

**В. Шанайда¹, канд. техн. наук; Р.Склярів¹, канд. техн. наук;
О.Редько², канд. техн. наук**

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ЗАМКОВИХ РІЗЕЙ

***Резюме.** Проведено аналіз геометричних параметрів траєкторії руху вершини зуба фрези при обробці профілю внутрішньої конічної різі замкового типу. Запропоновано аналітичні залежності для розрахунку граничних геометричних параметрів фрези залежно від параметрів оброблюваної різі. Визначено умову технологічного забезпечення відповідності геометричного профілю різі до вимог ГОСТу.*

***Ключові слова:** конічна різь, фрезерування, бурова колона.*

V. Shanayda, R. Skliarov, O. Redko

GEOMETRICAL MODEL ANALYSIS OF THE INTERNAL LOCK SCREW-THREAD MILLING

***Summary.** Drill string is formed by the connection of pipes such as step-by-step. In the drill string pipe connected through tapered threaded surface. These surfaces are made on special structural elements of the drill pipe, such as nipple and coupling. The formation of the columns has a significant reserve time for assembly operations. This is a reduction of effort in correcting emergency situations. The largest number of failures falls on threaded connections. That is why improving the reliability of these connections is an important task for both engineering and oil and gas industries.*

In modern conditions of production, internal screw-thread made way for threading lathe knife by 6-8 passes. The result of this process is the geometric distortion of the surface profile of the thread. Threaded profile loses strength because of their rapid abrasion. This effect is actively manifested through significant deviation geometry threaded profile from the nominal values. Manufacturers of pipe for drill columns are interested in simplifying the process of forming a threaded profile on the conical surface and improving operational reliability of such connections.

The authors of this article have a proposal to make the internal locking thread by milling in a single pass. To implement the research carried out:

- formed a geometric model for the analysis of the process of milling internal screw-thread;
- investigated the characteristic geometric parameters that affect the formation of the thread;
- written mathematical model which will perform the selection of geometric parameters cutters

depending on the geometrical parameters of threaded type.

The article includes analysis of the geometrical parameters of the trajectory of the top cutter tooth profile when processing internal tapered thread type lock. Analytical dependences presented for calculation of the limit of geometrical parameters of cutters depending on the parameters of the treated thread. Technological conditions defined for the implementation of the geometric profile matching thread with GOST.

***Key words:** cone of internal screw-thread, milling, drilling column*

Умовні позначення:

- $d1$ – діаметр більшої основи конуса (відповідно до ГОСТу 28487-90);
- $d3$ – діаметр меншої основи конуса (відповідно до ГОСТу 28487-90);
- Cv – головний рух різання (обертання фрези);
- P_1 – рух подачі фрези;
- P_2 – рух кругової подачі муфти;
- Rp – радіус впадини профілю різі, мм;
- Rm – внутрішній радіус муфти для нарізування профілю різі, мм;
- Rf – радіус фрези для нарізування профілю різі, мм;
- φ – кут провороту фрези, рад.;

- s – зміщення осі обертання фрези відносно осі обертання муфти;
 n_ϕ – частота обертання фрези, об/хв;
 t_ϕ – півперіод переміщення зуба фрези, с;
 n_σ – частота обертання муфти, об/хв;
 γ – кут провороту муфти, рад.;
 ϕ – кут підйому гвинтової поверхні, рад.

Постановка проблеми. Процес буріння свердловин забезпечується формуванням бурильної колони, котра складається або з гладкого трубного з'єднання, або з негладкого трубного з'єднання. Суттєвим резервом для зменшення витрат часу на буріння є зменшення аварійності бурильних колон. Найвагоміша частка поломок (майже 80%) припадає на поломки різьбових з'єднань труб та замків [1].

Проведені експериментальні дослідження показали, що найефективнішою є бурильна колона, в якій труби приєднані до замків методом зварювання, але зі збереженням замкових різьбових з'єднань, котрі задіяні у складанні труб у свічку та при виконанні опускально-підіймальних операцій [2]. Багаторазове виконання на виробничій площадці приєднувально-роз'єднувальних операцій призводить до зношування різьбового профілю, а, відповідно, й до зменшення надійності такого з'єднання. Підвищення надійності різьбового з'єднання та збільшення ресурсу його роботи стане вагомим чинником у зростанні ефективності експлуатації бурильного устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна увага наукових досліджень на сьогодні приділена дослідженню процесів нарізання різей малих діаметрів (М2 – М6) [3, 4] та дослідженню процесів пластичного деформування при утворенні різьбових профілів малих та середніх діаметрів (М3 – М24) [5]. На основі фундаментальних праць [6], які слугують теоретичною базою дослідження різьбових профілів, запропоновано ряд конструктивних рішень для вдосконалення геометрії ріжучої частини різенарізувальних інструментів та геометричного профілю мітчиків для різеутворення методом пластичного деформування.

У машинобудівній галузі значний інтерес викликають різьбові з'єднання великих діаметрів (М30 – М100 і більші) з кроком різі 2 – 6 мм. Якщо процес нарізування зовнішніх різей таких діаметрів технологічно можна забезпечити багатьма методами, то процес нарізування внутрішніх різей таких діаметрів пов'язаний із вирішенням цілого комплексу технологічних проблем. Перш за все слід відзначити багатогранність підходів щодо інструментального забезпечення процесу нарізування внутрішніх різей великих діаметрів [7] та реалізації технологічно специфічних методів їх виготовлення [8]. Запропоновані підходи дозволили сформувати перспективні напрями досліджень процесу фрезерування внутрішніх різей, розробити передове технологічне оснащення для нарізування різей підвищеної точності.

Мета роботи. Встановити зв'язок між геометричними параметрами фрези для виготовлення внутрішньої замкової різі та різьбовим профілем муфти трубного з'єднання бурильної колони.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- сформувати геометричну модель для аналізу процесу фрезерування внутрішньої замкової різі;
- встановити характерні геометричні параметри, які мають вплив на процес різеутворення;
- сформувати математичну модель, яка дозволить виконувати підбір геометричних параметрів фрези залежно від геометричних параметрів різьбового профілю.

Результати досліджень. Геометричні параметри внутрішніх та зовнішніх замкових різей регламентовані міждержавним стандартом [9]. Особливий інтерес викликають внутрішні замкові різі, оскільки процес їх виготовлення проходить у закритому просторі і, крім того, такі різі виготовлять на конічних поверхнях. Геометричний аналіз доцільно проводити для найбільш звуженої частини муфти (рис.1), оскільки саме ця частина муфти є найвіддаленішою від упорного торця й геометричні параметри різі на цій ділянці мають параметри, які власне й обмежують найбільші, гранично допустимі розміри різенарізної фрези.

Для формування різьбового профілю слід забезпечити комплекс формують рухів, які надають як ріжучому інструменту, так і оброблюваній деталі. Головний формують рух (рух різання Cv), а також рух осьової подачі $П_1$ надають фрезі. Рух кругової подачі $П_2$ реалізовано через обертання оброблюваної деталі. Слід зазначити, що запропонований варіант реалізації рухів формують не є остаточним і може бути верифікованим залежно від конструктивного виконання технологічного оснащення [10]. При будь-яких варіантах поєднання цих рухів необхідно узгодити рухи подач $П_1$ та $П_2$ таким чином, щоб за один оберт деталі різьбова фреза перемістилася вздовж осі деталі на крок нарізуваної різі. Не менш важливо витримувати рух фрези вздовж твірної оброблюваного конуса. Із зазначеного вище випливає, що різенарізана фреза повинна обертатися відносно осі, яка є співвісною до осі обертання оброблюваної деталі, а рух подачі інструменту має бути паралельним до оброблюваної поверхні.

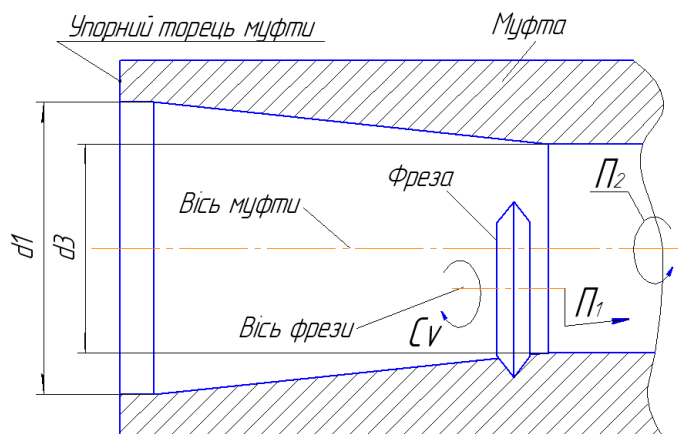


Рисунок 1. Узагальнена модель фрезерування внутрішньої різі

Figure 1. Model milling of internal screw-thread in general

Особливість запропонованого методу обробки внутрішньої різі полягає у тому, що ми можемо використовувати комплект фрез як для нарізування різьбового профілю, так і для його подальшої правки та поверхневого зміцнення. Типове обладнання для нарізування різей фрезами, як правило, використовують для обробки циліндричних отворів. Крім того, для проведення різьфрезерування верстатне обладнання має бути оснащено системою ЧПК [11] з опцією гвинтової інтерполяції (суміщення осьового переміщення інструменту зі спіралеподібним рухом його осі). Звідси випливає доцільність проведення геометричного аналізу процесу фрезерування внутрішньої замкової різі й використання отриманих результатів для обґрунтування економічних показників виробництва та конструктивних параметрів устаткування для механічної обробки трубних муфт бурильної колони.

Розглянемо схему фрезерування внутрішньої різі, зображену на рис.2.

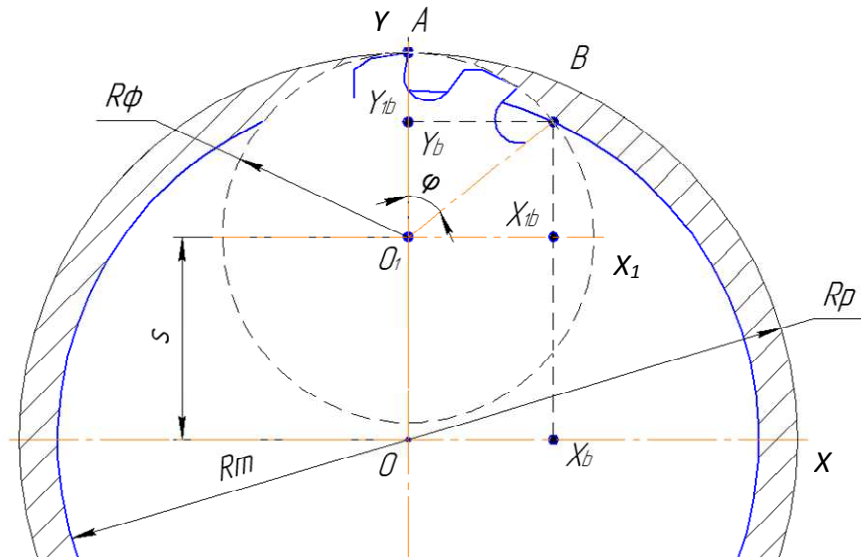


Рисунок 2. Розрахункова схема

Figure 2. Geometric model

У процесі механічної обробки фреза врізується у заготовку на повний профіль нарізаної різи, утворюючи різьбовий профіль радіусом R_p . У разі відсутності кругової подачі Π_2 зуб фрези переміщається із точки A до точки B , здійснюючи поворот на кут φ . Точка B є точкою виходу зуба фрези із оброблюваної деталі по внутрішньому радіусу муфти R_m . Координати цієї точки залежать від внутрішнього радіуса муфти R_m та радіуса фрези R_ϕ . Їх слід розглядати у двох системах координат: XOY – система координат, пов'язана з віссю обертання деталі; $X_1O_1Y_1$ – система координат, пов'язана із віссю обертання фрези. З геометричних побудов, які зображені на рис.2, бачимо, що для визначення координат точки B необхідно враховувати не лише геометричні параметри фрези та оброблюваної деталі, але й їх взаємне розміщення. У цьому випадку координати цієї точки можна розрахувати за такими аналітичними залежностями:

$$\begin{aligned} X_B &= R_\phi \cdot \sin \varphi \\ Y_B &= R_\phi \cdot \cos \varphi + s \end{aligned} \quad (1)$$

Кут повороту зуба фрези при переході від точки A до точки B визначаємо з використанням математичного апарата векторної алгебри. Характерні точки O , O_1 та B мають координати

$$\begin{aligned} O(0,0) \\ O_1(0,s) \\ B(X_b,Y_b) \end{aligned} \quad (2)$$

У системі координат $X_1O_1Y_1$ радіус фрези дорівнює відстані O_1A . Враховуючи цей параметр, можна сформулювати комплекс рівнянь для знаходження ординати точки B із урахуванням геометричних параметрів різального інструменту R_ϕ , внутрішнього радіуса оброблюваної муфти R_m та величини зміщення інструменту відносно осі оброблюваного отвору – s .

$$\begin{aligned} R_\phi^2 &= (X_b - 0)^2 + (Y_b - s)^2 = X_b^2 + Y_b^2 - 2Y_b \cdot s + s^2 \\ R_m^2 &= (X_b - 0)^2 + (Y_b - 0)^2 = X_b^2 + Y_b^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Отже,

$$R_\phi^2 = R_m^2 + s^2 - 2Y_b \cdot s, \quad (4)$$

звідки

$$Y_b = \frac{R_m^2 + s^2 - R_\phi^2}{2s}. \quad (5)$$

Для обидвох розглядуваних систем координат встановлено відповідність

$$\begin{aligned} Y_{1b} &= Y_b - s \\ Y_{1b} &= R_\phi \cdot \cos(\varphi), \end{aligned} \quad (6)$$

звідки

$$\varphi = \arccos\left(\frac{Y_b - s}{R_\phi}\right) = \arccos\left(\frac{R_m^2 - R_\phi^2 - s^2}{2 \cdot R_\phi \cdot s}\right). \quad (7)$$

У початковий момент часу t_0 зуб фрези перебуває у початковій точці A . Обертаючись з частотою n_ϕ (див. рис.3), цей зуб здійснює поворот на кут φ за час t_φ

$$t_\varphi = \frac{30 \cdot \varphi}{\pi \cdot n_\phi}. \quad (8)$$

За цей самий час оброблювана деталь здійснить поворот на кут γ

$$\gamma = t_\varphi \cdot \omega_\delta, \quad (9)$$

де $\omega_\delta = \frac{\pi \cdot n_\delta}{30}$;

звідки

$$\gamma = \frac{\varphi \cdot n_\delta}{n_\phi}. \quad (10)$$

Проектуючи геометрію утворюваного профілю на нормальне січення вздовж осі нарізваної різи, легко бачити, що граничною точкою, яка однозначно характеризує координату виходу інструменту із зачеплення з оброблюваною деталлю, є точка D . Координати цієї точки визначаємо за формулами

$$\begin{aligned} X_D &= R_m \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - (\alpha + \gamma)\right) \\ Y_D &= R_m \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - (\alpha + \gamma)\right) \end{aligned}, \quad (11)$$

де $\alpha = \arcsin\left(\frac{Y_b}{R_m}\right)$.

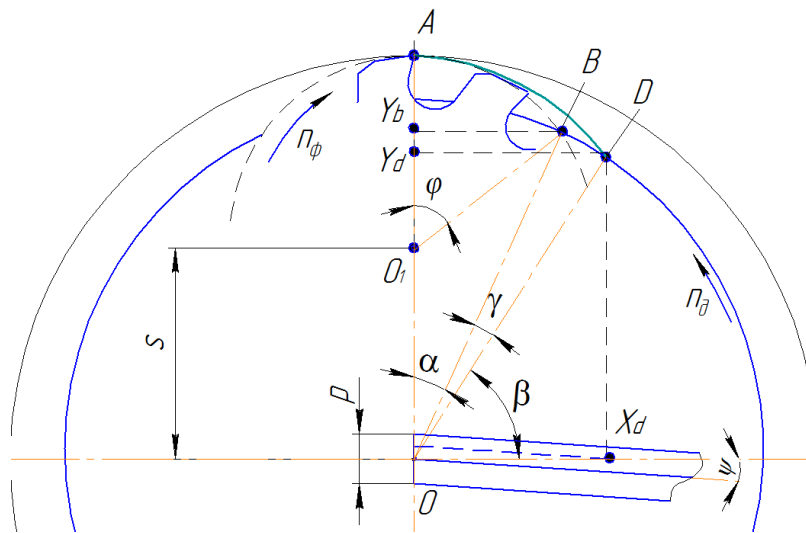


Рисунок 3. Дослідження умови не підрізуванн

Figure 3. The study conditions of no trimming thread profileя профілю різи

Геометрія різьбового конуса з'єднувальної муфти для елементів бурильних колон регламентована ГОСТом 28487-90 [9]. Аналіз геометричних параметрів різьбового конуса показав, що найбільш відповідальним місцем є східний діаметр меншої основи різьбового конуса, оскільки зі зменшенням діаметра муфти зростає кут підйому лінії різьбового профілю. Величину підйому ліній різьбового профілю на меншій основі різьбового профілю муфти розраховуємо за формулою

$$\phi = \arcsin\left(\frac{p}{\pi \cdot d_3}\right). \quad (12)$$

Геометричний профіль різи у процесі фрезерування не буде спотвореним лише у тому випадку, коли геометричні параметри фрези будуть розраховані залежно від геометричних параметрів муфти і виконуватиметься умова

$$X_D \cdot \operatorname{tg}(\phi) \leq \frac{p}{2}. \quad (13)$$

Наведені аналітичні залежності (5, 7, 10, 11, 12 та 13) описують вплив геометричних параметрів ріжучого інструменту на технологічну можливість забезпечення якості фрезерної обробки конічної різьбової поверхні.

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено, що величина кута підйому гвинтової лінії різьбового профілю конічної муфти бурової колони є змінним параметром і досягає свого максимуму у східній частині меншої основи різьбового конуса. Розміри фрези для обробки різьбового профілю перебувають у функціональній залежності від геометричних параметрів різьбового конуса. Обґрунтовано умову формування геометричного профілю різи залежно від розмірів різьбової фрези.

Conclusions. The result of the research is concluded that the magnitude of the elevation angle of spiral bevel profile threaded coupling drill string is a variable parameter and reaches its maximum in the downward part of the smaller foundations threaded cone. Dimensions mills for processing are threaded profile in the functional dependence of the geometrical parameters threaded cone. Reasonable terms forming geometric thread profile depending on the size of threaded cutters.

Список використаної літератури

1. Козаченко, Н.И. Анализ аварий с бурильными колоннами в организациях Министерства геологии Украинской ССР и пути их предупреждения [Текст] / Н.И. Козаченко, И.П. Пустовойтенко. Сер.: Техника и технология геологоразведочных работ; организация производства. – М.: ВИЭМС, 1972. – С.1–6.
2. Высокопрочные резьбы для бурильных труб [Текст] / Н.А. Дудля, И.Е. Данильченко, Г.Н. Викторов, Г.Н. Кириченко // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 80. – С. 185–190.
3. Канареев, Ф.Н. Механизм образования погрешностей внутренних резьб малых диаметров (М2 – М6) за счет деформации кручения метчика [Текст] / Ф.Н. Канареев, Т.В. Резинкина // Технология машиностроения: проблемы и перспективы. Материалы научно-технической конференции. – Севастополь, 2000. – С.25–28.
4. Канареев, Ф.М. Підвищення точності внутрішніх різьб (М3...М6) та продуктивності їх формоутворення в деталях з алюмінієвих сплавів [Текст] / Ф.М. Канареев, П.А. Новиков, О.О. Марченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – № 1(60). – С.14–20.
5. Старушко, А.А. Совершенствование технологии изготовления гаек с резьбой, формируемой пластическим деформированием: дис. ... кандидата технических наук: 05.03.05. [Текст] / А.А. Старушко. – Магнитогорск, 2006. – 144 с.
6. Люкшин, В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов [Текст] / В.С. Люкшин. – М.: Машиностроение, 1967. – 372 с.
7. Гречишников, В.А. Повышение виброустойчивости сборного резьбового инструмента при планетарном резьбообразовании внутренней резьбы [Текст] / В.А. Гречишников, Д.В. Косарев // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2007): Материалы III Международной научно-технической конференции. Том I. – Нальчик: Каб.-Балк. Ун-т, 2007. – С.56–60.
8. Косарев, Д.В. Повышение точности формообразования внутренних резьб фрезами с твердосплавными пластинами при планетарном движении инструмента: дис. ... кандидата технических наук: 05.02.07. [Текст] / Д.В. Косарев. – Москва, 2010. – 185 с.
9. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски: ГОСТ 28487-90. – М.: Стандартиформ, 2008. – 18 с.
10. Шанайда, В.В. Створення схем формоутворення внутрішніх різей на основі принципів структурно-векторного синтезу [Текст] / В.В. Шанайда // Збірник тез доповідей. наук. конф. ТНТУ МТФ «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті». – Тернопіль: ТНТУ (16 травня 2011 р.), 2011. – 134 с. – С.109–110.
11. Писаренко, В.В. Технологія оброблення робочої поверхні протезів колінних суглобів людини на верстатах з ЧПК: дис. ... кандидата технічних наук: 05.02.08 – Технологія машинобудування [Текст] / В.В. Писаренко. – Київ, 2013. – 204 с.

Отримано 25.01.2014