

УДК 621.9

## Особливості формоутворення дисковим інструментом деталей періодичного профілю методом обкату

Кривошея<sup>1</sup> А.В., Охріменко<sup>2</sup> О.А.

1- Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

2- КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

**Анотація:** В роботі приводяться дослідження способу обробки деталей періодичного профілю дисковим інструментом зі зміщеною віссю методом обкату, що відповідає кінематиці процесу зубофрезерування. Розглянуто модель кінематики цього процесу у просторі, на відміну від інших дослідників, що розглядали цей процес на площині. Метою роботи було дослідження особливостей формоутворення поверхні деталей при такій обробці. Розроблено математичну модель такої кінематичної схеми, що дозволила врахувати всі рухи, які присутні в системі. На базі цієї моделі отримано рівняння контакту при двопараметричному русі, що описує цей процес і це дало змогу врахувати вплив на кінцевий профіль деталі всіх робочих ділянок інструменту. За отриманими залежностями проведено моделювання процесу формоутворення деталей і цими дослідженнями показано, як за рахунок зміни установочних параметрів інструменту можна впливати на форму профілю поверхні деталі при такій обробці.

**Ключові слова:** обробка деталей; формоутворення; зубофрезерування.

З сучасним розвитком науки та техніки, а особливо розширенням можливостей технологічного обладнання з обробки поверхонь деталей, на даний час досліджуються і реалізуються багато прогресивних схем з обробки різних складних поверхонь деталей. Одним із таких способів на даний час є формоутворення поверхні зубчастого колеса з синусоїдальним зачепленням [1, 2, 3, 4] дисковим інструментом зі зміщеною віссю обертання при кінематичній схемі формоутворення, що відповідає процесу зубофрезерування. Слід зазначити, що опис цього процесу на даний час ґрунтується на формоутворенні профілю плоскою рейкою деталі, що не в повній мірі описує особливості процесу формування кінцевого профілю поверхні деталі. Розгляд просторової моделі процесу дав можливість розглянути резерви цього методу при обробці інших деталей періодичного профілю не тільки зубчастих коліс синусоїдального профілю, але й інших методів обробки.

Метою дослідження є розробка просторової моделі формоутворення для виявлення особливостей формоутворення дисковим інструментом деталей періодичного профілю для розробки способів обробки деталей різного типу профілю поверхні.

Задачі, які необхідно вирішити, це описати параметри поверхні дискового інструменту, зв'язок між системами координат пов'язаних з інструментом та деталлю і записати рівняння контакту, що визначають спряжені точки профілю деталі з інструментом.

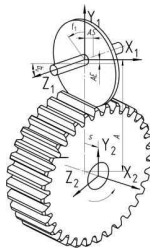


Рис. 1. Кінематична схема обробки.

Де,  $X_1Y_1Z_1$ ,  $X_2Y_2Z_2$  – системи пов'язані відповідно з поверхнею дискового інструменту та деталі,  $A$  – міжосьова відстань (перпендикуляр),  $AE$  – ексцентриситет дискового інструменту,  $AS$  – зміщення

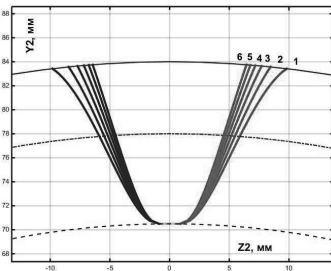
інструменту відносно міжосьового перпендикуляру,  $b_u$  – кут розвороту інструменту,  $f_1$  – параметр обертання інструменту,  $s$  – параметр руху інструменту вздовж осі обертання деталі.

Відповідно до [2, 4] отримуємо рівняння зв'язку між системами координат в матрично-структурному вигляді, що описують процес кінематики формоутворення при даній схемі обробки. Отримано систему рівнянь контакту ділянок профілю інструменту, що описує двопараметричний рух поверхні інструмента відносно деталі, для прикладу наведено рівняння контакту для округлої ділянки профілю інструменту, коли  $b_u=0$ ,  $AS=0$  – симетричне розташування диска інструмента відносно міжосьової відстані:

$$\begin{aligned} NV_f = & -(1/2) f_d R_d (c_x + R_d \sin(f_d u + f_s)) (2 A i_{12} \cos(f_d u + f_s) + AE i_{12} \cos(f_1 + f_d u + f_s) + \\ & AE i_{12} \cos(f_1 - f_d u - f_s) - AE \sin(f_d u + f_s - t) - AE \sin(f_d u + f_s + t) - i_{12} c_z \cos(f_1 - f_d u - f_s + t) \\ & + c_x i_{12} \sin(f_1 + f_d u + f_s + t) + c_x i_{12} \sin(f_1 - f_d u - f_s + t) + c_z i_{12} \cos(f_1 + f_d u + f_s + t)) = 0 \\ NV_s = & f_d R_d (c_x + R_d \sin(f_d u + f_s)) (\sin(f_1) \sin(t) \sin(f_d u + f_s) - \cos(f_1) \cos(t) \sin(f_d u + f_s)) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

, де  $u$ ,  $t$  – змінні параметри, що визначають положення точки на поверхні інструмента,  $R_d$  – радіус округлення ділянки інструменту,  $i_{12}$  – передаточне відношення при обертанні інструмент-деталь,  $c_x$ ,  $c_z$ ,  $f_s$ ,  $f_d$  – постійні коефіцієнти пов'язані з формою твірної поверхні інструмента.

Дослідженнями встановлено, що при такій схемі формоутворення на кінцевий профіль бічної сторони западини, що формується буде впливати тільки параметри ділянки округлення поверхні інструмента. Для прикладу при заданій схемі формоутворення



**Рис. 2.** Вплив значення ексцентриситету AE на профіль деталі: 1-7мм, 2-8мм, 3-9мм, 4-10мм, 5-11мм, 6-12мм.

поверхні деталі було проведено дослідження впливу значення ексцентриситету AE на профіль деталі (рис.2) параметри інструменту  $D=100$ мм – діаметр інструменту,  $R_d=0,12$ мм, налаштування при установці відповідали параметрам нарізання зубчастого не коригованого колеса  $m=6$ мм,  $Z=26$ , отримали, що в при зменшенні значення ексцентриситету AE кривизна профілю зростає і навпаки (рис.2), це дозволяє отримувати профіль деталі, який може наближатись до евольвентного, як приклад, або такий профіль (рис 2 – крива 6), який буде наближатись до прямолінійного і таким чином формувати профіль прямолінійного шліца. Отже змінюючи значення параметру ексцентриситету AE установки інструмента можна керувати кривизною профілю поверхні отримуючої деталі. Перспективним є також керування формою поверхні деталі за рахунок інших параметрів: радіус округлення диску, діаметр диску, це потребує подальших досліджень і відкриває значні перспективи по впровадженню такого методу обробки для обробки деталей періодичного профілю з різними твірними поверхні.

## Features of the technologies shaping parts of details of the periodic profile by disk tool the method generation of gears by a hob

Kryvosheya A., Okhrimenko O.

**Annotation:** The paper presents studies of the method of processing parts of a periodic profile with a disk tool with an offset axis by the method generation of gears by a hob, which corresponds to the kinematics of the gear milling process. A model of the kinematics of this process in space is considered, in contrast to other researchers who considered this process on a plane. The aim of the work was to study the characteristics of the shaping of the surface of parts during such processing. A mathematical model has been developed for such a kinematic scheme, which made it possible to take into account all the movements that are present in the system. On the basis of this model, the contact equations for two-parameter bending, which describe this process, are obtained. That allowed to take into account the impact on the final profile of the details of all working areas of the tool. According to the obtained dependences, the modeling of the process of forming parts was carried out and it was shown by these studies how, by changing the installation parameters of the tool, it is possible to influence the shape of the surface of the part during such processing.

**Keywords:** machining process; technologies shaping parts; generation of gears by a hob

## Особенности формообразования деталей периодического профиля дисковым инструментом методом обката

Кривошея А.В.; Охрименко А.А.

**Аннотация:** В работе приводятся исследования способа обработки деталей периодического профиля дисковым инструментом со смещенной осью методом обката, что соответствует кинематике процесса зубофрезерования. Рассмотрена модель кинематики этого процесса в пространстве, в отличие от других исследователей, рассматривавших этот процесс на плоскости. Целью работы было исследование особенностей формообразования поверхности деталей при такой обработке. Разработана математическая модель такой кинематической схемы, которая позволила учесть все движения, которые присутствуют в системе. На базе этой модели получены уравнения контакта при двухпараметрическом огибании, которые описывают этот процесс. Что позволило учесть влияние на конечный профиль детали всех рабочих участков инструмента. По полученным зависимостям проведено моделирование процесса формообразования деталей и этими исследованиями показано, как за счет изменения установочных параметров инструмента можно влиять на форму профиля поверхности детали при такой обработке.

**Ключевые слова:** обработка деталей; формообразование; зубофрезерование.

### Список літератури

1. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление. /Ю.В.Аникин/ Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1975. – 64с.
2. Кривошея А. В.К вопросу классификации кинематических схем и математических моделей формообразования зубчатых передач. / А. В. Кривошея, Ю. М. Данильченко, М. Г. Сторчак, Д. Т. Бабичев, В. Е. Мельник, В. И. Французов, Ю. Г. Гуцаленко, Т. Е. Третьяк // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Серія : Проблеми механічного приводу. - 2014. - № 31. - С. 75-84.
3. Грицай І.Е. Інструментальне забезпечення отримання евольвентного профілю зубців циліндричних коліс способом радіально-колового формоутворення. / Я. М. Литвиняк, І. Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Збірник Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2010. - №679 — С. 14-21.
4. Данильченко Ю.М. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довольного профілю. / Ю.М. Данильченко, С.І. Пастернак, А.В. Кривошея // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машиностроение. – 2006. – №49. – С. 112-118.
5. Охрименко О. А. Загальні основи теорії проектування черв'ячних фрез : дис. докт. техн. наук : 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати і інструмент – Київ, 2015. – 323 с.
6. Трухан О.О. Оброблення зубчастих коліс за допомогою магнітно-абразивної обробки методом безперервного обкату : дис. магістр. / кер. Охрименко О.А./ – Київ, 2019. – 92 с.