

## ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЗУБИХ ІНСТРУМЕНТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТУВАННЯ.

Равська Н. С.

В роботі описано методику определения загрузки режущей части дисковых многозубых инструментов с помощью компьютерных систем 3D проектирования. На примерах показано определение загрузки режущей части дисковой пилы с разнонаправленными зубьями, схема резания которой состоит из 2-х зубьев с разным углом в плане и отличным от нуля углом наклона режущей кромки, а также торцевой фрезы со сменными пластинками треугольной формы с фасонной режущей частью. Параметры режущей части определялись как объем материала, который снимается зубом за один цикл главного движения резания от которого вычитаются объемы материала снимаемые зубьями, которые работали раньше, Все эти операции выполняются одной командой – вытянуть эскиз по траектории, которая есть во всех компьютерных системах 3D проектирования, что значительно упрощает расчеты и повышает точность полученных расчетных данных.

В роботі описано методику визначення завантаження різальної частини дискових багатозубих інструментів та торцевих фрез за допомогою комп'ютерних систем 3D проектування. На прикладах показано визначення завантаження різальної частини для дискової пили з різнонаправленими зубами, схема різання якої складається з двох зубів з різними напрямками кута в плані та кутом нахилу різальної кромки відмінним від нуля, а також торцевої фрези зі змінними пластинами трикутної форми з фасонною різальною частиною. Параметри завантаження різальної частини визначаються, як об'єм матеріалу який знімається зубом за один цикл руху головного різання від якого віднімаються об'єми матеріалу, які знімаються зубами інструмента, що працювали раніше, Всі ці операції реалізуються однією командою – витягнути ескіз по траєкторії, що присутня в усіх системах комп'ютерного 3D проектування що значно спрощує розрахунки та підвищує точність отриманих результатів.

In the work described method for determining the loading of the cutting disc Multi-point tool with the help of computer systems design 3d. The examples show how to define the cutting load of the saw blade cutting circuit which consists of 2 teeth with different angle in plan and a nonzero angle of inclination and the end mill with exchangeable plates with triangular shaped cutting part. The parameters of the cutting part was defined as the amount of material that is removed the tooth in one cycle of the main cutting motion is then subtracted the volume of material recorded with teeth that have worked before, all these operations are performed commander – draw a sketch on a trajectory.

Равська Н. С.

д-р. техн. наук НТУУ «КПІ»

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

УДК 621.9

## ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЗУБИХ ІНСТРУМЕНТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМ 3D ПРОЕКТУВАННЯ.

**Равська Н. С.**

Однією з важливих характеристик процесу різання та визначаються поряд зі швидкістю різання та геометрією різальної частини є параметри зрізуваного шару матеріалу інструмента.

До параметрів зрізуваного шару відносяться переріз зрізуваного шару, площа, товщина та ширина зрізуваного шару. Ці параметри в значній мірі впливають на характеристики явищ процесу різання (зусилля різання, теплофізичні та динамічні характеристики, тощо). Вже на етапі проектування інструмента через ці характеристики можна оцінити можливу працездатність інструмента та вибрати найбільш доцільну конструкцію інструмента за схемою зрізання припуску, що забезпечить необхідну працездатність цього інструмента.

Тому визначення параметрів зрізуваного шару при проектуванні інструмента є важливою задачею. Це актуально, особливо для деяких прогресивних конструкцій дискових багатозубих інструментів та торцевих фрез, а саме завдяки їх складній схемі різання, яка обумовлена наявністю груп зубів з різними схемами зрізання припуску.

Дослідженням параметрів зрізуваного шару присвячено багато робіт дослідників [1, 2, 3, 4, 5]. Однак в більшості цих робіт розглядається аналіз завантаження різальної частини інструмента з постійною схемою зрізання припуску без врахування зміни її для окремих зубів інструмента. Також не досліджувались, як впливає фасонна форма зуба інструмента на параметри зрізуваного шару, а саме, в реальних інструментах вона складається з відрізків прямих і округлих частин, які формують профіль зуба інструмента. Всі ці дослідження ґрунтуються на аналітичному визначенні завантаження різальної кромки і, при визначенні, приймалися ряд припущень, які не зовсім точно відображали процес зміни параметрів зрізуваного шару в роботі інструмента, що є дуже важливим при дослідженні тонких зрізів в роботі інструмента.

Також є роботи де параметри зрізуваного шару визначаються за допомогою систем твердотільного геометричного моделювання, однак вони в своїй більшості побудовані на розрахунку послідовних дискретних положень інструмента в процесі обробки і знаходження параметрів зрізуваного шару, як результат перетину об'ємів заготовки та послідовних положень інструмента. Недоліком такого підходу є те, що цей метод потребує значних машинних ресурсів для розрахунків тому, чим більше розрахункових дискретних положень інструмента, тим точніше отримуємо результат розрахунку параметрів зрізуваного шару.

Метою роботи є прагнення показати, що методом, що базується на результатах статичних випробувань зразків з твердих сплавів та результатах кореляційного і регресійного аналізу відомих експериментальних результатів при циклічному навантаженні, можна отримати прогнози значення границі витривалості.

Для аналізу можливої працездатності конструкції інструмента на стадії його проектування необхідно провести розрахунок параметрів зрізуваного шару матеріалу таким інструментом з урахуванням реальної фасонної форми зуба інструмента, можливої складної схеми різання для окремих зубів. Так як більшість існуючих систем проектування зводяться до геометричної побудови моделей інструмента, тому цілю роботи є розроблення методики визначення параметрів зрізуваного шару з використанням можливостей систем твердотільного геометричного моделювання яка б не ґрунтувала ся на побудові дискретних положень інструмента й подальшому використанні операцій перетину об'єму заготовки з об'ємом інструмента.

Згідно з міжнародним стандартом ISO 3002/1 (ДСТУ 25762-93) «Обробка різанням – переріз зрізуваного шару – фігура утворена при перетині шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання основною площиною  $P_v$ .

Тому вирішення задачі за допомогою можливостей систем твердотілого геометричного моделювання розділимо на три етапи: 1-й – знаходження шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання; 2-й – перетин знайденого об'єму основною площиною  $P_v$ ; 3-й – розрахунок геометричних параметрів отриманого перерізу, що відповідають наступним характеристикам зрізаного шару – площа зрізаного шару  $f$ , товщина зрізаного шару  $a$ , ширина зрізаного шару  $b$ .

Шар матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання рис. 1 формується профілем зуба інструмента при його русі відносно заготовки – ця операція для системи геометричного твердотілого моделювання відповідає команді – утворити об'єм рухаючи ескіз по траєкторії. В цьому випадку твірним ескізом є профіль зуба, а траєкторія руху є лінія утворена довільною точкою що лежить на передній поверхні зуба при його русі в процесі роботи, зазвичай це крива – циклоїда яка в простому випадку буде розташована в площині руху інструмента.

Об'єм матеріалу утворений такою операцією також буде обмежений розмірами заготовки. Також необхідно від утвореного об'єму відняти – операцією вирізати по траєкторії сліди від попередньої роботи зубів інструмента, які в часі працювали раніше від зуба, що розглядається, ця операція для системи геометричного твердотілого моделювання відповідає команді – вирізати об'єм рухаючи ескіз по траєкторії, яка також є лінією утвореною рухом довільної точки зуба.

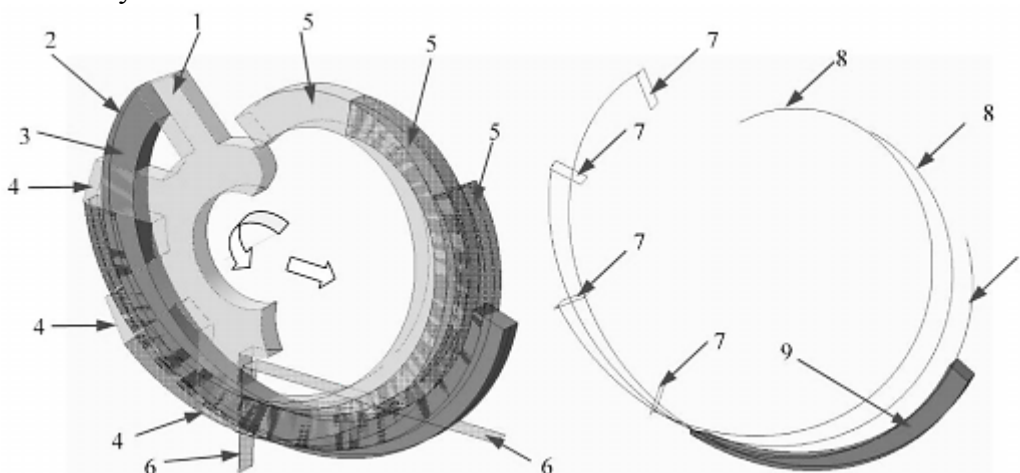


Рис. 1. Визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання:

$a$  – початкові побудови;  $b$  – результат визначення шару матеріалу; 1 – зуб для якого визначаються параметри шару зрізаного матеріалу; 2 – траєкторія руху активного зуба, 3 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів; 4 – зуби інструмента, які працювали раніше; 5 – об'єм матеріалу знятий зубами інструмента, які працювали раніше; 6 – поверхні, що обмежують розміри заготовки; 7 – ескізи профілю зубів інструмента; 8 – траєкторії рухів зубів інструмента; 9 – об'єм матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання

Розглянемо на прикладах визначення параметрів зрізаного шару для окремих інструментів, в якості системи твердотілого геометричного моделювання будемо використовувати САД систему КОМПАС-3D компанії АСКОН, Російська федерація.

На прикладі розглянемо визначення параметрів зрізаного шару дискової відрізної пили: діаметр пили  $D = 160$  мм, ширина пили  $b = 1,6$  мм, кількість зубів  $Z = 80$ , схема різання фрези складається з двох зубів у групі, параметри різальної частини інструмента наведені на рис. 2.

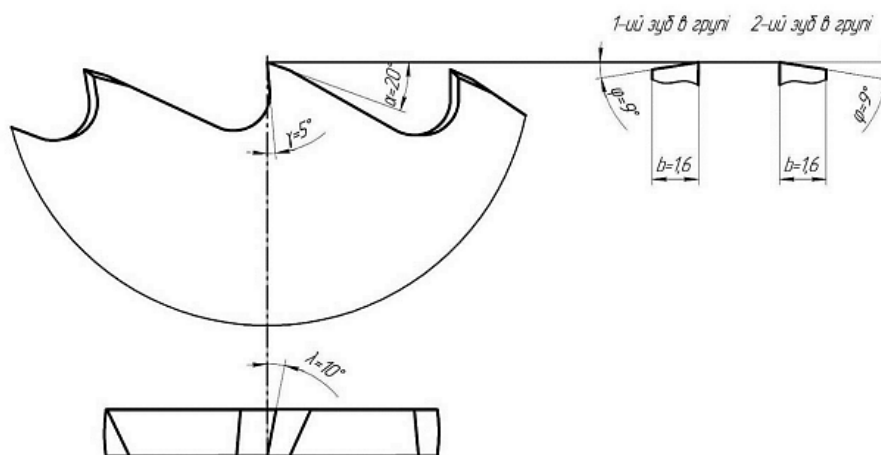


Рис. 2. Параметри різальної частини відрізної пили: діаметр пили  $D = 160$  мм, ширина пили  $b = 1,6$  мм, кількість зубів  $Z = 80$ .

Для розрахунків необхідно побудувати об'ємну модель інструмента, вісь інструмента перпендикулярна площині  $XU$  і проходить через центр координат. Далі визначаємося, який зуб інструмента в групі будемо досліджувати і будемо траєкторії руху для досліджуваного зуба та для 3–4 зубів, які різали в часі раніше від нього за наступними залежностями для зустрічної подачі, для варіанту з попутною подачею в залежностях у функціях  $\sin$ ,  $\cos$  необхідно перед параметром  $t$  поставити знак мінус:

$$\begin{aligned}
 X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi} t & X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi} t \\
 \text{а } Y &= R_f \cos(t + \Theta) & \text{б } Y &= R_f \cos(t + \Theta) & (1) \\
 Z &= 0.5b & Z &= -0.5b
 \end{aligned}$$

де а – формули для розрахунків траєкторії зубів 1-ї групи, б – формули для розрахунків траєкторії зубів 2-ї групи,  $R_f$  – зовнішній радіус зубів інструмента,  $S$  – подача, мм/об,  $t$  – параметр, що відповідає за рух зуба по траєкторії,  $\Theta$  – кутовий параметр, що відповідає номеру зуба і пропорційний кількості зубів інструмента.

Для кожного зуба розраховуємо параметр  $\Theta$  і будемо траєкторію зубів змінюючи параметр  $t$  від  $0$  до  $\pi/2$ , що відповідає повороту зуба фрези на  $90^\circ$ , це приблизно відповідає активній ділянці роботи зуба за цикл (рис.3).

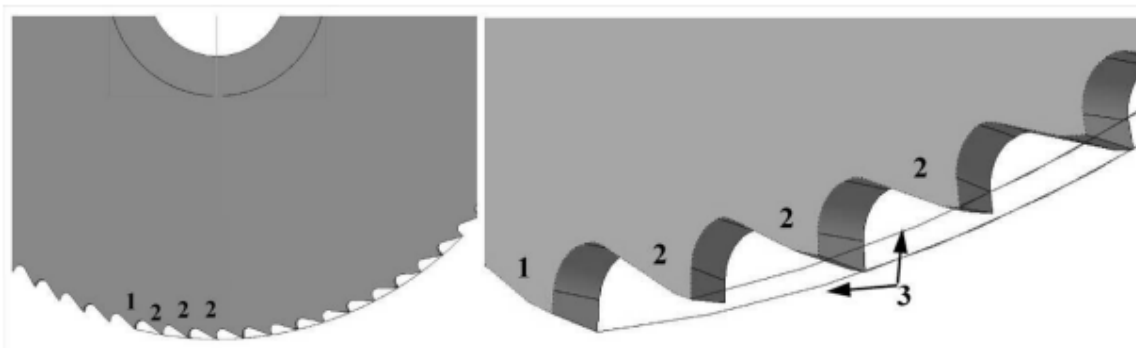


Рис. 3. Диска пили з побудованими траєкторіями зубів:  
1 – зуб, що досліджується, 2 – зуби які працюють раніше, 3 – траєкторії руху зубів.

Потім будемо об'єм матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів і обмежимо його контурами заготовки (рис. 4).

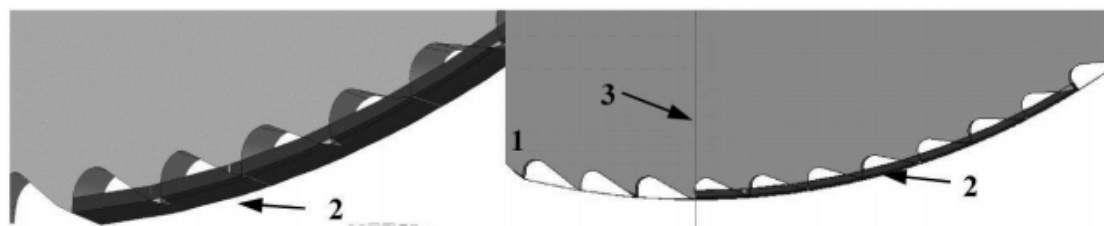


Рис. 4. Побудова об'єму матеріалу, який знімається одним зубом без врахування роботи попередніх зубів:

1 – зуб, що досліджується; 2 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом; 3 – поверхні, що обмежують розміри заготовки.

Після цього будуємо об'єми матеріалу що зняті зубами інструмента, які працювали раніше та віднімаємо їх від об'єму матеріалу, який знімається досліджуваним зубом, без врахування роботи попередніх зубів за один цикл роботи зуба рис. 5.

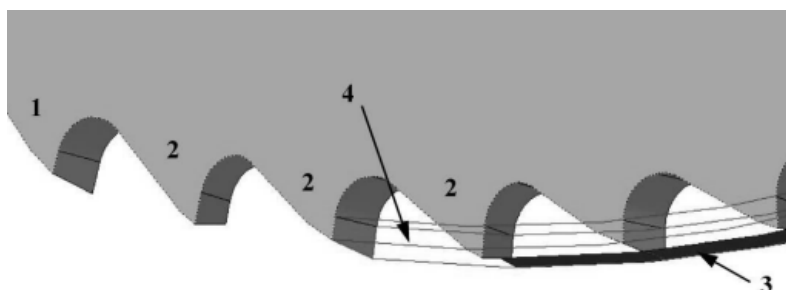


Рис. 5. Побудова об'єму матеріалу, який знімається одним зубом з врахуванням роботи попередніх зубів:

1 – зуб, що досліджується; 2 – зуби які працюють раніше; 3 – об'єм матеріалу, який знімається одним зубом; 4 – об'єм матеріалу, який знімається від роботи попереднього зуба.

Результат розрахунків після віднімання об'єму матеріалу всіх зубів, які працювали раніше показано на рис.6.

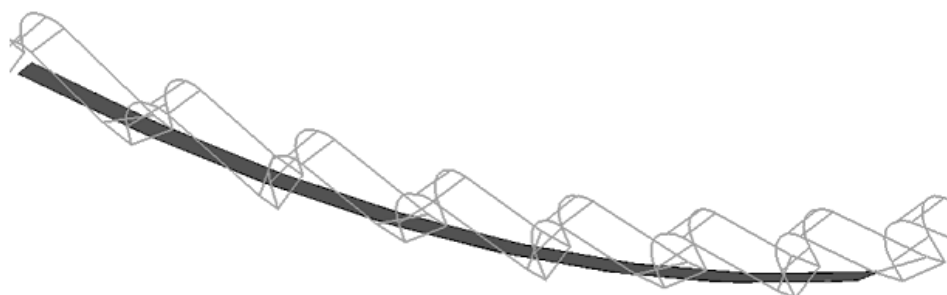


Рис. 6. Кінцевий результат визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання.

Знайдену модель шару матеріалу, що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання тепер розрізаємо поверхнями, що перпендикулярні площині різання і знаходимо геометричні характеристики перерізу, які будуть відповідати згідно ДСТУ 25762-93, площині зрізаного шару  $f$ , товщина зрізаного шару  $a$ , ширина зрізаного шару  $b$  та будемо залежності зміни їх від шляху різання. Параметри зрізаного шару будемо шукати за допомогою побудови креслення по твердотільній моделі знайденого шару матеріалу що відокремлюється лезом за один цикл головного руху різання, роблячи необхідні розрізи та знаходячи їх геометричні параметри за допомогою інструментів, які присутні в комп'ютерній системі проектування рис. 7.

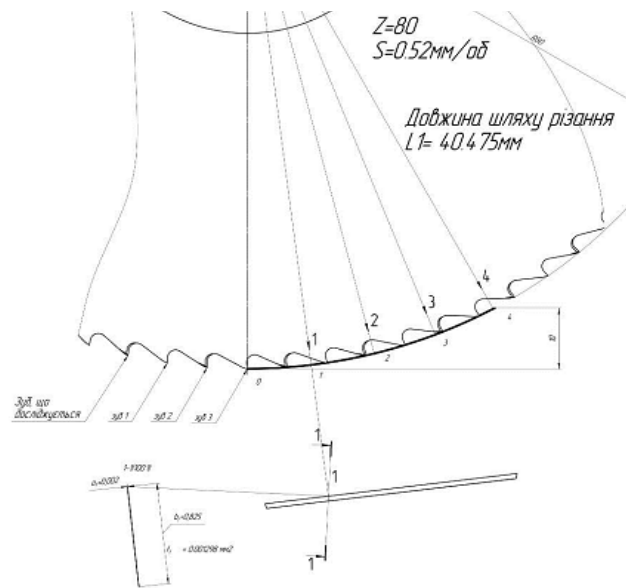
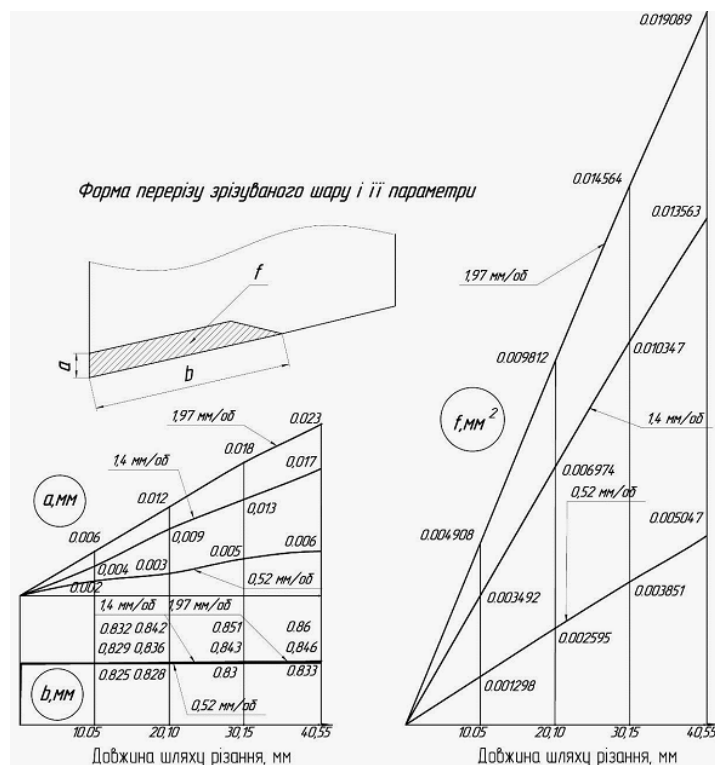


Рис. 7. Приклад визначення параметрів зрізаного шару дискової пили  $D = 160$  мм, ширина пили  $b = 1,6$  мм, кількість зубів  $Z = 80$ ,  $S = 0,52$  мм/об.

За даною методикою можна визначати завантаження різальної частини інструмента в будь-який час роботи, проаналізувати форму зрізаного шару матеріалу у часі. На рис 8 показано аналіз завантаження різальної частини відрізної пили отриманий за даною методикою для різних значень величини подачі  $S = 0,52; 1,4; 1,97$  мм/об.

За аналогічною методикою на прикладі покажемо, як визначати параметри зрізаного шару при фрезеруванні торцевими фрезами, так як вони також можуть мати складну схему різання та фасонний профіль різальної частини.



Для прикладу візьмемо торцеву фрезу згідно ГОСТ 26596 – 91 «Фрезы торцевые нерегулируемые с клиновым креплением многогранных неперетачиваемых пластин параметри фрезы та її різальної частини наведені на рис. 9, а. Діаметр фрези складає  $D = 160$  мм, кількість зубів  $Z = 10$ , різальна частина – твердосплавна трикутна пластина згідно ГОСТ 25003-81, різальна частина якої складається з декількох ділянок і тому буде формувати складну фігуру поперечного перерізу. За вказаними даними побудована об'ємна модель фрези в системі КОМПАС-3D рис.9,б. Згідно ГОСТ 26596 – 91 параметри режимів різання, які необхідні для визначення завантаження різальної частини будуть наступні: товщина різку – 1 мм, подача –  $S = 2,5$  мм/об.

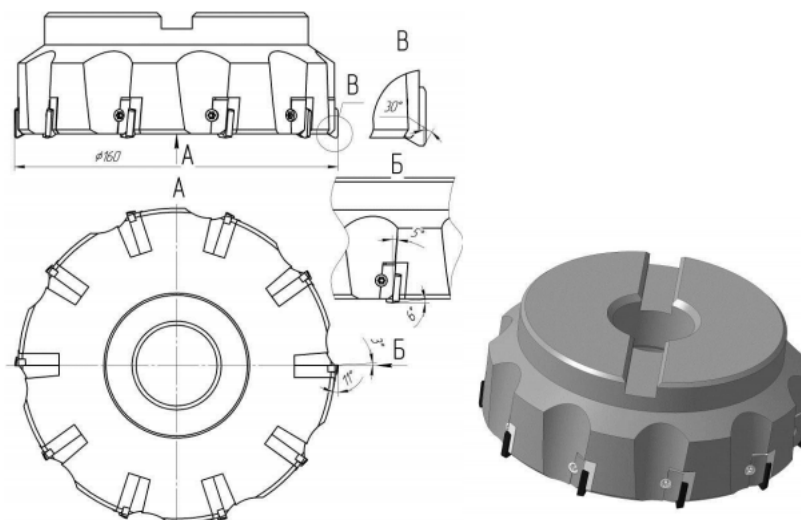


Рис. 9. Фреза торцева  $D=160$  мм, згідно ГОСТ 26596 – 91:

а – параметри різальної частини фрези, б – об'ємна модель фрези в системі КОМПАС-3D

Тепер необхідно побудувати в моделі фрези побудувати траєкторії руху зубів. Для цього виберемо систему координат, вісь  $Y$  розташовуємо по осі фрези, вздовж осі  $X$  направлений вектор подачі  $S$ . Рівняння траєкторії руху будуть наступні:

$$\begin{aligned} X &= R_f \cos(t + \Theta) + \frac{S}{2\pi} t \\ Y &= R_f \sin(t + \Theta) \\ Z &= 0.5b \end{aligned} \quad , \quad (2)$$

де  $H$  – висота розташування траєкторії руху зубів, вибирається так, щоб початок траєкторії співпадав з передньою площиною зуба.

Також для коректного вирішення задачі необхідно, задатись зміною параметру  $t$  так, щоб траєкторія зуба описувала тільки один цикл:

$$t_i = 0 \dots \frac{5\pi}{2} - \Theta_i, \quad (3)$$

де  $i$  – індекс, що відповідає за номер зуба.

Аналогічно попередньому прикладу, будуємо об'єм матеріалу, який знімається одним зубом торцевої фрези без врахування роботи попередніх зубів і обмежуємо його контурами заготовки.

Після цього будуємо об'єми матеріалу знятий зубами інструмента, які працювали раніше і віднімаємо їх від об'єму матеріалу, який знімається досліджуваним зубом, без врахування роботи попередніх зубів. За один цикл роботи зуба отримуємо об'єм матеріалу, що відокремлюється лезом торцевої фрези за один цикл головного руху різання рис. 11.

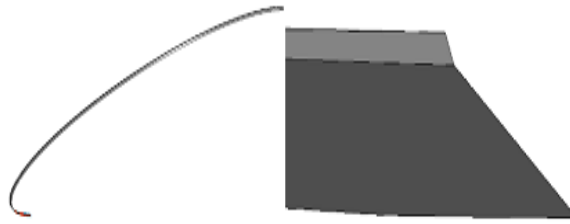


Рис. 10. Кінцевий результат визначення шару матеріалу, що відокремлюється лезом торцевої фрези за один цикл головного руху різання

Далі робимо всі необхідні перерізи отриманого об'єму шару матеріалу, знаходимо параметри завантаження різальної частини досліджуваного зуба інструмента, в залежності від розташування зуба, на траєкторії руху різання (рис. 11, 12).

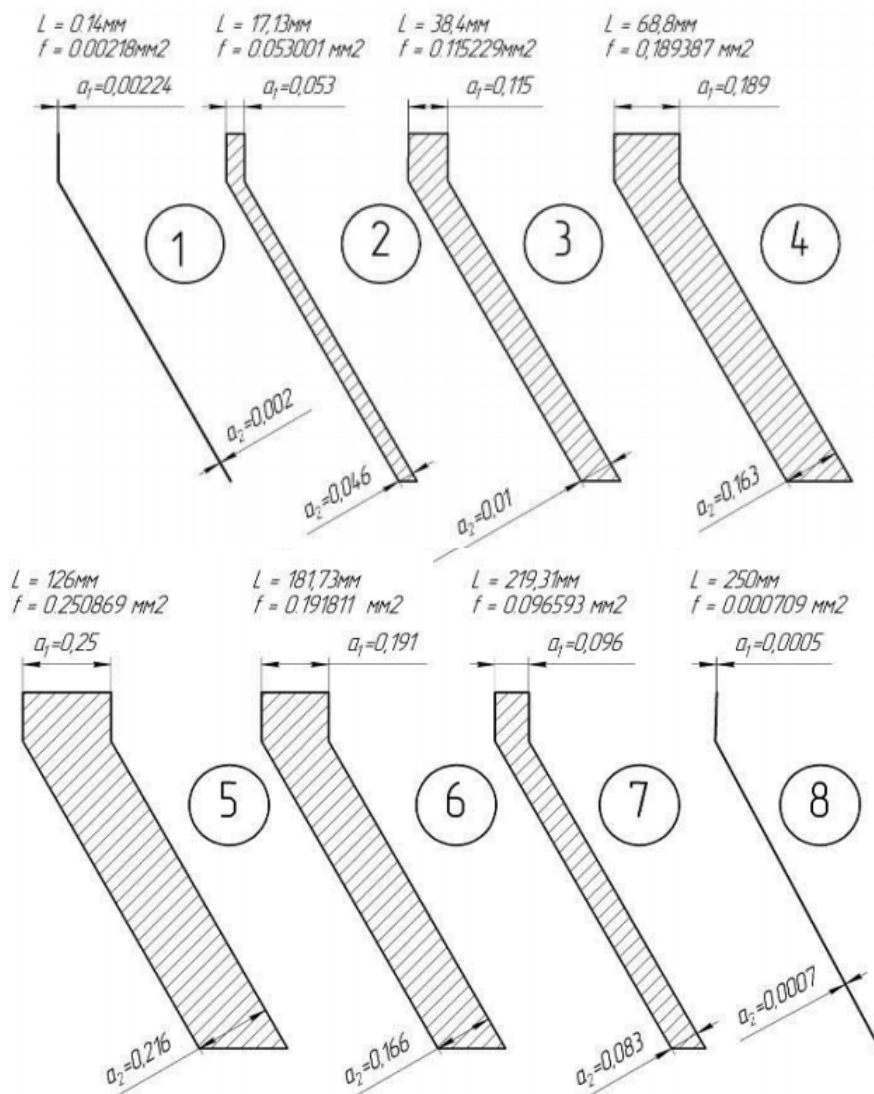


Рис. 11. Зміна форми перерізу зрізаного шару від розташування зуба на траєкторії різання торцевої фрези за ГОСТ 26596 – 9:

$D = 160$  мм, кількість зубів  $Z = 10$ , товщина різі 1 мм, подача  $S = 2,5$  мм/об, різальна частина – твердосплавна трикутна грана пластина згідно ГОСТ 25003-81, ширина зрізаного шару постійна  $b = 1,138$  мм.



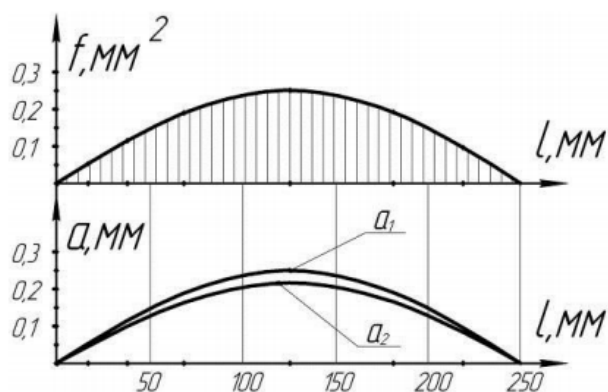


Рис. 12. Зміна площі та товщини перерізу зрізаного шару від розташування зубу на траєкторії різання торцевої фрези за ГОСТ 26596 – 9:

$D = 160$  мм, кількість зубів  $Z = 10$ , товщина різі 1 мм, подача  $S = 2,5$  мм/об, різальна частина – твердосплавна трикутна грана пластина згідно ГОСТ 25003-81, ширина зрізаного шару постійна  $b = 1,138$  мм.

За даною методикою можна визначити завантаження різальної частини торцевих фрез не тільки з постійною схемою різання зубів, як показано на прикладі, але й зі змінною схемою різання. Це враховується в об'ємній моделі конструкції інструмента, яка є вхідними даними для розрахунку завантаження різальної частини цього інструмента.

### ВИСНОВКИ

В даній роботі, на прикладах дискової відрізної пили з різнонаправленими зубами у групі та торцевою фрезою зі змінною пластиною трикутної форми, запропоновано методику визначення завантаження різальної частини за допомогою комп'ютерної систем 3D проектування. Переваги запропонованого методу, ґрунтуються на тому, що в ньому не використовується розрахунок послідовних дискретних положень інструмента в процесі обробки, а знаходження параметрів зрізаного шару, як результат перетину об'ємів заготовки та всіх об'ємів послідовних положень інструмента. Параметри завантаження різальної частини визначаються, як об'єм матеріалу який знімається зубом за один цикл руху головного різання від якого віднімаються об'єми матеріалу, які знімаються зубами інструмента, що працювали раніше, ці всі операції реалізуються однією командою - витягнути ескіз по траєкторії, що присутня в усіх системах комп'ютерного 3D проектування, що значно спрощує розрахунки і підвищує точність отриманих результатів.

Дану методику можна використати для розрахунків завантаження різальної частини також для інструментів з більш складною схемою різання, до якої відносяться інструменти що працюють методом обкатки, необхідно тільки для кожного зуба розрахувати свою траєкторію руху різання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов : учебник / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Основы теории резания материалов: підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залоза, Ю. Л. Новосьолов, Ф. Я. Якубов – Львів : Новий Світ, 2010 – 422 с.
3. Родін П. Р. Різальний інструмент в прикладах і задачах: навчальний посібник / П. Р. Родін, Н. С. Равська, Л. І. Ковальова – К. : Вища школа 1994 р. – 293 с.
4. Розенберг Ю. А. Резание материалов: учебник [для студентов технических вузов] / Ю. А. Розенберг. – Курган : ОАО «Полиграфический комбинат» Зауралье. 2007 – 294 с.
5. Верещака А. С. Резание материалов: учебник / А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : Высшая школа, 2009 – 539с.

Стаття надійшла 10.09.2014 р.