

ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗЕРЕН ШЛІФУВАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Проаналізовано сучасний стан математичного моделювання алмазних зерен та запропоновано рекомендації щодо подальшого його розвитку.

Ключові слова: шліфування, 3D-моделювання, алмазні зерна, метод Монте-Карло.

Постановка проблеми. Процес шліфування є одним із найбільш складних видів механічного оброблення поверхонь деталей, тому що:

– при виготовленні кругів алмазні зерна займають довільне, непередбачуване положення в об'ємі зв'язки інструменту;

– кожне зерно являє собою складну систему різальних кромки довільної форми, розмірів та значним діапазоном величин різальних кутів (які залежать як від форми поверхонь, так і від розміщення зерна у просторі);

– у процесі оброблення кожне зерно змінює форму шляхом сколювання частин власного об'єму та, відпрацювавши, виривається зі зв'язки, оголюючи наступний шар зерен, що призводить до постійних змін властивостей як локальних фрагментів, так і всієї обробної поверхні.

Із цим пов'язана значна складність моделювання як шліфувальних інструментів, так і процесу шліфування в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд літератури [1 – 8] показує, що з метою спрощення математичного опису процесу шліфування всі етапи розвитку моделювання зерен шліфувальних інструментів супроводжуються значною редукцією форми моделей. Різні методики заміни реальних зерен еквівалентними породжують велику кількість розрахункових форм, не рівноцінних за своєю значимістю з точки зору описання та аналізу процесу різання:

– зерна приводять до форми кулі [2];

– зерна замінюють еліпсоїдом обертання з постійним співвідношенням напівосей [3, 4];

– виступаючі різальні частини зерен замінюють еквівалентним конусом чи пірамідою (із закругленням вершини або без закруглення) з постійним кутом при вершині;

– поперечний переріз зерна розглядається як неправильний багатокутник, який отримують із правильної фігури шляхом сколювання однієї або кількох вершин. Це ґрунтується на методах теорії ймовірності та механізмі крихкого руйнування зерен при подрібненні.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Наведені вище тенденції призводять до упущення багатьох параметрів і виникнення знаних відмінностей між моделлю та об'єктом моделювання. Наприклад, розрахунки [1] показують, що заміна реальних зерен еліпсоїдом, осі якого рівні середнім значенням довжини, ширини і товщини, призводять до значних похибок (до 38 % при підрахунку кількості зерен в одному караті зерен марки АСО). Крім того, упущенні параметри набувають статусу випадкових величин і при розрахунках виникає необхідність застосування теорії вірогідності, що здійснюється з рядом недоліків. Часто використання вірогіднісних законів розподілу приймається без достатнього теоретичного обґрунтування.

Формулювання цілей статті. Статтю присвячено висвітленню сучасних тенденцій математичного моделювання алмазних зерен. Запропоновано спосіб вдосконалення однієї з існуючих моделей [6, 7] шляхом введення нового еквівалента форми зерна, більш наближеного до реального об'єкта моделювання.

Виклад основного матеріалу. Остання сходинка еволюційного розвитку представлення математичної моделі алмазних зерен є трьохосовий еліпсоїд, реалізований на кафедрі різання матеріалів і різальних інструментів НТУ «Харківський політехнічний інститут» професорами А.І. Грабченком та В.Л. Доброскоком у

середовищі візуального об'єктно-орієнтованого програмування Microsoft Visual FoxPro [6, 7]. Розміри напівосей еліпсоїда X_i, Y_i, Z_i , зображеного на рисунку 1, варіюються за одним із трьох законів розподілу випадкових величин, який вибирає користувач: рівномірний, нормальний і логарифмічно-нормальний.

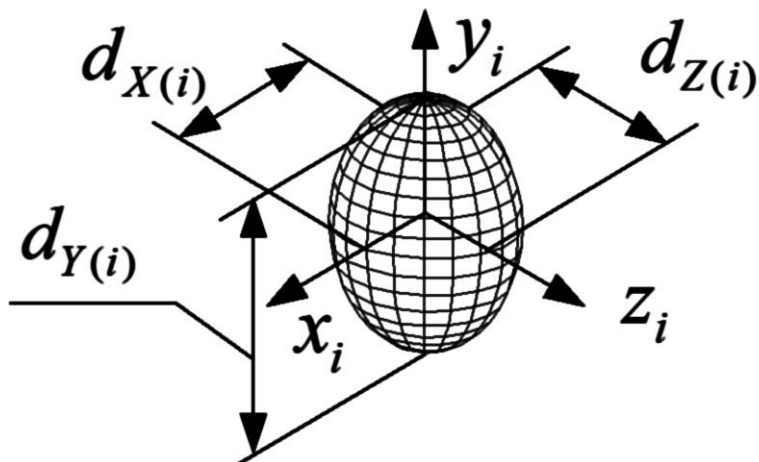


Рисунок 1 – Модель алмазного зерна

Автори статті пропонують вдосконалити наведену систему 3D-моделювання шляхом наближення форми моделі зерна до реальної форми алмазних зерен (рисунок 2).

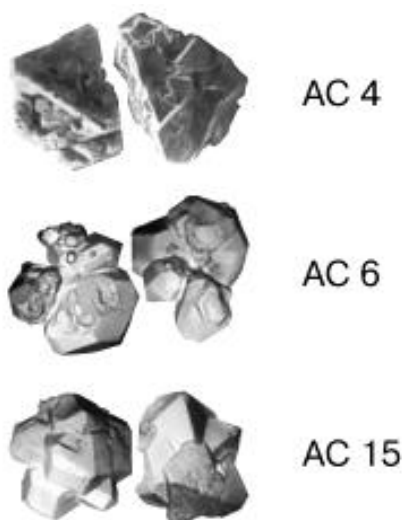


Рисунок 2 – Реальні форми зерен різних марок алмазних порошків

Для цього будуть використовуватися два концентричні трьохосеві еліпсоїди – зовнішній із розмірами напівосей $X_{(zovni)i}, Y_{(zovni)i}, Z_{(zovni)i}$, який обмежуватиме найвищі виступи зерна, і внутрішній із розмірами $X_{(vnutr)i}, Y_{(vnutr)i}, Z_{(vnutr)i}$, який обмежуватиме найглибші западини (рисунок 4). При цьому:

$$\frac{X_{(zovni)i}}{X_{(vnutr)i}} = \alpha; \quad (1)$$

$$\frac{Y_{(zovni)i}}{Y_{(vnutr)i}} = \beta; \quad (2)$$

$$\frac{Z_{(zovni)i}}{Z_{(vnutr)i}} = \gamma, \quad (3)$$

де α, β, γ – емпіричні коефіцієнти, величина яких залежить від зернистості порошку.

Необхідність уведення коефіцієнтів α , β , γ зумовлена дослідженнями [5], у процесі яких при аналізі геометричних параметрів проєкцій 100 зерен кожної зернистості алмазного порошку A5 і A12 отримано такі результати:

- зі зменшенням зернистості зменшується кут та радіус при вершинах;
- у межах однієї зернистості радіуси скруглення змінюються незначно;
- в алмазних зернах більше гострих кутів, ніж в абразивних.

За допомогою методу Монте-Карло (який уже використовувався в даній математичній моделі при генеруванні координат центрів зерен) в об'ємі між зовнішнім та внутрішнім еліпсоїдами необхідно згенерувати координати вершини виступів зерна (рисунок 4, а), що будуть підпорядковуватися логарифмічно-нормальному закону розподілу, який, як показують дослідження [8], найкраще описує поверхні сколювання. Для того щоб генерація обмежувалась вказаним об'ємом, необхідно накласти умову, зображену на рисунку 3.

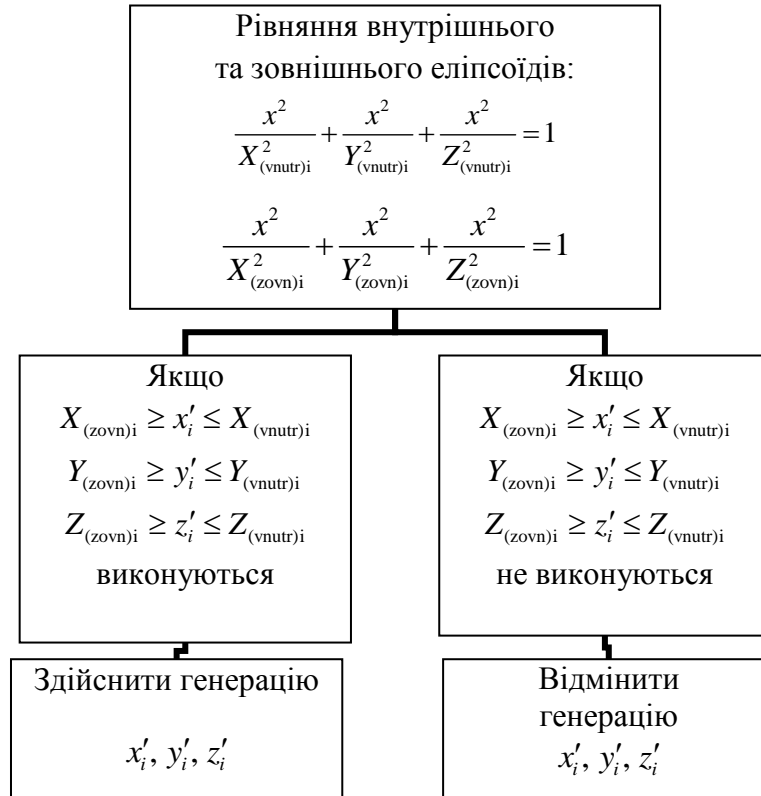


Рисунок 3 – Логічна схема умови генерації координат вершин x'_i, y'_i, z'_i в об'ємі між еліпсоїдами

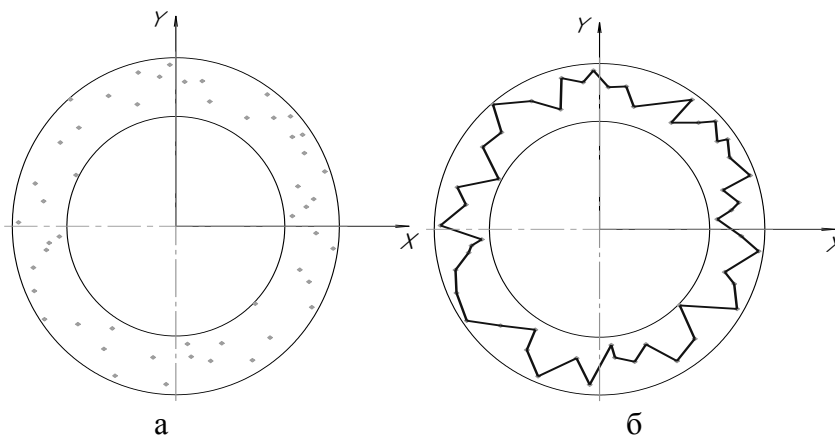


Рисунок 4 – Вертикальний переріз зовнішнього та внутрішнього еліпсоїда:
 а – із згенерованим масивом вершин виступів алмазного зерна,
 б – з утвореними після триангуляції гранями зерна

Наступним етапом необхідно за методами триангуляції об'єднати вершини лініями, які утворюють грані зерна (рисунок 4, б). Для уникнення утворення конфігурацій, не властивих для реальних зерен, запропоновано ввести обмеження за критерієм Делоне [9]. Оскільки моделювання здійснюється в трьох вимірах, то даний критерій необхідно модифікувати, замінивши кола на сфери (рисунок 5).

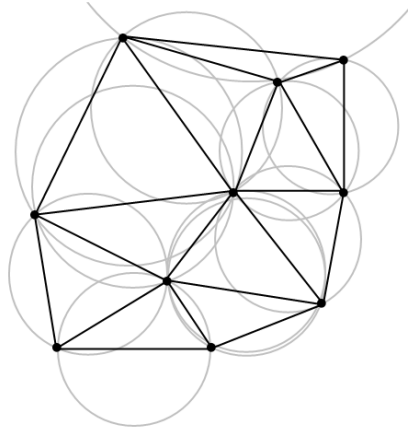


Рисунок 5 – Триангуляція з обмеженням за критерієм Делоне.

Таким чином, виникає можливість:

- підвищити адекватність моделі до об'єкта моделювання;
- маючи грані зерна, можна розрахувати миттєві площі контакту з оброблюваним матеріалом, визначити розподіл сили різання на елементи поверхні зерна, змодельовати концентратори напруг та, знаючи характеристики міцності алмазу з урахуванням можливості виникнення мікротріщин (уведенням поправкового коефіцієнта), змодельовати процес сколювання;
- краще моделювати процес виривання зерна зі зв'язки, враховуючи не лише коефіцієнт заділу ε_0 [3, 6], а й більш складний порівняно з поверхнею еліпсоїда рельєф.

Необхідно визначити, який тип 3D-моделей найбільш доцільний для майбутньої моделі. На сьогоднішній день існують три способи моделювання [10]:

- 1) кракасне (дротове) – моделювання найнижчого рівня, яке має ряд недоліків, пов'язаних із браком інформації про грані, й неможливість виділити зовнішню і внутрішню області зображення об'ємного тіла. Перевага даного способу – необхідність мінімального об'єму пам'яті та придатність для вирішення простих задач;
- 2) поверхневе моделювання – модель, як і в першому випадку, обмежена ребрами, але вони вже є результатом доторкання або перетину двох поверхонь, а вершини – перетину трьох поверхонь;
- 3) твердотільне моделювання – дозволяє повністю описати об'ємну форму із можливістю розділяти зовнішню і внутрішню області об'єкта, що необхідно для розрахунку взаємовпливу різних об'єктів.

На думку авторів, на певному проміжному етапі розвитку моделювання алмазних зерен можна використовувати поверхневе моделювання, але заключним етапом еволюції 3D-моделей шліфувального інструменту буде твердотільне моделювання, оскільки воно дозволить максимально достовірно відобразити контактні явища взаємодії поверхонь, розрахувати градієнти температур та напруг.

Висновки. Сучасні математичні моделі алмазних зерен значно спрощені порівняно з їх реальними аналогами. Це дозволяє виконувати розрахунки лише з використанням теорії ймовірності, що призводить до значних похибок. Слід переглянути питання балансу об'єктивності й лаконічності моделювання, оскільки сучасне програмне забезпечення може надати необхідні ресурси для максимально наближеного до реальності відображення всіх явищ, що виникають у процесі шліфування.

Література

1. Байкалов, А.К. Введение в теорию шлифования материалов / А.К. Байкалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.
2. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

3. Резников, А.Н. Теплофизика резания / А.Н. Резников – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
4. Лавриненко, В.И. Модели формы зерен СТМ / В.И. Лавриненко, А.А. Шепелев, Г.А. Петасюк // Сверхтвердые материалы. – 1994. – № 5-6. – С. 18 – 21.
5. Кузнецов, А. М. Влияние геометрических параметров синтетических алмазных зерен на их режущие свойства / А.М. Кузнецов, И. П. Голосов // Станки и инструмент. – 1969. – № 12. – С. 28 – 29.
6. Доброскок, В.Л. Научные основы формирования рабочей поверхности кругов на токопроводных связках в процессе шлифования: дис...докт. техн. наук: 05.03.01 / В.Л. Доброскок. – Харьков, 2001. – 447 с.
7. Грабченко, А.И. 3D-моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: учебн. пособие / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
8. Колмогоров, А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении / А.Н. Колмогоров // Теория вероятностей и математическая статистика: сб. статей. – М.: Наука, 1986. – С. 264 – 267.
9. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.
10. Потемкин, А. Трехмерное твердотельное моделирование / А. Потемкин. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 423 с.

Надійшла до редакції 14.10. 2011

© А.М. Шпилька, М.М. Шпилька

А.Н. Шпилька, ст. преподаватель, Н.Н. Шпилька, к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Проанализировано современное состояние математического моделирования алмазных зерен, и предложены рекомендации по дальнейшему его развитию.

Ключевые слова: *шлифование, 3D-моделирование, алмазные зерна, метод Монте-Карло.*

A.N. Shpilka, senior lecturer, N.N. Shpilka, p.h.d., associate professor

Poltava national technical university named after Yuri Kondratyuk

MATHEMATICAL MODELLING PROBLEMS OF THE GRINDING INSTRUMENTS DIAMOND GRAINS

There is prosecuted the analysis of current condition the problems of diamond grains mathematical modelling and the guidelines to it's development is introduced.

Keywords: *grinding, 3D-modelling, diamond grains, Monte-Karlo method.*