

РОЗРАХУНОК ГІПЕРБОЛІЧНОГО ПРОФІЛЮ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ РІЗЦЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ КІНЦІВ ТРУБ НАФТОГАЗОВОГО СОРТАМЕНТУ

О. Р. Онисько

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
e-mail: Onysko.Oleg@gmail.com*

Виготовлення різьбових кінців труб нафтогазового сортаменту здебільшого виконується токарними різьбовими різцями. Продуктивність такого виготовлення залежить від геометричних параметрів різця, у тому числі величини його переднього кута g . У статті йдеться про те, що відповідність отриманої різьби стандартам щодо параметрів точності залежить від величини переднього кута різця і діаметра труби на якій виготовлена різьба. Для отримання теоретично точного профілю, різьбу на думку автора слід виконувати різцем різальна кромка якого профільована по гіперболічній кривій. Подається аналітичний розрахунок вказаного профілю. Робиться висновок, що у разі дотримання вказаного розрахунку можна, збільшуючи значення переднього кута різця, отримувати задані відповідними стандартами параметри різьби.

Ключові слова: передній кут, різьбовий різець, гіпербола, різьба.

Актуальність проблеми. Різьбонарізні різці найширше використовуються у виробництві різьбових з'єднань. Особливе місце займають різці для виробництва різьбових поверхонь у трубах нафтового асортименту. Для з'єднання труб нафтового сортаменту використовують декілька основних різновидностей профілів різьб – трикутні, трапецієподібні, прямокутні. Похибки, що виникають в процесі нарізання різьб, викликають небажаний характер розподілу радіальних, поздовжніх та осьових напружень і, відповідно, деформацій у з'єднаннях [1]. Це явище, свою чергу, спричинює суттєве зниження зносостійкості та підвищує ймовірність руйнування елементів з'єднань. Масовий тип виробництва, що в основному має місце на підприємствах, які спеціалізуються на виробництві обсадних і насосно-компресорних труб, елементів бурових колон потребує застосування високопродуктивних інструментів. Однією із найвизначальніших характеристик продуктивності різців є їхня технологічна стійкість, яка функціонально залежить як від властивостей матеріалу інструмента, так і від його геометричних параметрів. Серед останніх вельми важливим є величина кута нахилу передньої поверхні [2]. Але, як відомо, вплив переднього кута поширюється не тіль-

ки на стійкість інструмента, але й на точність профілю різьби. Отже визначення функціональної залежності точності профілю різьби від величини переднього кута є актуальною проблемою.

Огляд публікацій. За діючим стандартом на різьбові різці [3] величина переднього кута не є варіативною, тобто задана як така, що дорівнює 0. На сучасних виробництвах, котрі виготовляють різьбові різці із твердосплавними механічно-закріпленими пластинами, що призначені для виготовлення різьб, які регламентуються міжнародними специфікаціями 7 API і 5B API [4] не існує класифікація своїх виробів за значенням їхнього переднього кута.

Точність різьбових поверхонь регламентується багатьма нормативними документами, серед яких чільне місце за кількістю займають міжнародні стандарти, у яких йдеться про вимоги щодо конструкції, розмірів, профілю різьбових з'єднань обсадних труб і елементів бурових колон. Стандартом [4] передбачені основні параметри і розміри приєднувальних труб з трапецієвидною та трикутною різьбою і муфт до них. На рис. 1 представлено ескіз профілю трикутної різьби із вказаного стандарту, цифри на рисунку означають: 3 – вісь різьби, 2 – лінія середнього діаметра різьби, 1 – лінія паралельна осі різьби.

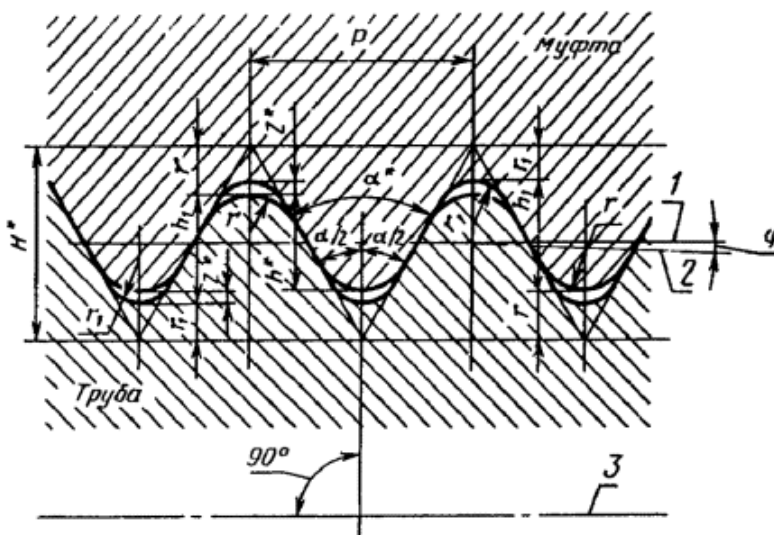


Рис. 1. Ескіз профілю трикутної різьби за ГОСТ 632-80 «Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия»

Параметри і граничні відхилення від номінальних розмірів різьби згідно із указаним стандартом представлені у табл. 1.

Крок різьби P вимірюється паралельно до осі різьби труби і муфти. Граничні відхилення величини радіусів r і r_1 подані тільки для проектування різьбового інструменту і контролю не підлягають.

Таблиця 1. Параметри і граничні відхилення від номінальних розмірів трикутної різьби за стандартом ГОСТ 632-80

Параметр різьби	норма
Крок різьби P	3,175 мм
Висота вихідного профілю H^*	2,750 мм
Висота профілю h_1	$1,810_{-0,1}^{+0,05}$ мм
Робоча висота профілю h^*	1,734 мм
Кут профілю α^*	60^0
Кут нахилу сторони профілю $\alpha/2$	$30^\circ \pm 1^\circ 15'$
Радіус заокруглення вершини профілю r	$0,508_{-0,045}^{+0,045}$ мм
Радіус заокруглення впадини профілю r_1	$0,432_{-0,045}^{+0,045}$ мм
Зазор z^*	0,076 мм
Кут нахилу f	$1^\circ 47' 24''$
Конусність $tg f$	1:16

У тому ж стандарті йдеться про вимоги до трапецієвидних різьб. На рис. 2 представлено ескіз профілю трапецієвидної різьби зі стандарту ГОСТ 632-80, цифри на рисунку означають: 1 – вісь різьби муфти ОТТМ і ОТТГ і раструбного кінця труби ТВО; 2 – лінія, паралельна до осі різьби муфти ОТТМ і ОТТГ і раструбного кінця труби ТВО; 3 – вісь різьби труби ОТТМ і ОТТГ і ніпельного кінця труби ТВО; 4 – лінія, паралельна до осі різьби труби ОТТМ і ОТТГ і ніпельного кінця труби ТВО.

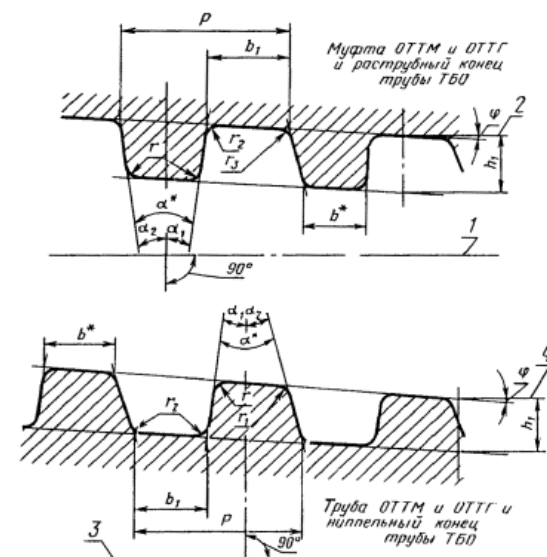


Рис. 2. Ескіз профілю трапецієвидної різьби за ГОСТ 632-80 «Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия»

Параметри і граничні відхилення від номінальних розмірів різьби згідно із указаним стандартом представлені у табл. 2.

Таблиця 2. Параметри і граничні відхилення від номінальних розмірів трапецієвидної різьби за стандартом ГОСТ 632-80

Параметр різьби	норма
Крок різьби P	5,08 мм
Висота профілю h_1	$1,60 \pm 0,03$ мм
Кут профілю a^*	13°
Кут нахилу сторони профілю a_1	$3^\circ \pm 1^\circ$ (виконання А) $\pm 1^\circ 30'$ (виконання Б)
Кут нахилу сторони профілю a_2	$10^\circ \pm 1^\circ$ (виконання А) $\pm 1^\circ 30'$ (виконання Б)
Ширина вершини профілю b^*	2,29 мм
Ширина впадини профілю b_1	$2,43+0,05$ мм
Радіус заокруглення профілю r	$0,20+0,05$ мм
Радіус заокруглення профілю r_1	$0,80+0,05$ мм
Радіус заокруглення профілю r_2	$0,20+0,05$ мм
Радіус заокруглення профілю r_3	$0,80+0,05$ мм
Кут нахилу f	$1^\circ 47' 24''$
Конусність tgf	1:16

Крок різьби P вимірюється паралельно до осі різьби труби і муфти. Граничні відхилення величини радіусів r і r_1 подані тільки для проектування різьбового інструменту і контролю не підлягають.

Стандартом [5] регламентуються конічні замкові різьби для бурових колон. На рис. 3 і у табл. 3 показані граничні відхилення зовнішньої (зліва) і внутрішньої (справа) різьб.

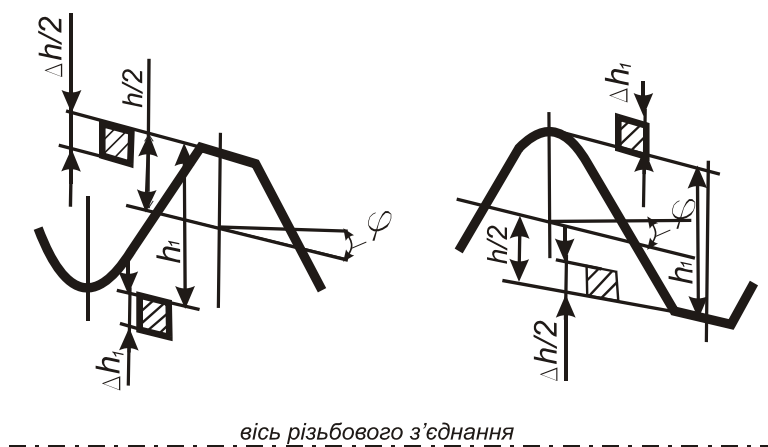


Рис. 3. Граничні відхилення висоти профілю замкової різьби

Таблиця 3. Граничні відхилення висоти профілю зовнішньої і внутрішньої замкової різьби

Крок різьби P	Граничні відхилення висоти профілю зовнішньої і внутрішньої різьби, мм	
	$Dh/2$	Dh_1
5,08	— 0,120	+ 0,080
6,35	— 0,180	+ 0,120

Примітка. Граничні відхилення, котрі вказані у таблиці є вихідними для проектування різьбо утворюючого інструмента і факультативним для виробів.

Отже, як видно із табл. 1, 3, допуски на висоту профілю у процентному відношенні щодо номіналу становлять значні величини – до 8%. Навіть для трапецієвидних різьб, що покликані забезпечувати герметичність з'єднань це співвідношення сягає майже 4%. У замкових різьбах з кроком 5,08 і формі профілю – I, що відповідає профілю V 0,040 за стандартом API 7 висота профілю h_1 становить 2,993 мм. Це значить, що допуск на відхилення – 0,080 становить 2,7% від номіналу. Причому вказані відхилення є вихідними для проектування різьбоутворюючих інструментів.

Постановка задачі. Поставлена ціль – отримання математичної залежності величини відхилення висоти профілю трикутної чи трапецієвидної різьби, яка виникає під час її виготовлення з допомогою різьбового різця від значення його переднього кута.

Виклад матеріалу дослідження. На рис. 4 показано ескіз обробки трапецієвидної канавки, що виконується токарним різцем, у якого передня площина виконана під кутом γ . Різальну кромку AK різця на рисунку подано у вигляді прямолінійного відрізка. Завдяки їй має бути виконано бічну сторону канавки, яка по суті є конічною поверхнею із твірною AD і віссю O . Тож з рисунка бачимо, що теоретична твірна конуса AD і утворююча його різальна кромка AK не лежать у одній площині. Дійсно, твірна AD розміщена у площині, яка проходить через вісь конуса O , а різальна кромка належить передній площині, яка не містить вісь конуса. Ця площина є паралельною до цієї осі. Якщо конус перетнути площиною, що є паралельною до його осі, то лінією перерізу цієї площини і конуса буде крива, яка має назву – гіпербола (див. рис.5). Отже, якщо передній кут γ різця відмінний від 0, то для відтворення теоретично правильної конічної поверхні, його різальна кромка має бути не прямолінійною, а у вигляді гіперболи. Оскільки точність трапецієвидних і трикутних різьб регламентується граничними відхиленням від висоти профілю, то слід розглянути відхилення гіперболи від твірної вздовж осі конуса.

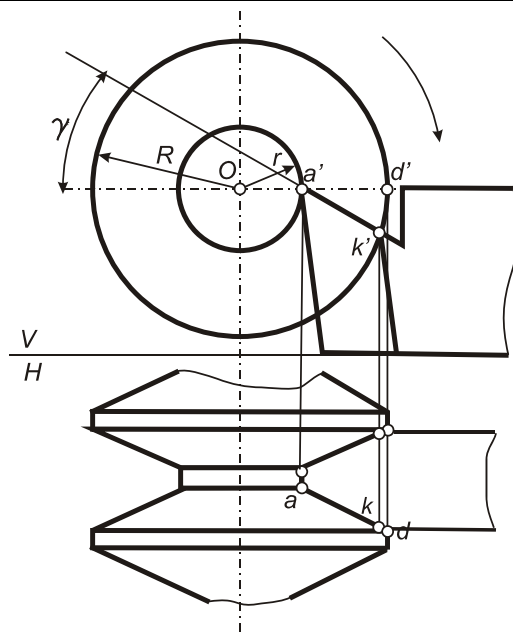


Рис. 4. Ескіз з обробки трапецієподібної канавки (γ – передній кут, R – зовнішній радіус, r – внутрішній радіус, a – горизонтальна проекція точки A , a' – вертикальна проекція точки A , k – горизонтальна проекція точки K , k' – вертикальна проекція точки K , d – горизонтальна проекція точки D , d' – вертикальна проекція точки D)

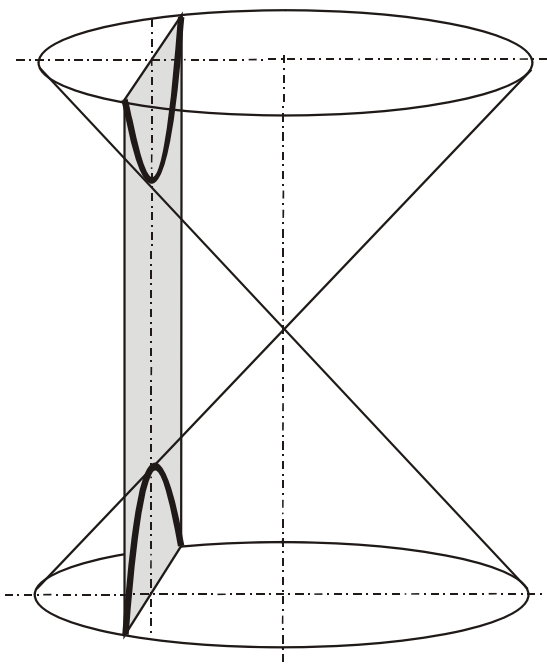


Рис. 5. Утворення гіперболи шляхом перерізу конуса і площини, яка є паралельною до його осі

На рис. 6 зображено графік гіперболи, вітки якої асимптотично наближаються до прямих, які перетинаються у точці O . У точках A_1 і A_2 розміщені вершини двох її віток. З графіка видно, що чим далі від вершини, тим ближче наближається гіпербола до відповідної асимптоти. Найбільше значення відхилення гіперболи від її асимптот у її вершинах. Оскільки обидві гілки є симетричними відносно осі Y , а вісь X є віссю симетрії кожної з гілок, то розрахунок величини відхилення гіперболи від асимптот можна проводити виключно в одному із квадрантів системи координат, наприклад в додатній частині осей Y і X .

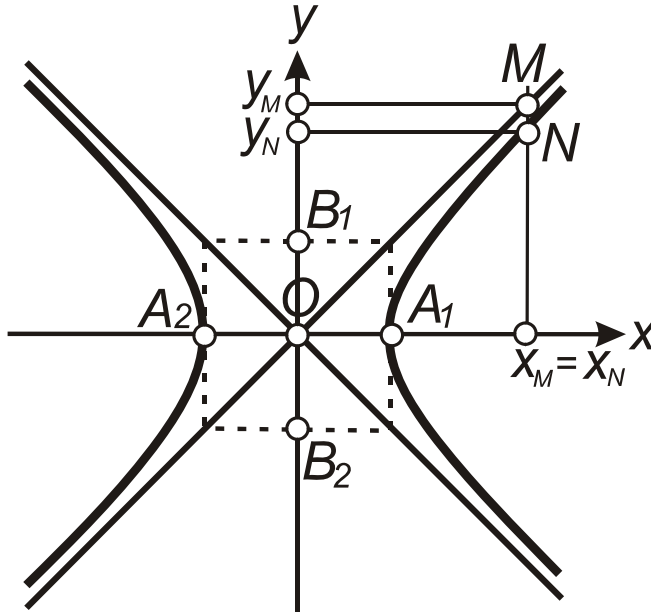


Рис. 6. Гіпербола

Отже виберемо на осі X довільну точку, яка буде координатою точок N і M . Позначимо цю точку $x_m = x_n$. Координати цих точок на осі Y очевидно не співпадатимуть (див. рис. 6). Якщо, довжину відрізка OA_1 позначити через a , довжину відрізка OB_1 позначити через b , рівняння асимптоти

$$y = \frac{b}{a}x, \quad (1)$$

а рівняння гіперболи

$$\frac{y^2}{b^2} = \frac{x^2}{a^2} - 1. \quad (2)$$

Із (1), (2) знаходимо [6]:

$$|MN| = \frac{ab}{x_n + \sqrt{x_n^2 - a^2}}. \quad (3)$$

Формула (3) визначає величину відхилення гіперболи від її асимптоти у залежності від відстані від вершини конуса уздовж його осі.

На рис. 7 побудовано відкоректований ескіз обробки конічної поверхні з віссю OX і твірною OP . На рисунку заштрихована область відповідає перерізу передньої площини, що задана слідом f_α , із зрізаним конусом, що визначається великим радіусом R , малим радіусом r та висотою заштрихованої області уздовж осі X . Інша площина – f_β проведена через вісь O конуса паралельно до передньої площини. Обидві вказані площини є паралельні до горизонтальної площини проєкцій H , яка містить осі X і Y . Таким чином у площині H маємо дійсний профіль конуса із половинним кутом β при вершині і дійсний профіль перерізу цього конуса і передньої площини – гіперболи. Гіпербола асимптотично наближається до прямої OP – твірної конуса. Довільно вибрані точки M і N мають спільну координату x_M . Вершина A_1 гіперболи віддалена від вершини конуса на відстань a вздовж осі X , а точка B_1 – на відстань b вздовж осі Y .

На профільній площині проєкцій W отримано профільну проєкцію відрізка $OA - O''A_1''$. Оскільки цей відрізок OA лежить у площині паралельній до площини W , то значить його проєкція $O''A_1''$ є його дійсною величиною і дійсним також є значення кута β . Отже, із побудови на площині W можемо визначити величину k :

$$k = r \cdot \tan \beta. \quad (4)$$

Оскільки величина k дорівнює довжині відрізка $O'A_1'$, то із трикутника $O'A_1' a'$ можемо виразити величину k у інший спосіб:

$$k = r \cdot \sin \gamma. \quad (5)$$

Із рівнянь (4) і (5) отримаємо залежність величини a від значень кутів β та γ і радіуса r :

$$a = \frac{r \cdot \sin \gamma}{\tan \beta}. \quad (6)$$

Із трикутника A_1OB_1 у горизонтальній площині проєкцій H отримаємо співвідношення:

$$b = a \cdot \tan \beta. \quad (7)$$

Підставимо у рівняння (7) вираз (6), після скорочення отримаємо формулу:

$$b = r \cdot \sin \gamma. \quad (8)$$

Отже, використовуючи формули (6) і (8), знайдемо залежність добутку ab від значень кутів β та γ і радіуса r :

$$ab = \frac{(r \cdot \sin \gamma)^2}{\tan \beta}. \quad (9)$$

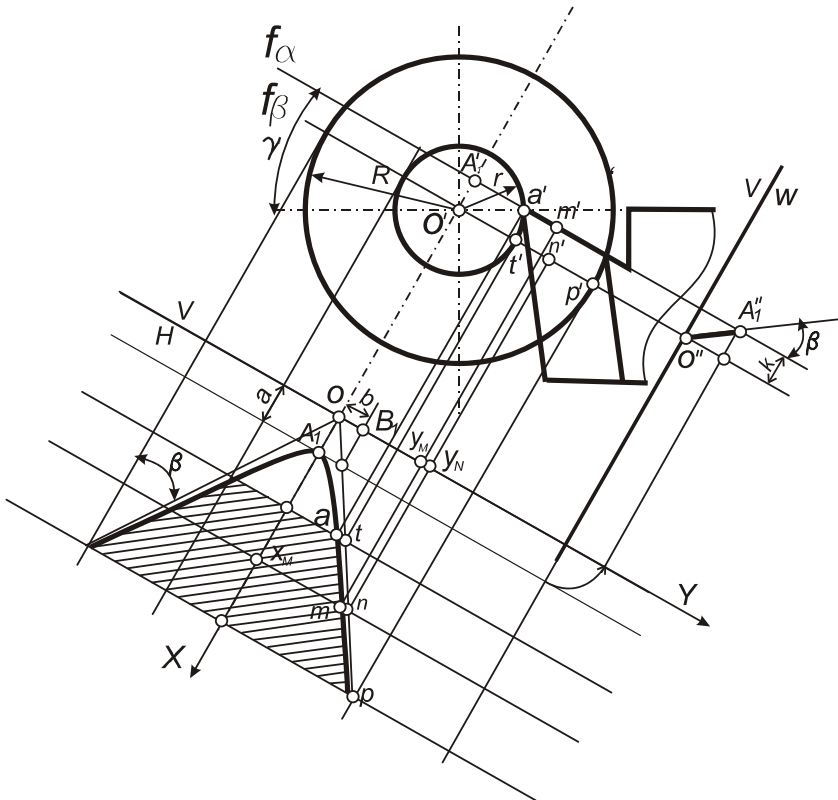


Рис. 7. Отримання форми гіперболи у результаті перетину передньої площини з конічною поверхнею

Виразимо величину кута β , використовуючи для цього трикутник $Ox_m n$ на горизонтальній площині проєкції H ,

$$\tan \beta = \left| \frac{x_m n}{x_m O} \right|. \quad (10)$$

Оскільки точка N узята як довільна точки конуса, а точка M – відповідна їй точка гіперболи, то скориставшись поняттям довільної i -тої точки, перепозначимо її координати як x_i по осі X і r_i по осі Y . Таким чином, формула асимптоти виглядатиме так:

$$x_i = \frac{r_i}{\tan \beta}. \quad (11)$$

У формулі (3) зробимо заміну позначень:

$$x_n = x_i, \quad |MN| = \Delta_i.$$

Після підстановки у формулу (3) виразів (6), (9), (11) отримаємо наступне рівняння:

$$\Delta_i = \frac{(r \cdot \sin \gamma)^2 / \tan \beta}{\frac{r_i}{\tan \beta} + \sqrt{\left(\frac{r_i}{\tan \beta}\right)^2 - \left(\frac{r \cdot \sin \gamma}{\tan \beta}\right)^2}}. \quad (12)$$

Після скорочень отримаємо наступну формулу:

$$\Delta_i = \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{r_i + \sqrt{r_i^2 - (r \cdot \sin \gamma)^2}}. \quad (13)$$

Отримане рівняння (13) вказує на функціональну залежність величини зміщення гіперболи у довільній точці Δ_i від значення переднього кута γ і радіуса конуса у довільній точці r_i і малого радіуса r зрізаного конуса. Користуючись рис. 1 і 2 бачимо, що згідно зі стандартами [5], [6] для зовнішньої різьби її внутрішній радіус становить різницю між зовнішнім її радіусом і висотою профіля h_l . Отже внутрішній діаметр різьби $d_1=2r$, а зовнішній – $d_2=2r+2h_l$. Таким чином величина r_i це довільна величина у діапазоні між $\frac{d_1}{2}$ і $\frac{d_2}{2}$.

З рівняння (13) випливає, що при $\gamma=0$, зміщення $\Delta_i=0$, тобто гіпербола відсутня.

Найбільше відхилення гіперболи від твірної конуса це відстань між точками a і t . Точка T належить поверхні конуса і одночасно лежить у площині меншого торця з радіусом r . Підкладаючи у формулу (3) вирази (6), (8), (9) і $r_i=r$, отримаємо такий вираз:

$$\Delta_{\max} = \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{\tan \beta \left(\frac{r}{\tan \beta} + \sqrt{\left(\frac{r}{\tan \beta} \right)^2 (1 - \sin^2 \gamma)} \right)}. \quad (14)$$

Після скорочень формула (14) набуде такого вигляду:

$$\Delta_{\max} = \frac{r^2 \sin^2 \gamma}{\tan \beta \left(\frac{r}{\tan \beta} + \frac{r}{\tan \beta} \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} \right)} = \frac{r \cdot \sin^2 \gamma}{(1 + \cos \gamma)}. \quad (15)$$

Таким чином, максимальне відхилення гіперболи від твірної конуса функціонально залежить від значення переднього кута γ і прямо пропорційно залежить від величини внутрішнього діаметра d_2 .

Апробація. Застосуємо формулу (15) для розрахунку максимального відхилення, на прикладі короткого з'єднання з трикутною різьбою труби з умовним діаметром 194 і відповідним внутрішнім діаметром різьби $d_2=185,891$ мм [5]. Виберемо значення переднього кута. Наприклад при $\gamma=8^\circ$ зміщення $\Delta_{\max}=0,93$ мм. Для труби з умовним діаметром 340 мм внутрішній діаметр різьби $d_2=331, 535$ мм [5]. При виборі переднього кута $\gamma=8^\circ$ зміщення $\Delta_{\max}=1,6$ мм. Якщо передній кут $\gamma=4^\circ$ то для труби з умовним діаметром 340 мм зміщення $\Delta_{\max} =$

$=0,41$ мм, при $\gamma = 2^\circ$ зміщення $\Delta_{\max} = 0,094$ мм, при $\gamma = 1^\circ$ зміщення $\Delta_{\max} = 0,024$ мм.

Висновки. Отримані дані вказують на наступне:

- наявність переднього кута γ різьбового різця вимагає корекції форми різальної кромки різця:

- величина корекції точок профіля різальної кромки Δ функціонально зростає зі збільшенням величини переднього кута і діаметра різби;

- максимальне значення корекції прямо пропорційне значенню внутрішнього діаметру різби;

- величина корекції точок профілю різальної кромки при малих значеннях переднього кута співвимірна із допуском на відхилення від висоти профіля різби.

- зі збільшенням кута γ величина необхідної корекції точок профіля різальної кромки значно зростає і сягає величини співмірної із висотою профіля різби.

Надалі важливо дослідити залежність точності різьбової поверхні від сумарного впливу швидкості різання, величини подачі, діаметру різби та значень передніх кутів у всіх точках різальної кромки.

Література

1. Билык С.Ф. Герметичность и прочность конических резбовых соединений труб нефтяного сортамента [Текст] / С.Ф. Билык. – М.: Недра, 1981 – 237 с.
2. Фомин Е.В. Повышение стойкости и точности резбовых резцов на основе моделирования процесса резбонарезания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01: защищена 22.03.07: утв. 24.09.07 / Фомин Евгений Владимирович. – М., 2007. – 206 с. – Библиогр.: с. 194-202. – 003653715.
3. ГОСТ 18885-73. Межгосударственный стандарт. Резцы токарные резбовые с пластинами из твердого сплава. Конструкция и размер. [Текст]. Утвержден и внесен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 08.06.73 №1429. Резцы. Конструкция и размеры. Часть 1. – М.: ИПК. Издательство стандартов. 2003. – С. 140-148.
4. ГОСТ 632–80. Межгосударственный стандарт. Трубы обсадные и муфты к ним [Текст]. Разработан и внесен Министерством черной металлургии СССР, нефтяной промышленности СССР. Утвержден и внесен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 05.06.80 № 2578. Взамен ГОСТ 632-64. Издание (апрель 2010 г.) с Изменением № 1, №2, №3, №4 утвержденными в октябре

- 1082 г., январе 1986 г., январе 1988 г., мае 1989 г. июле 1992 г. (ИУС 2-83, 5-86, 4-88,8-89). – М.: Стандартиформ, 2010. – 75 с.
5. ГОСТ 28487–90. Межгосударственный стандарт. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски [Текст]. Разработан и внесен Министерством нефтяной и газовой промышленности СССР, Государственным комитетом СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.03.90 № 614. Введен впервые. Издание с изменением №1, утвержденным в июле 1992 г. (ИУС 10-92). – М.: ФГУП «Стандартиформ», 2006. – 10 с.
6. Привалов И.И. Аналитическая геометрия [Текст] / И.И. Привалов. – М. Наука: 2007. – 394 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 3.10.2014 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Мойсишиним В.М.
к.т.н., доцентом Іващенко В.Т.*

THE CALCULATION OF HYPERBOLIC PROFILE CUTTING EDGE CUTTER FOR MAKING THREADED END OF PIPE OIL GRADES

O. R. Onysko

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, st. Carpats'ka, 15;
e-mail: Onysko.Oleg@gmail.com*

Manufacture of threaded end of pipe oil grades mostly performed by lath threading machin-tools. The performance of this production depends on the geometrical parameters of the cutter, including magnitude its front angle α . The article states that correspondence received thread standards regarding the parameters of the accuracy depends on the size of the front angle of the cutter and the diameter of the tube on which made carving. According to the author, it is necessary to receive cutting edge on a hyperbolic curve for more precise carving theoretically profile. The article is an analytical calculation of the specified profile. It is concluded that in the case of the specified calculation compliance the value of the front corner can be increased while the respective standards options thread are kept.

Key words: *front angle, threading cutter, hyperbole, threading.*