відповідні дотичні. Вони виникають в частині матеріалу, розташованій ближче до поверхні шліфувального круга. Вони найбільші у випадку, коли $\mu = 0,5$. Оскільки кількість циклів навантажень до руйнування матеріалу зменшується зі зростанням максимальних напружень, то застосування в якості матеріалів зв'язки шліфувальних кругів матеріалів з меншими значеннями коефіцієнта Пуассона, в загальному випадку, більш доцільне.

Висновки. Нормальна сила тиску деталі, що обробляється, на окреме шліфувальне зерно зумовлює складний напружено-деформований стан матеріалу зв'язки. Напруження в матеріалі, що утримує абразивні зерна, нерівномірно розподілені в зонах контакту з бічними поверхнями абразивних зерен. Їх максимальні значення менші від напружень, що виникають у матеріалі внаслідок нормального тиску зерна на зв'язку. Застосування матеріалу зв'язки, коефіцієнт Пуассона якого більший від нуля, веде до зростання максимальних напружень, відповідно, в загальному випадку, до зменшення кількості циклів навантаження різального зерна до його відокремлення від матеріалу зв'язки.

Напрямоком подальших досліджень слід вважати визначення показників витривалості матеріалів шліфувальних кругів при симетричному та віднульовому циклах навантажень та на їх основі з урахуванням отриманих результатів встановлення оптимальних умов руйнування матеріалу, що утримує абразивні зерна шліфувального круга та зносу їх різальних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Носов Н.В. Технологические основы проектирования абразивных инструментов / Н.В.Носов, Б.А.Кравченко. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 257с.
2. Музичка Д.Г. Підвищення ефективності шліфування твердих сплавів спрямованим обмеженням формозміни різальної поверхні шліфувальних кругів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / Д.Г.Музичка. – Чернігів, 2015. – 23с.
3. Ушаков А.Н. Разработка модели напряженно-деформированного состояния «абразивное зерно-связка» / А.Н.Ушаков // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – №42 (1085). – С.59-64.

4. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И.Островский. – Л.: Ленинградский университет, 1981. – 141с.
5. Коротков В.А. Геометрия и напряженное состояние ориентированных шлифовальных зерен с контролируемой формой / В.А.Коротков, Е.ММинкин // Обработка металлов. – 2014. – №2 (64). – С.62-77.
6. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости / В.Г.Рекач. – М.: Высшая школа, 1977. – 216с.

Надійшла до редколегії 27.04.2017.

УДК 621.867.427

ЧАСОВ Д.П., к.т.н., доцент
КОРОЛЬ М.О., студент
КРАЄВСЬКИЙ О., студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЄРА З УРАХУВАННЯМ ДОДАТКОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ

Вступ. Однією з гострих проблем машинобудування України є переробка та утилізація відходів процесів механічної обробки – стружки і шламу. Виходячи з того, що процес переробки та утилізації здійснюється не на території механічних цехів, то актуальною стає важлива задача – транспортування відходів від верстата на наступні етапи переробки.

Під час теоретичних досліджень отримано математичну залежність, яку необхідно перевірити експериментально. Планування експерименту дає досліднику математично обґрунтовану схему логічних операцій, дозволяє управляти експериментом при неповному знанні механізму фізичних явищ [1-3]. Замість традиційного однофакторного експерименту, коли при проведенні дослідів по черзі варіюється тільки один фактор і основним завданням дослідника є фіксування всіх інших факторів на незмінному рівні, при плануванні експерименту рекомендується одночасно змінювати всі досліджувані фактори згідно з певним планом експерименту. Цим досягається скорочення обсягу експериментів і отримання більш достовірних залежностей, які враховують взаємодію факторів [4].

Постановка задачі. Головною метою роботи є визначення при проведенні багатofакторних експериментальних досліджень найбільш ефективних величин досліджуваних параметрів шнекового конвеєра: заповнюваності жолоба, кількості та кута атаки додаткових лопатей.

Результати роботи. В основу проведення експериментів покладено метод одночасного варіювання основними параметрами, що впливають на продуктивність модернізованої лопаті (Л – кількість додаткових лопатей, З – заповнюваність жолоба, А – кут атаки лопатей, М – матеріал стружки, що транспортується, Р – розмір стружки, що транспортується), в якому визначаються не окремі залежності, а функціональна залежність показників від усіх досліджуваних параметрів [5]. Для встановлення функціональної залежності використано формулу:

$$P = C * L^x * Z^k * A^z * M^u * R^q. \quad (1)$$

У цій формулі P – продуктивність.