

$$v_{kp} = \frac{l_k l_0}{\pi} \sqrt{\frac{C_{ш}}{2J_c}}. \quad (18)$$

Висновки. Таким чином, отримано та обґрунтовано умову поперечної стійкості зчленованого порталного контейнеровоза з жорсткою підвіскою при наявності косо-симетричних кінематичних збурень, що дає можливість обирати раціональні режими руху таких машин в умовах технологічних доріг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грифф М.И. Автотранспортные средства с грузоподъемными устройствами для перевозки в контейнерах и пакетах / М.И.Грифф, Р.А.Затван, В.Ф.Трофименко. – М.: Транспорт, 1989. – 159с.
2. Золотарев А.Ф. Контейнеровоз на базе трактора Т-150К / А.Ф.Золотарев, И.А.Тоцкий // Промышленный транспорт. – М.: Транспорт. – 1979. – №6. – С.22.
3. Беккер И.Г. Портальные автомобили / И.Г.Беккер. – М.: Машиностроение, 1971. – 316с.
4. Технологічні і конструктивні параметри несучих систем порталних підйомно-транспортних машин / [О.О.Бейгул, Д.З.Шматко, О.М.Коробочка, Г.Л.Лепетова]. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 167с.
5. Малиновский Е.Ю. Динамика самоходных машин с шарнирной рамой / Е.Ю.Малиновский, М.М.Гайцгорн. – М.: Машиностроение, 1974. – 176с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г.Пановко. – М.: Наука, 1971. – 240с.
7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев. – 13-е изд., исправл. – М.: Наука, 1986. – 544с.

Надійшла до редколегії 28.03.2017.

УДК 621.9.02

БЕЛЬМАС І.В. д.т.н., професор
БОБИЛЬОВА І.Т. асистент
СОРОМІТЬКО І.Ю. студент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ФОРМА ТВІРНОЇ ДЕТАЛІ ОБЕРТАННЯ ПРИ МИМОБІЖНОМУ РОЗТАШУВАННІ ЇЇ ОСІ ВІДНОСНО ОСІ ОБЕРТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

Вступ. Одним з напрямків забезпечення високої точності виготовлення деталей в металообробці є застосування кінематичного способу формоутворення. Використання такого методу, зокрема, дозволяє підвищити точність виготовлення канавок внутрішніх кілець кулькових підшипників. Реалізувати вказаний напрямок можливо шліфуванням циліндричним кругом, що переміщається вздовж власної осі обертання мимобіжної до осі деталі, яку обробляють (рис.1) [1].

Обробка вказаним способом здійснюється шліфувальним кругом 1, який обертається навколо осі 2 та переміщається вздовж неї. При такому переміщенні шліфувальний круг займає частину простору, обмежену циліндром 3, та шліфує поверхню криволінійної канавки шириною L в деталі 4 з віссю обертання 5. Використання запропонованого способу вимагає визначення залежностей поміж формою деталі, напрямом переміщення та розмірами шліфувального круга.

Постановка задачі. Геометричні параметри деталі при кінематичному способі формоутворення визначаються геометрією інструменту та законом його руху в процесі обробки. Теоретичні основи кінематичного формоутворення описані С.П.Радзевичем [2].

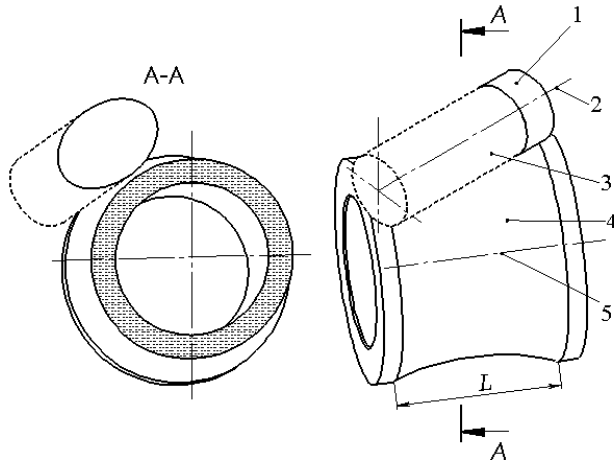


Рисунок 1 – Кінематичний спосіб шліфування

поміж осями – A . Визначимо закон зміни радіуса деталі за його довжиною. Для цього побудуємо проєкції циліндра радіусом R_s та осі обертання деталі. Останню задамо відтинком OK , розташованим нижче від осі циліндра на відстані A (рис.2).

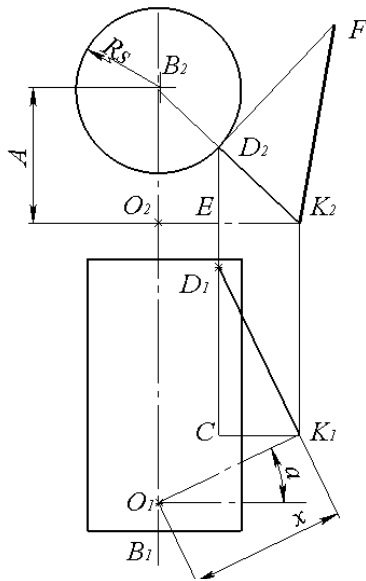


Рисунок 2 – Схема кінематичного шліфування в ортогональних проєкціях

Відповідно до рис.1 гіпотенуза трикутника D_2K_2F дорівнює відстані від осі деталі до шліфувального круга в розглянутому перерізі. Довжина катета D_2F дорівнює довжині відтинка D_1C . Опустивши проміжні перетворення, запишемо значення радіуса деталі як функції відстані x :

$$R(x) = \left(1 - \frac{R_s}{\sqrt{x^2 \cos^2(\alpha) + A^2}} \right) \sqrt{\frac{x^2 \cos^2(\alpha)}{1 - \cos^2(\alpha)} + A^2}. \quad (1)$$

Вони не дозволяють визначити геометрію інструменту та траєкторію його руху за наперед заданими геометричними параметрами криволінійної кільцевої поверхні. Цьому питанню присвячена робота.

Результати роботи. Приймемо, що частина простору, яку може займати шліфувальний круг за умови його переміщення вздовж власної осі обертання, описана циліндром радіусом R_s . Вісь обертання деталі задана відтинком OK , нахиленим до осі циліндра таким чином, що проєкція кута поміж ними на площину їм паралельну становить $\frac{\pi}{2} - \alpha$. Відстань

На рисунку 2 радіус деталі в перерізі, розташованому на відстані x від перерізу з мінімальним діаметром, дорівнює довжині відтинка FK_2 . Вказаний відтінок є шуканою натуральною величиною DK – радіуса деталі в її перерізі з координатою x . Відтінок FK_2 побудований з урахуванням наступних умов. Один кінець відтинка належить осі обертання (точка K), другий – поверхні, що обмежує частину простору, яку може займати шліфувальний круг (точка D). Відтінок, розташований в площині нормальній до осі обертання деталі (OK), і є нормаллю до лінії перетину поверхні цією площиною. Розташування відтинка під прямим кутом до осі деталі (OK) забезпечено розташуванням під прямим кутом проєкції D_1K_1 відносно проєкції, розташованої горизонтально осі деталі (O_1K_1). Умова нормального розташування відтинка DK до лінії перетину поверхні площиною забезпечена напрямом відтинку DK , який в точці O перетинає вісь циліндричної поверхні радіусом R_s .

Відповідно до виразу (1) радіус поверхні, утвореної в процесі механічної обробки, залежить від трьох геометричних величин. Вибором їх значень можна забезпечити три параметри, які визначають геометрію отриманої поверхні. Радіус обробленої деталі змінюється симетрично початку осі координат. Мінімальний радіус реалізується, коли $x = 0$ і дорівнює різниці $A - R_s$. При цьому $A \geq R_s \geq 0$. Випадок $R_s = 0$ відповідає обробці деталі інструментом з прямолінійною різальною кромкою, наприклад, токарним різцем, різальну кромку якого розташовують та переміщують вздовж прямої, мимобіжної до осі обертання деталі. При цьому оброблена поверхня буде мати форму однополосного гіперболоїда обертання. Форма твірної буде змінюватись за гіперболічною залежністю:

$$R^2 - x^2 \frac{\cos^2(\alpha)}{1 - \cos^2(\alpha)} = A^2. \quad (2)$$

У випадку $A = R_s = 0$ маємо схему традиційного способу точіння. Кут нахилу лежить в межах $0 \leq \alpha \leq \pi/2$. Випадок $\alpha = 0$ відповідає шліфуванню торцем шліфувального круга, випадок $\alpha = \pi/2$ – традиційному шліфуванню циліндричною поверхнею круга з віссю обертання паралельною осі деталі.

До залежності (1) входять тільки лінійні величини. Відповідно за будь яких значень одиниць вимірювання співвідношення залишаться незмінними. З використанням отриманої залежності радіуса деталі від характеру взаємного розташування її осі, осі шліфувального круга та його радіуса побудували форми твірної деталі (1). На рис.3 форма твірної утвореної поверхні побудована при різних значеннях радіуса шліфувального круга за незмінного значення кута нахилу $\alpha = \pi/20$.

Відповідно до наведеного графіка для прийнятих меж змін параметрів зміна радіуса шліфувального круга призводить до практично лінійної зміни радіуса деталі.

На рис.4 форма твірної побудована при різних значеннях кута нахилу осі деталі α та за незмінного радіуса шліфувального круга $R_s = 10$ мм, на рис.5 – при змінному значенні кута α та радіуса шліфувального круга $R_s = 0$.

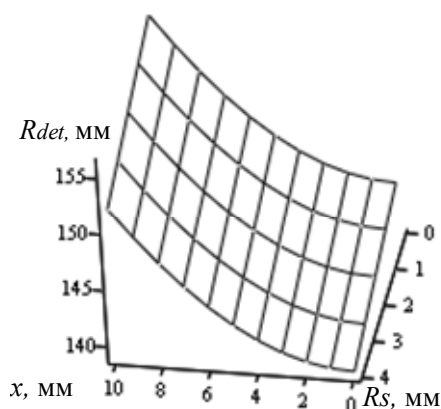


Рисунок 3 – Зміна радіуса симетричної частини деталі R_{det} за її довжиною x при різних величинах радіуса шліфувального круга R_s

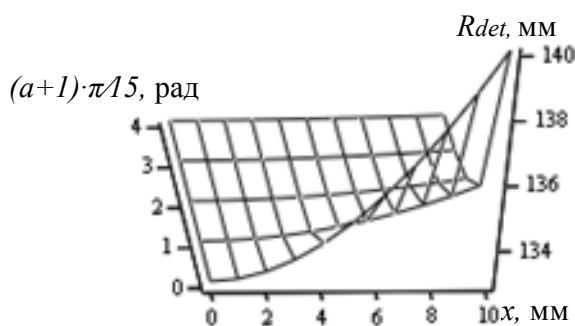


Рисунок 4 – Зміна радіуса симетричної частини деталі R_{det} за її довжиною x при різних значеннях кута нахилу α

При малих значеннях кутів α (рис.4) проекції осей деталі та шліфувального круга на площину, їм паралельну, розташовані практично під прямим кутом. Наслідком

вказаного є суттєва зміна радіуса за довжиною деталі. Коли α наближається до $\frac{\pi}{2}$, взаємне розташування осі деталі та шліфувального круга наближається до паралельного, радіус деталі – до сталої величини. За нульового значення діаметра шліфувального круга різальним інструментом можна вважати звичайний різець. При цьому утворена поверхня буде гіперболоїдом обертання з однією порожниною. Таким методом можна до шліфування проточити канавку.

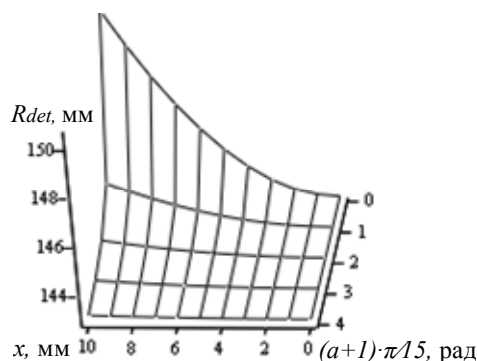


Рисунок 5 – Зміна радіуса симетричної частини деталі R_{det} за її довжиною x при умовно нульовому діаметрі шліфувального круга

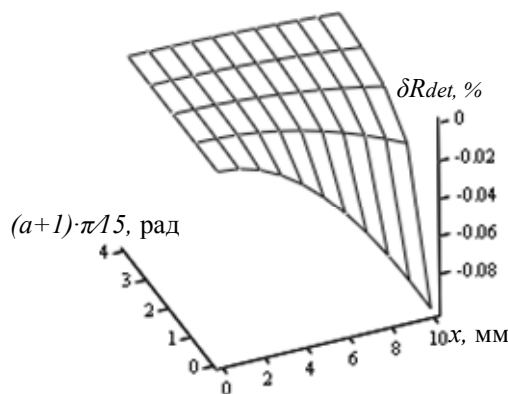


Рисунок 6 – Розподіл відносної похибки радіуса деталі R_{det} у відсотках за довжиною її симетричної частини x в залежності від відносної похибки кута α

Отримані вище графічні залежності показують, що найбільш впливовим чинником є кут нахилу осі деталі α . Точність взаємного розташування шліфувального інструменту та деталі впливає на точність виготовлення останньої. Зі схеми шліфування (рис.2) видно, що похибка розміру A призводить до відповідної похибки у забезпеченні проектного радіуса деталі R_{det} .

Відхилення радіуса деталі пропорційне і відхиленню радіуса шліфувального круга та самому радіусу R_s . Відносна похибка радіуса оброблюваної деталі R_{det} перевищує значення відносної похибки радіуса шліфувального круга R_s , якщо діаметр останнього у сім разів перевищує ширину оброблюваної канавки при незмінних інших параметрах.

Розподіл відносної похибки радіуса деталі δR_{det} у відсотках за довжиною її симетричної частини x в залежності від відносної похибки кута α наведено на рис.6. Наведений розподіл дозволяє зробити висновок, що відхилення радіуса деталі нелінійно зростає зі зростанням відстані від перерізу з найменшим радіусом та зі зменшенням кута α .

Практичне застосування запропонованого способу шліфування вимагає визначення взаємного розташування деталі, шліфувального круга та його діаметра за розмірами поверхні (канавки) деталі, яку треба виготовити. Габаритні розміри канавки визначаються її мінімальним та максимальним радіусами і відстанню між перерізами їх розташування. Так мінімальний радіус канавки забезпечується за наступної умови:

$$R_{det \min} = A - R_s. \quad (3)$$

Максимальний радіус

$$R_{\max} = \left(1 - R_s \left(\frac{L^2}{4} \cos^2(\alpha) + A^2 \right)^{-1/2} \right) \sqrt{\frac{L^2 \cos^2(\alpha)}{4(1 - \cos^2(\alpha))} + A^2}, \quad (4)$$

де L – ширина канавки.

Наявність трьох параметрів (A, α, R_s) взаємного розташування елементів здійснення технології кінематичного формоутворення шліфуванням надає можливість забезпечити ще одну умову. Такою умовою може бути умова забезпечення радіуса канавки в перерізі поміж перерізами максимального та мінімального радіусів:

$$R_{\max} = \left(1 - \frac{R_s}{\sqrt{L_{pr}^2 \cos^2(\alpha) + (R_{\det \min} + R_s)^2}} \right) \sqrt{\frac{L_{pr}^2 \cos^2(\alpha)}{1 - \cos^2(\alpha)} + (R_{\det \min} + R_s)^2}, \quad (5)$$

де L_{pr} – відстань поміж перерізами з мінімальним та проміжним радіусами.

Значення величин R_s та α мають бути визначені з розв'язання системи рівнянь (4) та (5).

У зонах силової взаємодії тіл кочення та канавки підшипників виникають контактні напруження. Величини цих напружень суттєво залежать від кривизни поверхонь тіл, що взаємодіють. Зменшення останніх можливо шляхом узгодження їхніх форм. Узгодженою має бути кривизна канавки та тіл кочення в перерізах, утворених площинами, що проходять крізь точки контакту тіл кочення з канавкою та вісь кільця підшипника. Технології для шліфування зовнішніх канавок внутрішніх кілець підшипників кочення в перерізі мінімального радіуса ($x = 0$) має забезпечувати задану кривизну твірної канавки K . Прирівняємо її другій похідній функції зміни радіусу (1) в перерізі ($x = 0$). Опустимо проміжні перетворення, маємо шукану залежність:

$$K = (R_{\det \min} + R_s)^6 \left((\cos^2(\alpha) - 1) R_s - R_{\det \min} \right) \frac{\cos^2(\alpha)}{\cos^2(\alpha) - 1}. \quad (6)$$

Значення величин R_s та α для цього випадку мають бути визначені з розв'язання системи рівнянь (4) та (6).

Висновки. Запропонована схема кінематичного формоутворення шліфуванням криволінійної канавки дозволяє за значеннями її діаметрів в трьох перерізах, включно і в перерізі з мінімальним діаметром або за значенням її діаметрів в двох перерізах, в тому числі і в перерізі з мінімальним діаметром та кривизною твірної в точці, розташованій на найменшій відстані від осі, визначити взаємне розташування елементів кінематичного способу шліфування канавок криволінійного симетричного профілю, включно і канавок внутрішніх кілець підшипників кочення, чим підвищується якість обробки цих поверхонь. Напрямок подальшого розвитку дослідження може бути дослідження та розробка спеціалізованих верстатів на базі технології кінематичного формоутворення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. 110324 Україна, МПК В24В 5/04. Спосіб шліфування деталей обертання / Бельмас І.В., Танцура Г.І., Білоус О.І., Танцура Т.О.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № 110324; заявл. 04.03.16; опубл. 10.10.16, Бюл. №19/2016.
2. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей (Основы теории) / Радзевич С.П. – К.: Ростан, 2001. – 592с.

Надійшла до редколегії 26.04.2017.