

Визначення шляхом 3D моделювання об'єму матеріалу, що видаляється при обробці черв'яків з угнутим профілем витків

Шляхом 3D моделювання визначено об'єм матеріалу, що видаляється при механічній обробці активних поверхонь черв'яків з угнутим профілем витків. Проведено порівняння з об'ємом матеріалу, що видаляється при відповідній обробці черв'яків черв'ячних передач типу ZA. **черв'як, угнутий профіль, обробка, об'єм матеріалу, 3D моделювання**

Серед черв'ячних передач особливими властивостями виділяються черв'ячні передачі з угнутим профілем витка черв'яка. Такі передачі мають в 1,5-2,2 рази вищу навантажувальну здатність ніж звичайні черв'ячні передачі типу ZA, ZN, ZI [1].

ККД черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка на 5...10% вища за ККД звичайних черв'ячних передач [2].

Дослідженню черв'ячних передач з угнутим профілем витків черв'яка присвячені наукові праці Г.Німана, І.С.Кривенко, Ф.Л.Литвина, І.К.Коришева, І.П.Бернацького, М.А.Ворончихіна, Г.І.Крапівіної, Іллєша Дудаша, В.І.Безрукова, В.С.Надеїна, М.О.Ковришкіна, О.І.Садченко(Попової) та інших науковців.

При виготовленні черв'яків черв'ячних передач з угнутим профілем витка черв'яка користуються режимами різання, що є оптимальними для звичайних черв'яків [3], хоча інтенсивність процесу різання може суттєво відрізнитися. Для попередньої оцінки цієї різниці скористуємося можливостями 3D моделювання.

Прийемо за мету роботи визначення шляхом 3D моделювання об'єму матеріалу, що видаляється при механічній обробці активних поверхонь черв'яків з угнутим профілем витків, та порівняння з відповідним об'ємом, що видаляється при обробці черв'яків звичайних черв'ячних передач. Для досягнення мети даної роботи:

1.Оберемо тип звичайної черв'ячної передачі, черв'як якої прийемо за основу для порівняння.

2.Оберемо черв'ячну передачу з угнутим профілем витка черв'яка, механічну обробку черв'яка якої прийемо за основу для дослідження.

3.Визначимо за допомогою 3D моделювання об'єм матеріалу, що видаляється при обробці досліджуваних черв'яків та черв'яків, обраних для порівняння.

4.Порівняємо визначені об'єми матеріалу.

За основу для порівняння прийемо черв'як черв'ячної передачі типу ZA, як найбільш простої у виготовленні та розповсюдженій у машинобудуванні.

За основу для дослідження прийемо черв'ячну передачу з угнутим профілем витка черв'яка, що розглянута в наукових працях [4,5], оскільки в загальному випадку обробки черв'яка такої передачі вісь гвинтової поверхні, що нарізується на заготовці, не співпадає з її віссю. Іншими словами, такі черв'яки з угнутим профілем витків є більш загальними по відношенню до черв'яків, у яких вісь гвинтової поверхні і вісь заготовки черв'яка співпадають.

Розглянемо докладніше обрану для досліджень черв'ячну передачу. В роботі [4] зазначено, що складові цієї передачі утворюються за способом жорсткої

неконгурентної виробної пари. До складу цієї пари входить черв'ячна фреза для обробки евольвентних зубчастих коліс згідно з ГОСТ 9324-80Е та дисковий (або тороїдальний [5]) інструмент.

Вказана черв'ячна фреза використовується для механічної обробки черв'ячного колеса, а дисковий інструмент – для механічної обробки активних поверхонь черв'яка досліджуваної передачі.

Виробна поверхня дискового інструмента згідно з роботою [4] описується рівнянням:

$$r_u^{(u)} = \begin{bmatrix} \sin \vartheta \left[\sqrt{\left[\mp \frac{(r_0^2 - r_{b0}^2)}{\cos \gamma_{b0}} u \pm \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right]^2 + r_{b0}^2} - a \right] - \cos \vartheta \sin \gamma_e \left[\pm \frac{e_0}{2} \mp \frac{\operatorname{tg} \gamma_{b0}}{\cos \gamma_{b0}} (r_0^2 - r_{b0}^2) u \right] \\ \cos \vartheta \left[\sqrt{\left[\mp \frac{(r_0^2 - r_{b0}^2)}{\cos \gamma_{b0}} u \pm \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right]^2 + r_{b0}^2} - a \right] + \sin \vartheta \sin \gamma_e \left[\pm \frac{e_0}{2} \mp \frac{\operatorname{tg} \gamma_{b0}}{\cos \gamma_{b0}} (r_0^2 - r_{b0}^2) u \right] \\ \cos \gamma_e \left[\pm \frac{e_0}{2} \mp \frac{\operatorname{tg} \gamma_{b0}}{\cos \gamma_{b0}} (r_0^2 - r_{b0}^2) u \right] \\ 1 \end{bmatrix}, (1)$$

де u , ϑ – криволінійні координати;

r_0 – ділительний радіус черв'ячної фрези;

r_{b0} – радіус основного циліндра черв'ячної фрези;

γ_{b0} – кут підйому твірної лінії витка черв'ячної фрези на її основному циліндрі;

e_0 – осьова ширина западин виробного черв'яка черв'ячної фрези;

a – відстань між віссю черв'ячної фрези та віссю дискового інструмента при утворенні ними виробної пари;

γ_u – кут повороту вісі дискового інструмента відносно вісі черв'ячної фрези при утворенні ними виробної пари.

Верхній знак у формулі (1) відповідає лівій (L) стороні дискового інструмента, а нижній знак – правій (R).

Спростимо рівняння (1), в якому величина u задається згідно з роботою [4] в довжинах вектора, що поєднує точку на основному та ділительному циліндрах черв'ячної фрези. Результатом спрощення (1), є рівняння, в якому величина u задається в мм:

$$r_u^{(u)} = \begin{bmatrix} \sin \vartheta \left[\sqrt{\left[\mp \cos \gamma_{b0} u \pm \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right]^2 + r_{b0}^2} - a \right] - \cos \vartheta \sin \gamma_u \left(\pm \frac{e_0}{2} \mp \sin \gamma_{b0} u \right) \\ \cos \vartheta \left[\sqrt{\left[\mp \cos \gamma_{b0} u \pm \sqrt{r_0^2 - r_{b0}^2} \right]^2 + r_{b0}^2} - a \right] + \sin \vartheta \sin \gamma_u \left(\pm \frac{e_0}{2} \mp \sin \gamma_{b0} u \right) \\ \cos \gamma_u \left(\pm \frac{e_0}{2} \mp \sin \gamma_{b0} u \right) \\ 1 \end{bmatrix}. (2)$$

Скориставшись рівнянням (2) можна визначити осьовий переріз дискового інструмента. Детальний опис розташування інструмента для формоутворення активної поверхні черв'яка черв'ячної передачі типу ZA наведено в роботі [7].

В першому наближенні об'єм матеріалу, що видаляється при обробці із заготовки черв'яка визначаємо засобами 3D моделювання шляхом послідовного видалення матеріалу з 3D моделі заготовки.

В загальному випадку реального верстатного зачеплення інструмент і заготовка розміщуються одне відносно одного та відносно напрямку подачі, а також обертаються з своєю частотою обертання. Skorиставшись відносністю руху можна уявити, що заготовка черв'яка є нерухомою, а інструмент рухається по гвинтовій траєкторії, обертаючись навколо своєї вісі. Тобто, 3D модель черв'яка можна отримати на основі 3D моделі його заготовки через створення 3D елемента «отвір», що будується на ескізі вісьового перерізу інструмента та на елементі «спіраль». Знаючи об'єм 3D моделі заготовки черв'яка та об'єм 3D моделі черв'яка можна визначити відповідний об'єм видаленого матеріалу.

Сформуємо початкові дані для проведення 3D моделювання.

За основу для проведення 3D моделювання приймемо черв'як черв'ячного редуктора 2Ч40, що випускається заводом «Точмаш» (Україна, м.Переяслав-Хмельницький).

Відповідно до паспорту редуктора 2Ч40 при передаточному числі $u = 63$ модуль черв'яка складає $m = 1$ мм, а число витків дорівнює $z_1 = 1$. Коефіцієнт діаметра черв'яка складає $q = 16$, кут підйому витків черв'яка на ділільному циліндрі $\gamma_1 = 3^\circ 34' 35''$, а довжина нарізаної частини черв'яка становить $b_1 = 23$ мм.

3D модель заготовки розглянутого вище черв'яка, що виконана в Solid Works, зображена на рис.1.

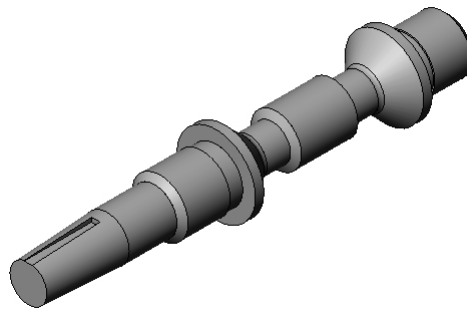


Рисунок 1 – 3D модель заготовки черв'яка виконана в Solid Works

Вимірювання засобами Solid Works показало, що об'єм матеріалу заготовки черв'яка становить $V_0 = 37762,66$ мм³.

Згідно з рекомендаціями, наведеними в [7], створено ескіз перерізу інструмента для обробки витків черв'яка черв'ячної передачі типу ZA та належним чином розташовано відносно елемента «спіраль». Елемент «спіраль» розташований так, щоб після створення 3D елемента «отвір» вісь відтвореної гвинтової поверхні співпадала з віссю заготовки черв'яка. Відповідна 3D модель черв'яка виконана в Solid Works зображена на рис.2, а.

З метою спрощення ескізу перерізу інструмента при проведенні 3D моделювання та згідно з рекомендаціями, наведеними в [6], без значної втрати точності теоретичний профіль (2) замінено дугою окружності. Ескіз перерізу інструмента для обробки витків досліджуваного черв'яка належним чином розташовано відносно елемента «спіраль». Елемент «спіраль» розташований так, щоб після створення 3D елемента «отвір» між віссю відтвореної гвинтової поверхні та віссю заготовки черв'яка був кут τ .

Згідно з роботою [5] значення кута τ повинно підраховуватися так:

$$\tau = \gamma_1 - \gamma_u. \quad (3)$$

3D модель досліджуваного черв'яка виконана в Solid Works зображена на рис.2,б.

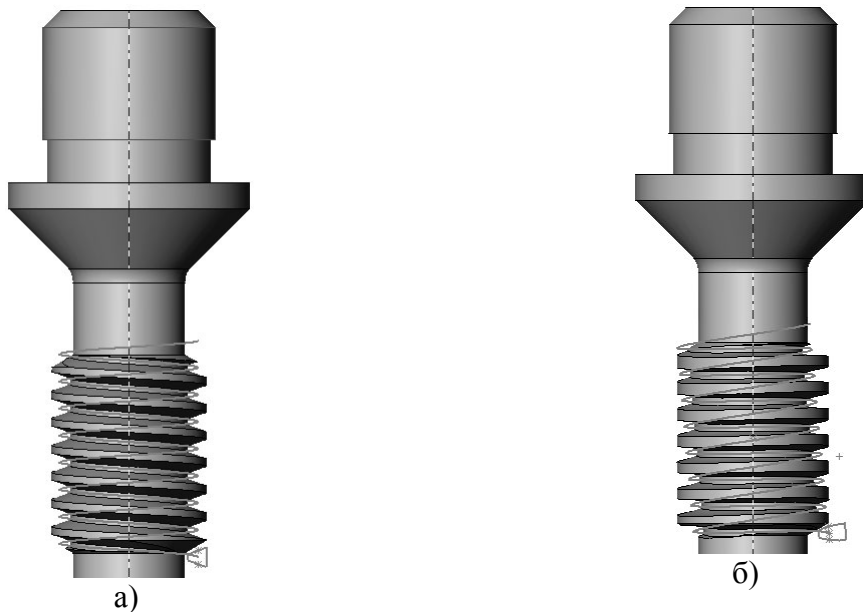


Рисунок 2 – 3D моделі черв'яка черв'ячної передачі типу ZA (а) та досліджуваного черв'яка з угнутих профілем витків (б), виконані в Solid Works

Приймалися такі значення кута τ : 0° , 2° та 4° . Відповідні кути γ_u розраховувались за формулою (3). Тобто, остання 3D модель створювалась в кількості трьох екземплярів, кожний з яких мав відповідний ескіз перерізу інструмента та кут τ .

При куті $\tau = 0^\circ$ вісь відтвореної гвинтової поверхні співпадає з віссю заготовки черв'яка.

На рис.2,б наведено 3D модель досліджуваного черв'яка з $\tau = 4^\circ$.

Елемент «спіраль» в розглянутих вище 3D моделях створювався на основі кроку, початкового кута, напрямку обертання та кількості обертань. Одне обертання відповідає куту повороту черв'яка в реальному верстатному зачепленні на кут $\phi_1 = 360^\circ$. Кількість обертань елементу «спіраль» змінювалась від 0 з кроком 0,25, що відповідає куту повороту черв'яка в реальному верстатному зачепленні від 0° з кроком 90° , до повного відтворення гвинтової поверхні.

Об'єм матеріалу, що видаляється при обробці активної поверхні витків черв'яка, визначався як різниця між об'ємом заготовки та об'ємом черв'яка при поточному значенні кількості обертань елементу «спіраль».

Порівняння результатів вимірювань, проведених на 3D моделях показало, що об'єм матеріалу видаленого при обробці активних поверхонь черв'яка з угнутих профілем витків суттєво відрізняється в порівнянні з механічною обробкою активних поверхонь черв'яка черв'ячної передачі типу ZA, причому при збільшенні кута τ відповідний об'єм видаленого матеріалу на один оберт черв'яка зростає, а саме: при $\tau = 0^\circ$ максимально на 11,7%, при $\tau = 2^\circ$ максимально на 14,3%, при $\tau = 4^\circ$ максимально на 17,1%. Це пояснюється особливостями профілю інструмента та зміною кута τ .

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено, що:

1.Інтенсивність процесу різання при обробці активних поверхонь черв'яків з угнутим профілем витків суттєво відрізняється в порівнянні з механічною обробкою активних поверхонь черв'яків звичайних черв'ячних передач;

2.При збільшенні кута τ відповідний об'єм видаленого матеріалу за один оберт досліджуваного черв'яка зростає;

3.Для уточнення результатів проведеного в першому наближенні 3D моделювання об'єм матеріалу, що видаляється при обробці активних поверхонь черв'яків, необхідно визначити аналітично.

Результати проведеного 3D моделювання є основою для проведення аналітичних досліджень та можуть бути використаними при визначенні оптимальних режимів різання для механічної обробки активних поверхонь черв'яків з угнутим профілем витків.

Список літератури

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
2. Иллеш Дудаш. Точное изготовление червячных передач с криволинейным профилем // Резание и инструмент. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Выпуск 38. – Харьков: Вища школа, 1987. – С.80-85.
3. Литвин Ф.Л., Корышев И.К. Вопросы геометрии и технологии червячных передач с вогнутым профилем червяка // Прогрессивные методы производства и технологичность конструкций. – 1960. – С.91-101.
4. Надеин В.С., Ковришкин Н.А. Производящая пара для нарезания червячных передач с вогнутым профилем червяка // Проблемы качества и долговечности зубчатых передач и редукторов: Тр.международ.научн. – техн. конф. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – С.68-74.
5. Ковришкін М.О., Попова О.І. Верстатне зачеплення для обробки тороїдальним інструментом витків циліндричного черв'яка з угнутим профілем / Наукові записки. – Вип.4. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С.97-101.
6. Ковришкін М.О. Заміна теоретичного профіля дугою окружності // Придніпровський науковий вісник. – Дніпропетровськ, 1998. – С. 42–48.
7. Производство зубчатых колес. Под ред. Б.А.Тайца. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 708 с.

Путём 3D моделирования определён объём материала, который удаляется при механической обработке активных поверхностей червяков с вогнутым профилем витков. Проведено сравнение с объёмом, который удаляется при соответствующей обработке червяков червячных передач типа ZA.

By 3D of design the volume of material which retires at tooling of active surfaces of worms with the concave type of coils is certain. Comparison is conducted with a volume which retires at the proper treatment of worms of worm-gears as ZA.