

## РОЗДІЛ III. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.922

**В.І. Кальченко**, д-р техн. наук

**В.В. Кальченко**, д-р техн. наук

**А.М. Єрошенко**, канд. техн. наук

**А.В. Кологойда**, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### 3D МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАТОЧУВАННЯ ГОЛЧАСТОЇ ГАРНИТУРИ БАРАБАНІВ ТА ВАЛИКІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН

**В.І. Кальченко**, д-р техн. наук

**В.В. Кальченко**, д-р техн. наук

**А.М. Єрошенко**, канд. техн. наук

**А.В. Кологойда**, асистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАТОЧКИ ИГОЛЬЧАТОЙ ГАРНИТУРЫ БАРАБАНОВ И ВАЛИКОВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАШИН

**Vitalii Kalchenko**, Doctor of Technical Sciences

**Volodymyr Kalchenko**, Doctor of Technical Sciences

**Andrii Yeroshenko**, PhD in Technical Sciences

**Antonina Kolohoida**, assistant

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### 3D MODELING OF GRINDING OF NEEDLE SETS OF DRUMS AND ROLLERS OF TEXTILE MACHINES

*На текстильних підприємствах широко використовуються чесальні агрегати для прочісування вовни, основним робочим елементом яких є голчаста гарнітура. Якість заточування голчастої поверхні значним чином впливає на якість продукції, що випускається, та відсоток браку. Головною проблемою під час її заточування є виникнення задирки на кінчиках голок, які в процесі роботи агрегату викликають розрив вовни. Розмір та положення задирки головним чином залежить від швидкості та методу оброблення. В роботі побудована термомеханічна 3D модель процесу заточування голчастої гарнітури з використанням програмних продуктів SolidWorks, LS-DYNA та ін., що дало можливість визначити контактні напруження у процесі оброблення та температуру в зоні різання. Використання отриманих результатів дозволить оптимізувати процес заточування голчастої гарнітури.*

**Ключові слова:** шліфування, 3D моделювання, голчаста гарнітура, температура, контактні напруження.

*На текстильних підприємствах широко используются чесальные агрегаты для прочесывания шерсти, основным рабочим элементом которых выступает игольчатая гарнитура. Качество заточки игольчатой поверхности главным образом влияет на качество выпускаемой продукции и процент брака. Главной проблемой при ее заточке является возникновение заусенцев на кончиках иголок, которые в процессе работы агрегата вызывают разрыв шерсти. Размер и положения заусенца главным образом зависят от скорости и метода обработки. В работе предложена термомеханическая 3D модель процесса заточки игольчатой гарнитуры с использованием программных продуктов SolidWorks, LS-DYNA и др., что дало возможность определить контактные напряжения в процессе обработки и температуру в зоне резания. Использование полученных результатов дает возможность оптимизации процесса заточки игольчатой гарнитуры.*

**Ключевые слова:** шлифование, 3D моделирование, игольчатая гарнитура, температура, напряжения.

*In the textile enterprises used carding machines for carding wool, the main working element which acts card clothing. Quality sharpening the needle surface is mainly influenced by the quality of its products and the percentage of defects. The main problem with it is the appearance of grinding burrs on the tips of the needles, which are in the process of operation of the unit causing the gap wool. The size and position of the burr is mainly dependent on the speed and processing method. We propose a 3D model process of sharpening card clothing using software SolidWorks, LS-DYNA and others, which made it possible to determine the contact stress during handling and temperature in the cutting zone. Using the results obtained enables process optimization sharpening card clothing.*

**Key words:** grinding, 3D modeling, card clothing, temperature, contact stresses.

**Постановка проблеми.** На текстильних підприємствах широко використовуються чесальні агрегати, основним робочим елементом яких є голчаста поверхня барабанів та

валиків. На якість продукції, що випускається, та відсоток браку головним чином впливає якість заточування голчастої поверхні. Основними характеристиками заточуваної поверхні є величина задирки на одній голці та форма її робочої частини. За відомими методами заточування голчастої гарнітури відбувається за пружною схемою, де в процесі формування натягу в системі «голчаста гарнітура – шліфувальний інструмент» майже весь припуск знімається за один оберт, причому температура в зоні оброблення значно підвищується, голки оплавляються і на їх кінчиках утворюються задирки, які при подальшому обробленні практично не знімаються.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1; 2] досліджені різні методи заточування голчастої поверхні барабанів та валиків текстильних агрегатів. Запропоновані нові методи оброблення, які зменшують розміри задирки, що утворюється на кінчику голки під час заточування.

Проведено динамічне 3D моделювання процесу шліфування у режимі самозаточування [3], запропонована методика використання вирішувача LS-DYNA при динамічному моделюванні процесу алмазно-абразивного оброблення. У роботі [4] з використанням спеціалізованого пакету програм CosmosWorks, на базі запропонованої 3D моделі системи «зв'язка – зерно – металофаза – заготовка» розраховано еквівалентні напруження, які виникають у процесі оброблення.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Однак у запропонованих роботах не проведені ґрунтовні дослідження, які б показували, як залежить величина задирки від швидкості оброблення та припуску, що знімається, не наведені оптимальні швидкості різання та не визначено методику їх призначення. Незрозуміло, якої деформації зазнає одна голка в процесі заточування і яким чином впливає на форму та якість робочої поверхні.

У розроблених 3D моделях процесу шліфування основна увага приділяється властивостям інструменту і, головним чином, досліджуються його оптимальні характеристики. При цьому не з'ясована поведінка деталі з врахуванням її не жорсткого закріплення та пружних деформацій, яких вона зазнає у процесі оброблення.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розроблення термомеханічної моделі процесу заточування голчастої гарнітури, яка дозволить з'ясувати вплив різних параметрів на процес формування та розміри задирки, а також на форму робочої поверхні голки.

**Виклад основного матеріалу.** Голчаста гарнітура (рис. 1) складається з набору скоб, закріплених у визначеному порядку на основі, яка виготовляється за допомогою склеювання декількох шарів тканини і шару повстини або гуми товщиною  $4 \pm 0,5$  мм. Скобки голчатої стрічки представляють собою проволочку круглого перерізу і мають П-подібну форму. Їх плечі називаються силами. Місце з'єднання двох суміжних сил називається сідлом скоби. Робочою частиною голок є їх вершина і боки. Звичайно скоби виготовляють з проволочки діаметром  $d=0,2-0,4$  мм зі сталі У7А. Заточування голчастої поверхні виконують абразивним кругом зернистістю 160/125.



Рис. 1. Загальний вигляд та основні розміри голчастої гарнітури

З метою побудови термомеханічної моделі процесу заточування голчастої гарнітури абразивним кругом, більш детально розглянемо процес різання одним абразивним зерном однієї голки. Побудову 3D моделей та розрахунків процесу будемо виконувати з використанням таких програмних продуктів, як SolidWorks, ANSYS WorkBench, LSPrePost та розрахункового модуля LS-DYNA, за методикою, запропонованою у роботі [5].

3D модель тіла голки була створена у пакеті SolidWorks (рис. 2, а) за основні розміри було прийнято:  $d=0,3$  мм,  $t=7$  мм,  $n=4,5$  мм,  $\alpha=77^\circ$ ,  $\beta=48^\circ$ . Під час заточування голчастої поверхні значний вплив на поведінку голки при входженні її в зону оброблення має демпфуючий шар основи, який зменшує величину пружних деформацій голки та відхилення її від початкового положення. Під час моделювання процесу оброблення основу, в якій закріплено голки, зображуємо у вигляді циліндра діаметром  $d_c=1$  мм та висотою  $h_c=5,5$  мм, пружні властивості якого відповідають пружним характеристикам повстини.

Сітку скінченних елементів створюємо у програмному модулі CosmosWorks, при цьому з метою оптимізації процесу розрахунків розміри сітки скінченних елементів голки приймаємо меншими за розміри основи (рис. 2, б).

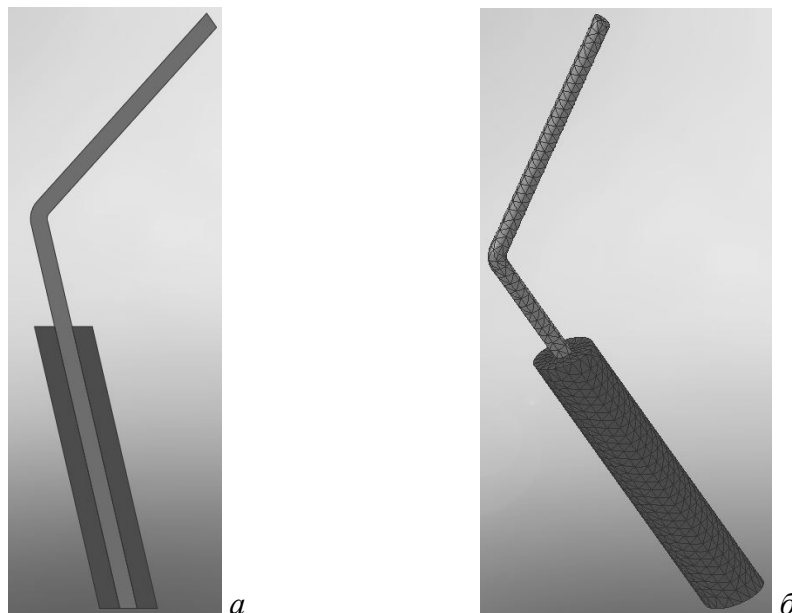


Рис. 2. 3D модель та сітка скінченних елементів заготовки:  
а – 3D модель деталі; б – сітка скінченних елементів деталі

На адекватність моделювання процесу заточування голчастої гарнітури значно впливає правильність вибору та побудови моделі інструмента. Авторами [6; 7] пропонуються моделювати абразивні зерна у формі прямокутного паралелепіпеда, конуса, сфероїда, еліпсоїда, октаедра та ін. Використовуючи критерії, наведені у роботі [7], для моделювання заточування голчастої гарнітури абразивним інструментом із середнім розміром зерен  $160$  мкм як геометричну модель зерна приймаємо октаедр з розміром головної діагоналі  $160$  мкм (рис. 3, а). З метою найбільш повного відображення умов закріплення зерна у зв'язці та надання зерну необхідної орієнтації змодельуємо зв'язку у вигляді паралелепіпеда, властивості матеріалу якого вибираємо найбільш близькими до властивостей керамічної зв'язки (рис. 3, б). Сітку скінченних елементів на поверхні інструмента створюємо засобами програмного модуля CosmosWorks (рис. 3, в), при цьому розмір елементів зерна приймаємо меншим за розміри елементів зв'язки з метою зменшення машинного часу розрахунку системи та враховуємо незначні втрати точності на зв'язці.

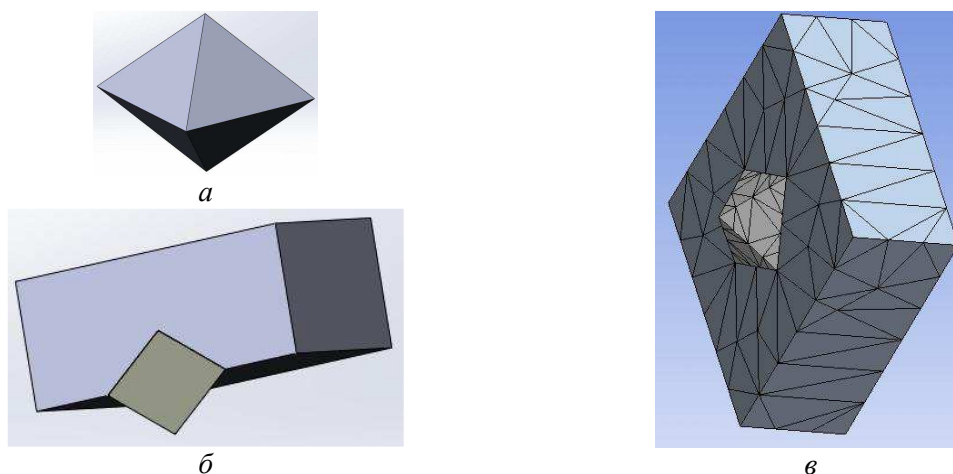


Рис. 3. Моделювання робочої поверхні інструмента:  
 а – 3D модель ріжучого зерна; б – метод закріплення зерна у зв'язці;  
 в – сітка скінченних елементів інструмента

Складальну модель (рис. 4) створюємо у програмі SolidWorks. Початкові параметри процесу (швидкість та глибина різання) та властивості матеріалу задаємо у препроцесорі LSPrePost. Вважаючи, що швидкість різання направлена по дотичній до радіуса валика текстильної машини, абразивне зерно розміщуємо на відстані припуску на оброблення та надаємо йому швидкості у горизонтальному напрямку, всі інші рухи обмежуємо, накладаючи відповідні зв'язки. Рух деталі обмежуємо, забороняючи переміщення нижнього торця голки та основи, а також будь-які переміщення зовнішнього циліндра демпфера.

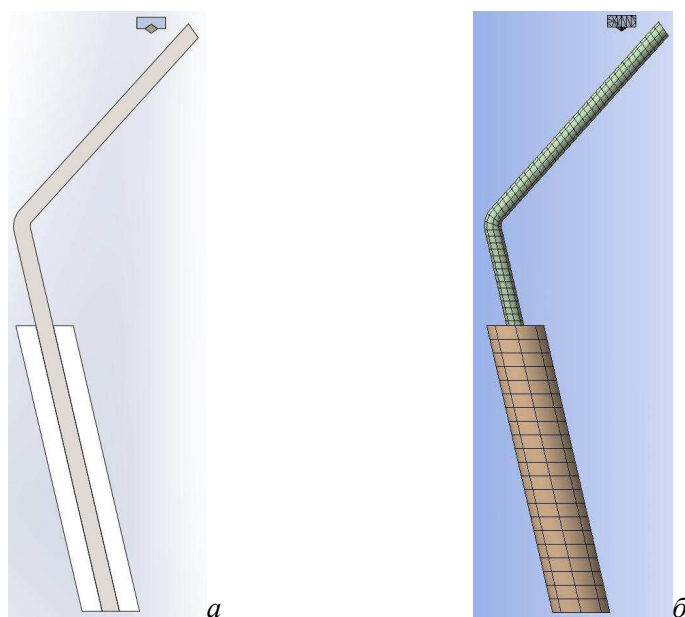


Рис. 4. Складальна 3D модель оброблення:  
 а – 3D обробляючої системи; б – створення сітки скінченних елементів системи

На практиці швидкість обертання шліфувального круга найчастіше приймають у діапазоні 20...35 м/с, швидкість обертання деталі 1...12 м/с, повздовжню подачу 200...1200 мм/хв. З метою отримання найбільш повної інформації щодо особливостей процесу заточування голчастої гарнітури проведемо повне факторне планування експерименту. Як фактори експерименту приймаємо швидкість оброблення, подачу та глибину різання (табл. 1).

Таблиця 1

*Кодування факторів експерименту*

Інтервал варіювання та рівні факторів	Натуральні значення факторів			Кодове значення факторів		
	V, м/с	S, мм/с	t, мм	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Нульовий рівень	30	400	2	0	0	0
Інтервал варіювання	15	200	2			
Верхній рівень	45	600	4	+	+	+
Нижній рівень	15	200	0	-	-	-

За відомою методикою складемо матрицю планування експерименту. При цьому рядки матриці будуть відповідати різним експериментам, а стовбці – різним значенням факторів. Складання матриці експерименту здійснюємо за правилом чергування знаків: для першого значення рівні чергуються в кожному експерименті, для другого – через 2 експерименти, а для третього – через 4 експерименти.

При цьому кількість можливих експериментів визначається за формулою:

$$N = p^k = 2^3 = 8.$$

У випадку моделювання експерименту по заточуванню голчастої гарнітури необхідно врахувати те, що ефект одного фактора буде залежати від рівня, на якому знаходиться інший фактор. У цьому випадку матриця планування експерименту буде мати вигляд табл. 2, а математична модель записується у вигляді рівняння:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + B_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + B_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Таблиця 2

*Матриця планування повного факторного експерименту 2<sup>3</sup>*

№ експерименту	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y
1	-	-	-	+	+	+	-	Y <sub>1</sub>
2	+	-	-	-	-	+	+	Y <sub>2</sub>
3	-	+	-	-	+	-	+	Y <sub>3</sub>
4	+	+	-	+	-	-	-	Y <sub>4</sub>
5	-	-	+	+	-	-	+	Y <sub>5</sub>
6	+	-	+	-	+	-	-	Y <sub>6</sub>
7	-	+	+	-	-	+	-	Y <sub>7</sub>
8	+	+	+	+	+	+	+	Y <sub>8</sub>

Під час заточування голчастої гарнітури на голки діють певні сили (рис. 5). Чисельне значення сил різання ( $P_y$ ,  $P_z$ ) та сили тертя залежить від режимів оброблення, матеріалу деталі та шліфувального круга. Сила протидії основи деформації голки  $Q$  залежить від пружних властивостей повстини та сил різання і тертя. Визначення пружних властивостей основи є складною технічною задачею, для вирішення якої було проведено експериментальне дослідження за схемою, наведеною на рис. 6.

У результаті оброблення експериментальних результатів було виявлено, що при дії сили різання величиною 1 Н розподілене навантаження, з яким повстина тисне на голку, становить 1,492 Н/мм.

Значення сили різання визначається за відомими формулами і в цьому випадку становить  $P_z=0,023$  Н, отже навантаження, з яким повстина діє на голку, дорівнює:

$$Q = 1,492 \cdot 0,023 = 0,0343 \text{ Н.}$$

Сила тертя:

$$F_{mp} = 0,2 \cdot 0,023 \cdot 1,088 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

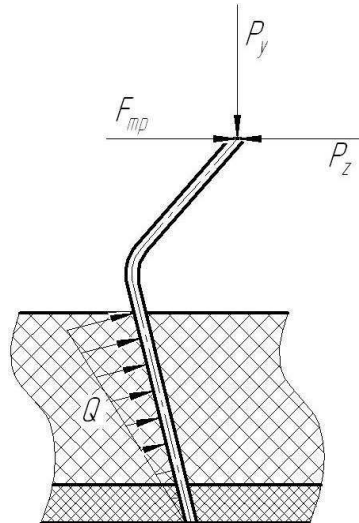


Рис. 5. Результати розрахунку 3D моделі процесу оброблення



Рис. 6. Визначення сили протидії повстини деформації голки

Знаючи всі сили, що діють на голку, стає можливим визначення сил та деформацій, які виникають під час заточування голчастої гарнітури, методом скінченних елементів або скінченних різниць, які реалізовані у відомих програмних продуктах (рис. 7).

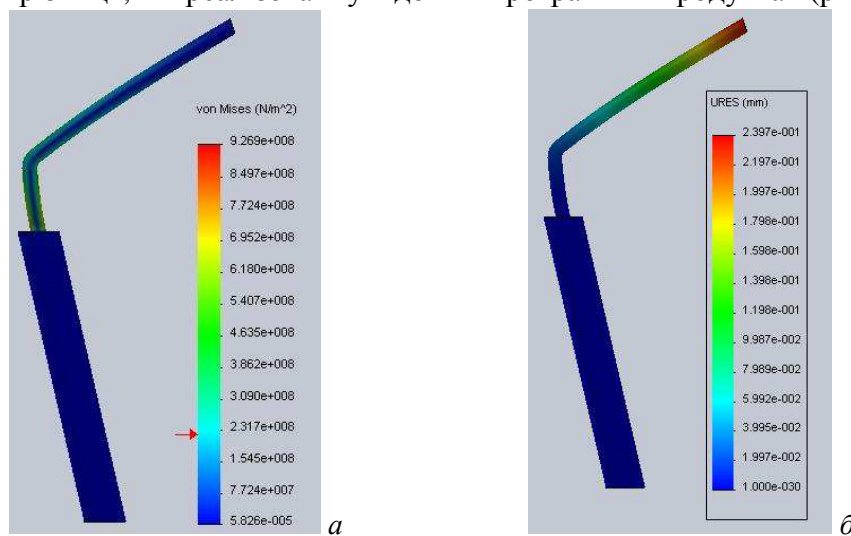


Рис. 7. Результати розрахунку 3D моделі процесу оброблення:  
 а – контактні напруження в деталі; б – пружні переміщення деталі

**Висновки і пропозиції.** Запропонована комп'ютерна 3D модель нежорсткої системи «оброблювана деталь – зерно – зв'язка» з використанням методу скінченних елементів. Визначено сили, які діють на одну голку у процесі заточування голчастої гарнітури, експериментально визначена сила протидії основи деформації голки. Досліджена поведінка однієї голки при взаємодії з одним абразивним зерном, встановлено контактні напруження в системі та характер пружних переміщень деталі. Надалі планується, на основі отриманої моделі, запропонувати методика вибору оптимальної швидкості оброблення за умови формування мінімальної задирки. Встановити зв'язок форми робочої поверхні голки залежно від швидкості заточування.

#### Список використаних джерел

1. *Кальченко В. І.* Особливості процесу заточки голок валків чесальних машин зі схрещеними осями інструмента та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Кологойда // Вісник Сумського державного університету. – Суми : СумДУ, 2010. – № 4. – С. 55–60.
2. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧГТУ, 2009. – 356 с.
3. *Бабенко Е. А.* 3D моделирование процесса алмазного шлифования методом конечных элементов / Е. А. Бабенко, В. А. Федорович // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПИ», 2010. – Вып.78. – С. 15–23.
4. *Федорович Д. О.* Динамическое 3D моделирование процесса шлифования в режиме самозатачивания / Д. О. Федорович, Д. В. Криворучко, В. А. Федорович // Різання та інструмент в технологічних системах : сборник научных работ НТУ «ХПИ». – Х., 2012. – № 82.
5. *Криворучко Д. В.* 3D Моделирование рабочих процессов резания методом конечных элементов : учебное пособие / Д. В. Криворучко, В. А. Залогова, В. Г. Корбач. – Сумы, 2008. – 326 с.
6. *Грабченко А. И.* 3D-моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования : учебное пособие / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
7. *Сафронова М. Н.* Критерий для выбора геометрической модели абразивного зерна / М. Н. Сафронова // Известия Самарского науч. центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, №1 (2). – С. 432–434.