

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ НОРМАЛЕЙ

Подкоритов А.Н., д.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького (Україна)*

Ісмаїлова Н.П., д.т.н.,

Трушков Г.В., к.т.н.

Військова академія (м. Одеса, Україна),

Олійник Н.В., к.т.н.

Одеська державна академія будівництва та архітектури (Україна)

У роботі пропонується перспективний метод геометричного профілювання трапецеїдальної фрези методом нормалей, для практичного використання при обробці деталей, що мають просторово-складні поверхні тісно пов'язані з утворенням взаємоогинаючих або спряжених поверхонь.

У сучасних літаках, ракетах кораблях, металорізальних верстатах часто застосовується деталі дуже складної конструкції. Оскільки поверхня оброблювальної деталі і різального інструменту є спряженою, то кожному з даних поверхонь можна представити обвідною по відношенню до другої рухливої поверхні.

Вчені вже давно намагаються оптимізувати процес створенням універсальних графічних інструментів, що представляють по суті графічне зображення параметрів кінематичних пар, зміна одного з яких призводить до зміни інших. Це відкриває можливість отримання форм деталей, з наперед заданими параметрами.

Теорія огинаючих поверхонь отримала подальший розвиток в питаннях профілізації різального інструменту. З питань проектування різального інструменту (особливо графоаналітичний метод профілізації) полягає в тому, що з графічних побудов у будь-якому місці можна легко перейти на аналітичний метод, при необхідності перевірки або точного визначення параметрів.

Графічні методи дозволяють наочно представити процес отримання профілю інструменту, дати аналіз впливу кожного параметра на профіль і конструктивні розміри і легко виявити помилки в профілізації та профілізації складних криволінійних профілів графічні методи на сьогодні є єдиними

Велике значення при проектуванні спряжених гвинтових поверхонь має точне відтворення їхньої форми як основи надійної роботи майбутніх реальних виробів, що ускладнюється необхідністю виконання досить численних геометричних побудов, виконання яких за допомогою звичайних креслярських інструментів неминуче

супроводжується внесенням цілком об'єктивних похибок, уникнути яких можна, що вимагає суттєвої творчої підготовчої, чому і присвячена дана стаття.

Ключові слова: моделювання спряжених поверхонь, метод нормалей, зубчасті колеса, різучий інструмент.

Постановка проблеми. За останні роки теорія огинаючих поверхонь отримала подальший розвиток. У питаннях профілізації різального інструменту внесли багато цінної роботи Можаяєва С.С. [3], з питань проектування різального інструменту і особливо графоаналітичний метод профілізації В.М. Воробйова [4]. Цінність методу В.М. Воробйова полягає в тому, що з графічних побудов у будь-якому місці можна легко перейти на аналітичний метод при необхідності перевірки або точного визначення параметрів. Те що ряд вітчизняних і зарубіжних учених займаються методами утворення огинаючих поверхонь, говорить про актуальність даного питання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спряженими поверхнями з теореми Олів'є називаються такі дві поверхні, з яких кожна є такою, що огинає у відносному русі іншу [1]. Оскільки поверхня оброблювальної деталі і різального інструменту є спряжені, то кожна з даних поверхонь можна представити: як ту, що огинає по відношенню до другої рухливої поверхні.

Т. Олів'є в 1884 р. вперше поставив питання про геометричні методи дослідження просторових зачеплень і рішення завдань методами нарисної геометрії. На той час Г. Монж створив нарисну геометрію, а Ейлер в 1754-1753рр. розробив математичну базу досліджень загальних питань плоских зачеплень.

Питання взаємо-огинаючих поверхонь отримали подальше освітлення в диференціальній геометрії [2]. Отримані диференціальні рівняння, дані в загальному вигляді були ще не придатні для практичного використання і тому в 1881 м. Гохман Х.І. на підставі геометричних методів Олів'є дав аналітичну теорію.

Формулювання цілей статті. Одержати згідно із переходу від окремих нормалей фрезера і окремих положень осі фрези, а також рішення задачі на перетин поверхонь, який дозволяє зробити метод нормалей зручнішим для практичного використання проектування деталей з трапецеїдальною різьбою.

Основна частина. Огляд методів профілізації огинаючих поверхонь показав, що історія розвитку конструкторської думки і аналітичних досліджень визначила три основні методи профілізації взаємо-огинаючих поверхонь: а) аналітичний; б) графоаналітичний; в) графічний.

Аналітичні методи дають дуже точні результати, і застосовується для визначення відповідальних параметрів інструменту. Проте, аналітичні методи вимагають великої кількості складних і громіздких розрахунків, пов'язаних з великою витратою часу. Складність розрахунків часто є причиною помилок, виявити які досить важко.

Графоаналітичні методи дозволяють правильно побудувати профіль інструменту, застосовуючи в необхідних випадках розрахунки. Крім того, аналітичні розрахунки допоміжного характеру скорочують графічні побудови.

Графічні методи дозволяють наочно представити процес отримання профілю інструменту, дати аналіз впливу кожного параметра на профіль і конструктивні розміри і легко виявити помилки в профілізації. Для профілізації складних криволінійних профілів графічні методи на сьогодні є єдиними, оскільки ми ще не маємо в

розпорядженні для них методів аналітичного розрахунку [5, 6].

Подальше вдосконалення графічних методів на базі нарисної геометрії дасть можливість прискорити і спростити конструкторську роботу по профілізації інструменту, створити нові види металорізального інструменту і удосконалити існуючі.

Найбільше поширення з криволінійних поверхонь в сучасному машинобудуванні отримали гвинтові поверхні. Тому зупинимося на геометричних методах, пов'язаних з профілізацією інструменту тільки для гвинтових поверхонь. Усі існуючі методи профілізації можуть бути зведені до трьох видів:

- 1) метод нормалей;
- 2) метод перерізів;
- 3) метод криволінійного проектування.

Для побудови нормалей, наприклад, в точці $A(A_1, A_2)$ і

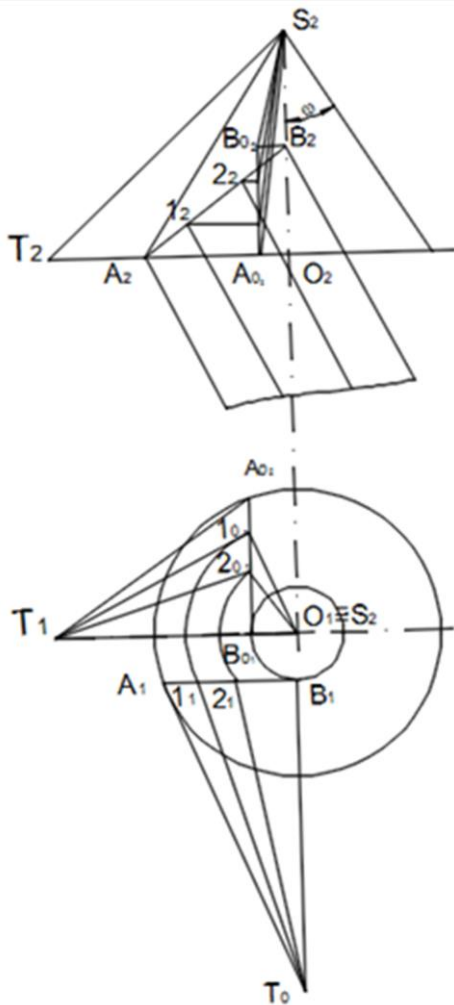


Рис. 1. Профілізації фрези для обробки поверхні канавки свердла, утвореної рухом прямолінійної різальної кромки

гвинтовій поверхні свердла необхідно:

а) провести площину $P(TS \times SA_0)$ паралельну дотичній площині в точці A (рис. 1).

б) через точку A провести перпендикуляр до площини $P(TS \times SA_0)$.

Нормалі для інших точок, що лежать на гвинтовій поверхні канавки свердла будуються аналогічно.

За первинне положення осі фрези береться таке, при якому вісь займає приватне положення, тобто вісь $i^1(i_1^1, i_2^1)$ паралельна фронтальній площині проєкцій. Для визначення нового положення осі фрези $i^2(i_1^2, i_2^2)$, поверненою на кут θ , необхідно дві точки $M(M_1, M_2)$ і $N(N_1, N_2)$ повернути на кут θ .

Оскільки вісь фрези здійснює гвинтовий рух, то при обертанні її на кут θ положення нової осі $i^2(i_1^2, i_2^2)$ переміститься уздовж осі свердла на величину Z .

Переміщення уздовж осі для кожного нового положення можна підрахувати по наступній формулі:

$$Z = \frac{h \cdot \theta}{360} \text{ (мм)},$$

де h - крок гвинтової поверхні свердла.

Визначимо точку зустрічі осі фрези $i^2(i_1^2, i_2^2)$ з нормаллями. Для цього через горизонтальну проєкцію вісі необхідно провести горизонтально-проєктуючу площину P . Потім визначаємо переріз $m(m_1, m_2)$, що є гіперболою. Точка $N(N_1, N_2)$ лежить на перетині гіперболи з віссю (рис. 2). Отримана таким чином точка N визначає загальну нормаль (e_1, e_2) до поверхні свердла і фрезера. Точка стикання поверхні фрезера H_0 з гвинтовою поверхнею канавки свердла визначається як точка перетину загальної нормалі $e(e_1, e_2)$ з поверхнею AB .

Поворот кожної осі фрези разом з твірною гвинтової поверхні і відповідною нормаллю в початкове положення осі фрезера здійснюється методом обертання

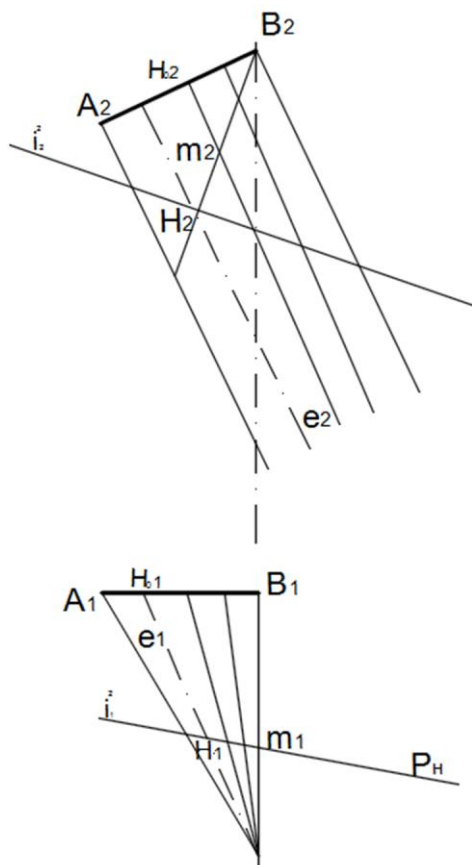


Рис. 2. Точка N визначає загальну нормаль поверхні свердла і фрезера

навколо осей, перпендикулярних до горизон-тальної площини проєкцій.

Натуральна величина радіусу фрези може бути визначена методом прямокутного трикутника. Методи нарисної геометрії дають можливість спростити і скоротити побудови. У запропонованому методі побудови профілю фрезера зводяться до:

1. визначення поверхонь нормалей і гвинтової поверхні свердла;
2. визначення гвинтової поверхні, утвореної гвинтовим рухом осі фрезера;
3. визначення лінії перетину заданих поверхонь;
4. визначення натуральної величини радіусу фрези.

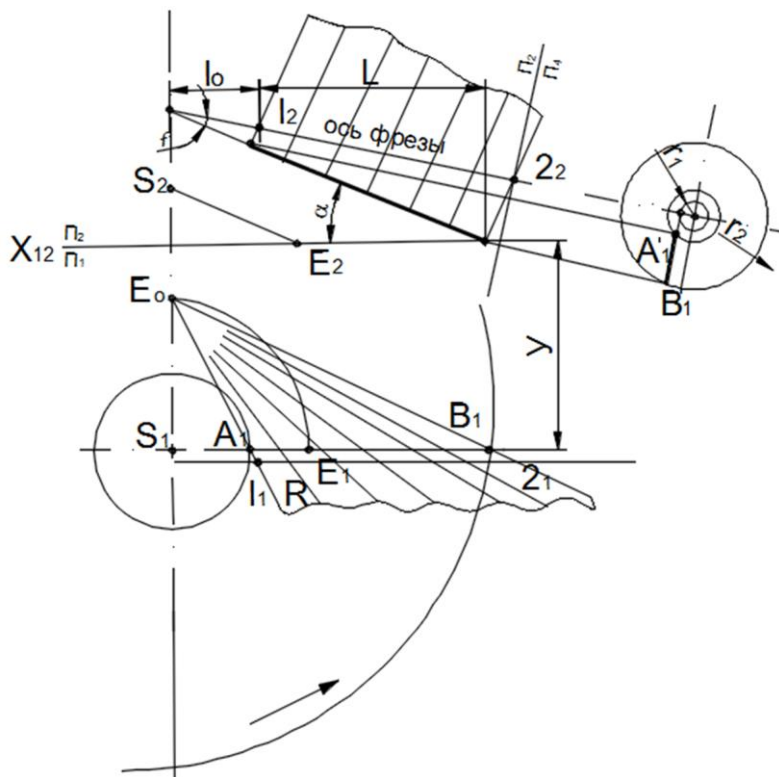


Рис. 3. Гвинтової поверхні, яка утворює лінію контакту нормалей с гіперболічним параболоїдом

1. Оскільки поверхня нормалей є гіперболічним параболоїдом, то вона може бути задана на кресленні двома направляючими і площиною паралелізму:

- а) направляючий $AB(A_1B_1, A_2B_2)$;
- б) направляючий $i(i_1, i_2)$;
- с) площина паралелізму $P(P_H \times P_V)$, яка проводиться перпендикулярно AB (рис. 4).

2. Поверхня, утворена рухом осі фрезера є косим, відкритим гелікоїдом (рис. 3):

- a) твірна $i^1(i_1^1, i_2^1)$;
- b) шагом S ;
- c) напрямом ходу.

Для побудови косоного, відкритого гелікоїда будемо направляючу $\ell(\ell_1, \ell_2)$ і направляючий конус.

3. Лінію перетину заданих поверхонь визначаємо за допомогою приладу для побудови ліній перетину лінійчатих поверхонь.

Натуральна величина радіусів фрезера може бути визначена будь-яким методом нарисної геометрії.

Принцип методу Адамовича по профілізації різального інструменту обертання для обробки лінійчатих гвинтових поверхонь полягає в тому, що обидві спряжені поверхні у будь-який момент мають характеристику у вигляді лінії. А якщо спряжені поверхні мають лінійчатий контакт, то нормалі до обох поверхонь в усіх точках контакту повинні співпадати.

Прийнявши $AB (A_1 B_1, A_2 B_2)$ гвинтової поверхні за лінію контакту (рис. 3), побудуємо поверхню нормалей контакту. Поверхня нормалей є гіперболічним параболоїдом.

В якості прямолінійної осі різального інструменту приймаємо $MI (M_1 I_1, M_2 I_2)$, що являється твірною поверхні нормалей. Положення осі MI і лінії контакту AB визначає форму огинаючої поверхні.

На основі методу профілізації різального інструменту обертання для обробки лінійчатих гвинтових поверхонь, запропонованого Адамовичем Л.Д. [3], спрофільована пальцева фреза для обробки гвинта з трапецеїдальної різьбою (рис. 4). Зовнішній діаметр гвинта 300 мм, крок $H=204$ мм, різьба двозахідна.

Для побудови профілю фрези за допомогою одиничного шагу задаємо поверхню нормалей, яка є гіперболічним параболоїдом.

На кресленні поверхня нормалей задана двома направляючими: AB і прямої i , а також площиною паралелізму P , що перпендикулярна до AB .

Нормалі E_0A_1, E_0I_1 і так далі що належать до першої серії твірних перетинатимуть пряму I_0I_1 , що належить другій серії твірних [1], тому будь-яка твірна другій серії може бути прийнята на вісь фрези.

Для того, щоб фреза обробляла одночасно повністю профіль трапеції, вісь фрези повинна бути паралельна площині H_1 [3].

Відомо, що вісь фрези є поверхнею обертання у вигляді односмугового гіперболоїда. Для отримання параметрів, необхідних для побудови односмугового гіперболоїда замінимо площину Π_1 на площину Π_4 , яка перпендикулярна вісі фрезера. У новій системі методами нарисної геометрії визначаємо положення вісі і положення

АВ. Для виявлення профілю фрези будуюмо односмуговий гіперболоїд від основи його відкладаємо відстань L (рис. 4) Нарис відсіченої частини односмугового гіперболоїда визначає профіль проектованої пальцевої фрези.

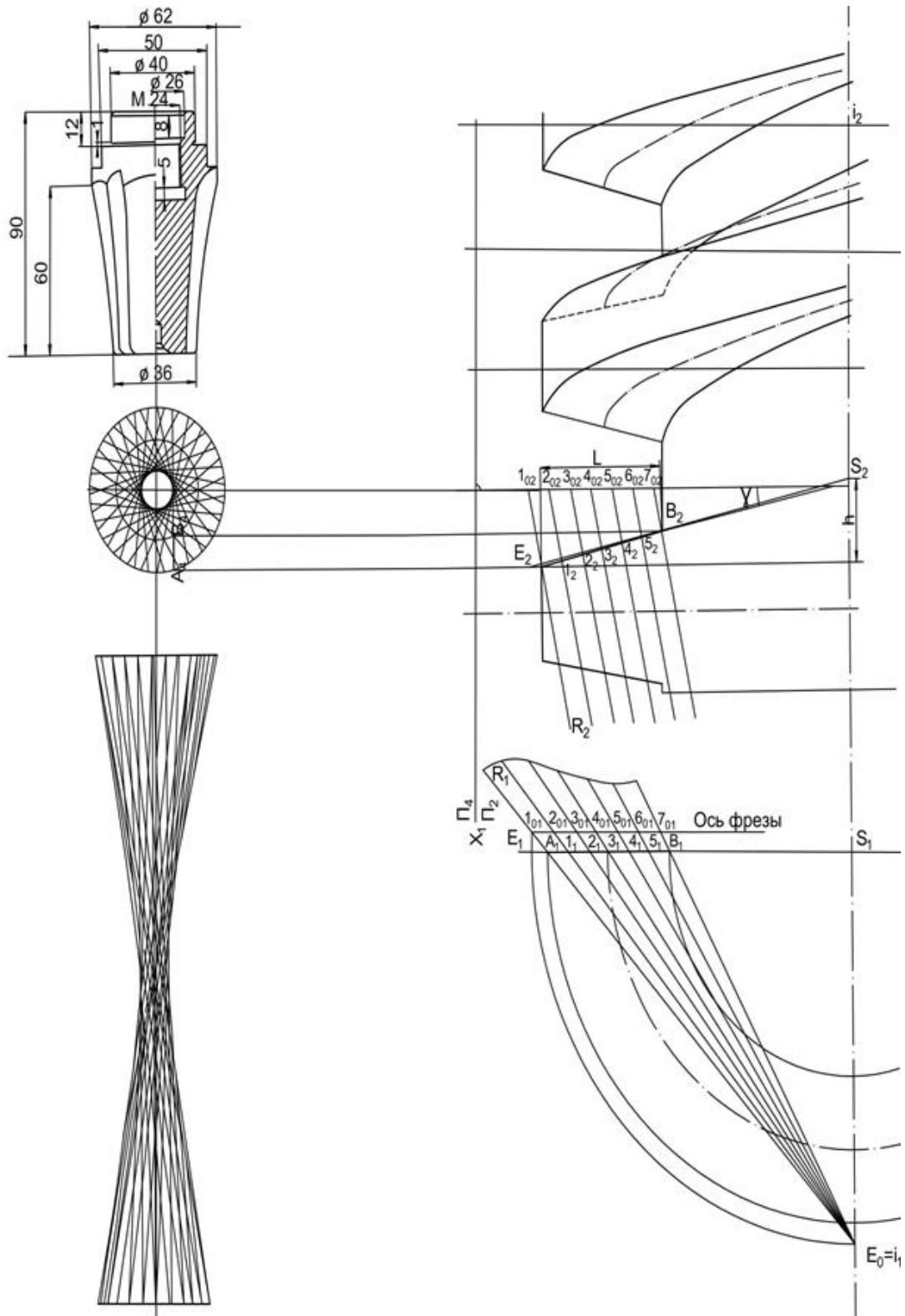


Рис. 4. Нарис відсіченої частини односмугового гіперболоїда, яка визначає профіль проектованої пальцевої фрези

Висновки. 1. Все існуючі методи профілізації можна розділити на геометрично точні методи і методи, в яких для спрощення побудови зроблені деякі допущення.

2. Запропонований метод підвищує точність графічних побудов. Точність отриманого профілю при застосуванні метода нормалей залежатиме від точності графічних побудов. Сама ж точність графічних побудов буде значно збільшуватися, якщо ми задалегідь знаємо форму отримуваних кривих.

3. Розглядаючи метод профілізації з цієї точки зору, можна вказати, що найбільш простим методом є метод, запропонований Адамовичем для профілізації пальцевих фрез для обробки лінійчатих поверхонь при миттєвій лінії контакту у вигляді прямої. Це обмеження різко звужує сферу застосування методу нормалей.

Література

1. Olivier Th. Theorie geometrique des engrenages. Paris, 1842. 146 p.
2. Гохман Х.И. Теория зацепления, обобщенная и развитая путем анализа. Одесса, 1886. 260с.
3. Можаяев С.С. Общая теория режущего инструмента : дис...канд. тех наук : Ленинград, 1951. 240 с.
4. Воробьев В.М. Профилирование фрез для изделий с винтовыми канавками : дис...канд. тех наук : Мосстанкине, 1950. 180с.
5. Подкорытов А.Н. Профилирование сложного режущего инструмента работающего методом обкатки. *В кн.: Прикладная геометрия и инженерная графика в машиностроении.* Омский политехн. ин-т. Омск, 1969. С. 31-39.
6. Подкорытов А. М., Исмаилова Н. П. Теоретичні основи спряжених квазігвинтових поверхонь, що виключають інтерференцію: монографія. Херсон : ФОРМ Грінь Д. С., 2016. 330 с.
7. Stubler E. Geometrische Probleme bei der Verwendung von Schrauben-flachen in der Technik, Zeitschrift fur Math. und Physik, 1911, B. 60, H.1.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ НОРМАЛЕЙ

Подкорытов А.Н., Исмаилова Н.П., Олейник Н.В., Трушков Г.В.

В работе предлагается перспективный метод геометрического профилирования фрезы для обработки деталей с трапецеидальной резьбой методом нормалей, имеющих пространственно-сложные поверхности, тесно связанные с образованием взаимно-огibaющих

сопряженных поверхностей.

В современных самолетах, ракетах, кораблях, металлорежущих станках часто применяются детали сложной конструкции. Поскольку поверхности обрабатываемой детали и режущего инструмента является сопряженной, то каждую из данных поверхностей можно представить огибающей по отношению ко второй подвижной поверхности.

Теория огибающих поверхностей получила последующее развитие в вопросах профилирования резального инструмента. Проектирование резального инструмента (особенно графоаналитические методы профилирования) заключается в том, что из графических построений в любом месте можно легко перейти на аналитический метод, при необходимости проверки или точного определения параметров.

Графические методы позволяют наглядно представить процесс получения профиля инструмента, дать анализ влияния каждого параметра на профиль и конструктивные размеры и легко обнаружить ошибки в профилировании и профилировании сложных криволинейных профилей графические методы на сегодня являются единственными

Ученые уже давно пытаются оптимизировать процесс созданием универсальных графических инструментов по проектированию сопряженных поверхностей, изменение одного параметра приводит к изменению других, где можно открыть возможность получения форм деталей, с заранее заданными параметрами, в частности деталей, совместная работа которых свободна от взаимного внедрения.

Большое значение при проектировании сопряженных поверхностей имеет точное проектирование их формы, как основы надежной работы будущих реальных изделий, осложняется необходимостью выполнения достаточно многочисленных геометрических построений, выполнение которых с помощью обычных чертежных инструментов неизбежно сопровождается внесением вполне объективным ошибкам, избежать которых возможно при существенной творческой подготовки, чему, и посвящена данная статья.

Ключевые слова - моделирование сопряженных поверхностей, метод нормалей, режущий инструмент.

GEOMETRIC MODELING OF CONJUGATED SURFACES BY THE NORMAL METHOD

Podkorutov A., Ismailova N., Oliinyk N., Truhkov G.

The paper proposes geometric modeling of a trapezoidal cutter using the normal method, for the practical use of machining parts that have a spatially complex surface that is closely associated with the formation of mutually enveloping conjugated surfaces.

In modern airplanes, rockets, ships, metal cutting machines, parts of very complex shapes are often used. Since the surface of the machining part and the cutting tool is conjugated, each of these surfaces can be represented as an envelope with respect to the second movable surface.

Scientists have been trying for a long time to optimize the process by creating universal graphic tools, which, in fact, is a graphical representation of the parameters of kinematic pairs, changing one of which leads to a change in the other, opens up the possibility of obtaining shapes of parts with predetermined parameters.

The theory of envelope surfaces was further developed in matters of profiling of a cutting tool. Concerning the design of a cutting tool by the graphoanalytic method of profiling, it follows that from graphical constructions at any stage of design, it is easy to switch to calculation by the analytical method, if necessary, checking or accurately determining the parameters.

Graphic methods allow you to visualize the process of obtaining a tool profile, give an analysis of the influence of each parameter on the profile and design dimensions, where it is easy to identify profiling errors of complex curved profiles. For accurate design, it is necessary to carry out quite a number of geometric constructions, which is accompanied by the introduction of completely objective errors, which can be avoided and also requires substantial creative preparation, which this article is devoted to.

Keywords: modeling of conjugated surfaces, method of normals, gear wheels, cutting tool, trapezoidal milling cutter.