**Токарчук О.А.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Tokarchuk O.**

PhD, Associate Professor

**Vinnytsia National Agrarian
University****УДК 621.7.043****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-12**

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ І РОЗМІРІВ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ БЕЗСТРУЖКОВИХ МІТЧИКІВ НА ПРОЦЕС ВИДАВЛЮВАННЯ РІЗЬБИ

Метод виготовлення внутрішніх різьб безстружковими мітчиками включає взаємне обкочування інструмента та заготовки як при виготовленні зовнішніх різьбових профілів, тому його неможна включати до методу накатування. В силу специфічних особливостей процесу видавлювання різьби, вивчення експлуатаційних характеристик різьб, виготовлених безстружковими мітчиками, представляє практичний інтерес.

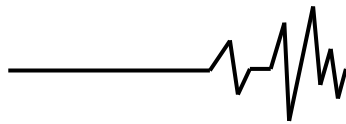
Видавлювання різьби відбувається при температурі, яка не досягає температури рекристалізації металу заготовки, однак, змінюються фізико-механічні властивості поверхневого шару металу різьбового профілю.

В результаті холодного витиснення різьбового профілю відбувається процес плинності металу у різьбовому контурі. Витиснення внутрішніх різьб безстружковими мітчиками – це метод пластичного деформування металу, при якому в отвір заготовки, який має діаметр, рівний приблизно середньому діаметру різьби, загвинчується спеціальний стержень-мітчик з профілем необхідної різі. Під дією крутного моменту вершини витків конічної забірної частини мітчика проникають у поверхню отвору заготовки, витиснений метал переміщується в радіальному напрямку, поступово збільшуючи висоту різьбового профілю.

Суттєвий вплив на процес видавлювання різьби має фактична геометрія вершин контуру поперечного перетину інструмента. В залежності від співвідношення площин дотику інструменту та заготовки, в залежності від допустимої величини затилування найбільший крутний момент спостерігається у шестиграних мітчиках, а - найменший у трьохгранных мітчиків.

В залежності від прийнятої величини затилування, співвідношення між довжинами та площами контактуючих ділянок, а відповідно і співвідношення між величинами крутних моментів для мітчиків з різним числом граней також змінюється. Слід відмітити, що, крім величини крутного моменту, другим параметром, що характеризує процес видавлювання різьби, є стійкість мітчиків, яка на пряму не пов'язана з величиною крутного моменту, то оптимальне число граней становить $n = 3$. Якщо оптимальне число граней одночасно буде задовольняти два критерії (мінімальний крутний момент і максимальна стійкість інструмента), то оптимальне число граней визначається в конкретному випадку експериментально.

Ключові слова: різьба, мітчик, число граней, внутрішня різьба, зовнішня різьба, накатування.



Вступ. Продуктивність праці при виготовленні різбових отворів машинним способом визначається, в основному, розмірною стійкістю застосованого різбоутворюючого інструменту, яка, в свою чергу, залежить від конструкції і геометричних параметрів робочої частини інструменту.

Основними геометричними параметрами робочої частини безстружкових мітчиків є:

- форма і розміри поперечного перерізу,
- форма і розміри забірної частини,
- розміри зовнішнього середнього і внутрішнього діаметрів,
- довжина калібруючої частини,
- величина зворотної конусності на калібруючій частині.

До основних технологічних факторів, що впливають на розмірну стійкість безстружкових мітчиків, відносяться: діаметр вихідного отвору, склад застосовуваної мастильно-охолоджуючої рідини (МОР), швидкість видавлювання різби та ін.

Мета. Оптимізація конструкції і геометричних параметрів безстружкових мітчиків, а також технологічних факторів, що впливають на міцність мітчиків та силові параметри процесу виготовлення різбових отворів в нержавіючих сталях, а також провести

теоретично-аналітичні дослідження, які описуються нижче.

Огляд літературних джерел і постановка проблеми. В даний час запропоновано декілька форм поперечних перерізів мітчиків [1]: з плоскими лисками (Рис.1.а) і заокругленими краями; зі зрізаними по колу вершинами і увігнутими сторонами, утвореними радіусом R (Рис. 1.б); у вигляді правильного трикутника, сторони якого виконані у вигляді дуг великого радіуса, завдяки чому контур має три точки 1 (Рис. 1.в) з повним профілем різби на її номінальному зовнішньому діаметрі і три проміжні точки 2 на внутрішньому; з повним профілем різби по всьому периметру перерізу, що має форму правильного багатогранника з округленими гранями (Рис. 1.г); з виступаючими ділянками 1, утвореними кривою одержаною від ексцентрикового кулачка, і ділянок 2, є дугами окружності (Рис. 1. д); з ділянками 1, виконаними у формі архімедової спіралі і ділянками 2 радіусної форми (Рис. 1.е); у вигляді неправильного багатокутника з округленими вершинами і поздовжньою канавкою для мащення (Рис. 1. ж); з трьома канавками 1 для мащення (Рис. 1. з); з отворами 2, відгалуженими від центрального каналу 1 для мащення (Рис. 1. і).

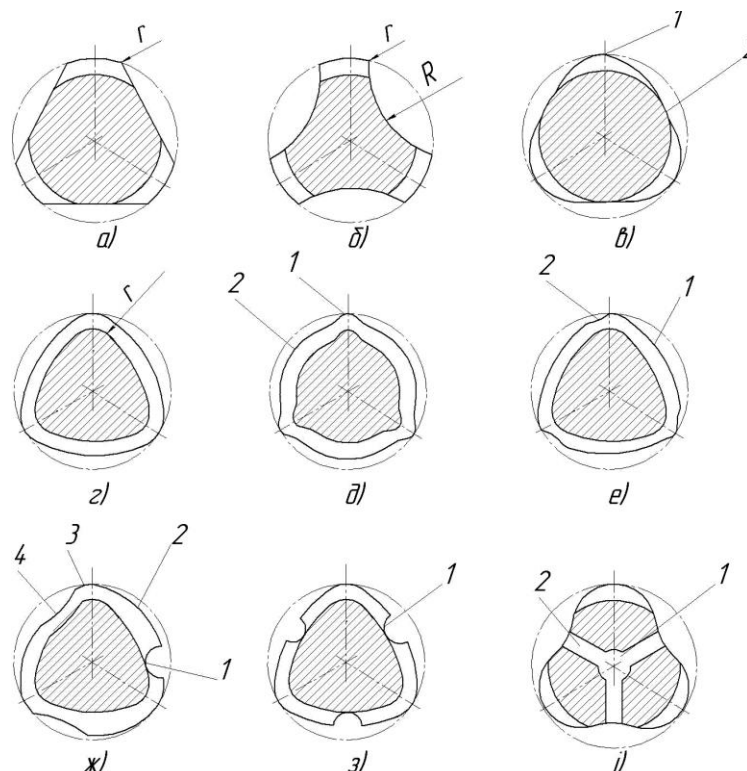
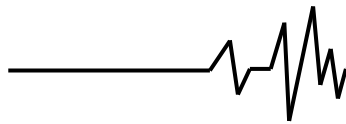


Рис. 1. Форми поперечних перерізів безстружкових мітчиків:

а, б, в – симетричні з повним профілем різби тільки на робочих виступах (Чехія);
г, д, е – симетричні з повним профілем різби по всьому периметру (Німеччина);
ж, з, і – несиметричні з канавками для мащення (Японія)



Огляд перерахованих форм поперечних перерізів дозволяє класифікувати їх по симетрії контуру (симетричний чи не симетричний) і за наявності на контурі перерізу різьби повного профілю (по всьому периметру або тільки на окремих його ділянках). Аналіз літературних даних показує, що найбільше поширення отримав симетричний контур з повною різьбою по всьому периметру (Рис. 1. г, д, з)

Однак, на практиці вибрати оптимальну форму та розміри зазначеного перерізу за літературними даними не представляється можливим. Так аналіз досліджень [1, 2, 3] показує, що оптимізації фактично підлягала не сама геометрія вершин, що знаходяться в безпосередньому контакті з матеріалом гайки, а величина затилування за профілем різьби, вимірювана в середині бічної (не робочої) поверхні мітчиків. Однак, геометрія вершин залежить не тільки від величини затилування і форми кулачка, а і закладеної в конструкції різьбошліфувального верстата а також від радіуса шліфувального круга, яким проводиться остаточне профілювання контуру поперечного перерізу робочої частини інструмента.

Викладення основного матеріалу.

Фактична геометрія ділянок вершин контуру поперечного перерізу безстружкових мітчиків, безпосередньо з матеріалом гайки,

має суттєвий вплив на процес видавлювання різьби і з цієї причини повинна бути оптимізована. Для розрахунку і побудови фактичної геометрії робочих ділянок вершин інструменту необхідно мати параметричні рівняння, які враховували б дійсну схему утворення контуру поперечного перерізу безстружкових мітчиків.

Для отримання рівнянь контурної кривої поперечного перерізу мітчика використаємо метод огиначий. Закон зміни відстані між центрами шліфувального круга і заготовки мітчика запишемо в загальному вигляді: $L = \varphi(\omega_m)$, де ω_m – кут повороту заготовки мітчика. Представимо, що вісь заготовки співпадає з центром O в нерухомій системі координат X_1, O, Y_1 , (Рис. 2.). Тоді координати центру шліфувального круга, довільним чином розташованого в вказаній системі, дорівнюватимуть:

$$X_1 = L(\omega_m), \dots Y_1 = H. \quad (1)$$

У тій же системі координат для точки А, розташованої на периферії кола, отримаємо:

$$\begin{cases} X_1 = R_{шк} \cos \beta + L(\omega_m); \\ Y_1 = R_{шк} \sin \beta + H. \end{cases} \quad (2)$$

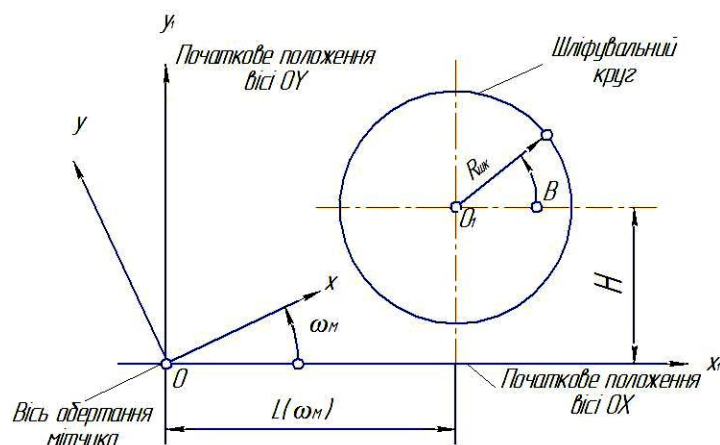


Рис. 2. Схема для розрахунку профілю поперечного перерізу безстружкових мітчиків

В системі координат XOY , жорстко зв'язаних з обертаючою заготовкою мітчика, координати точки А будуть рівні:

$$\begin{cases} X = R_{шк} \cos(\beta - \omega_m) + L(\omega_m) \cos \omega_m + H \sin \omega_m \\ Y = R_{шк} \sin(\beta - \omega_m) - L(\omega_m) \sin \omega_m + H \cos \omega_m \end{cases} \quad (3)$$

Опис кривих параметричними рівняннями $X = x(\omega_m, \beta)$, $Y = y(\omega_m, \beta)$, (β – виділяє з сімейства певну криву, а ω_m – певну точку на

кривій), координати x, y характерній точці можуть бути знайдені з системи:

$$\begin{cases} X = x(\omega_m, \beta); \\ Y = y(\omega_m, \beta); \end{cases} \left| \frac{dx}{d\beta} \frac{dy}{d\beta} \right| = 0. \quad (4)$$

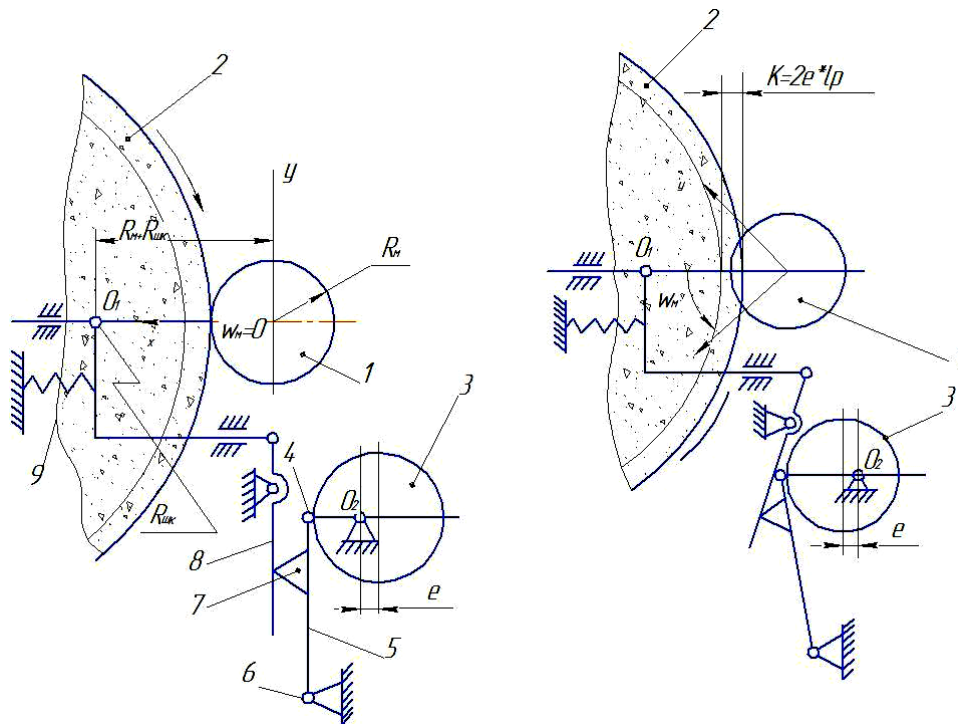
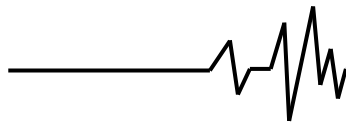


Рис. 3. Схема утворення контуру поперечного перерізу безстружкового мітчика на верстатах 5822 і 5822М

В системі (4) необхідно виразити один параметр (β) через інший (ω_m). Для цього попередньо знайдемо значення похідних:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{d\beta} &= -R_{шк} \sin(\beta - \omega_m); \quad \frac{dy}{d\beta} = R_{шк} \cos(\beta - \omega_m); \\ \frac{dx}{d\omega_m} &= R_{шк}(\beta - \omega_m) + \frac{dL}{d\omega_m} \cos \omega_m - L(\omega_m) \sin \omega_m + H \cos \omega_m; \\ \frac{dy}{d\omega_m} &= -R_{шк} \cos(\beta - \omega_m) - \frac{dL}{d\omega_m} \sin \omega_m - L(\omega_m) \cos \omega_m - H \sin \omega_m. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Підставляючи значення похідних в систему (4) отримуємо:

$$\left(\frac{dL}{d\omega_m} - H \right) \cos \beta - L(\omega_m) \sin \beta = 0.$$

Звідки

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{dL}{d\omega_m} - H}{L(\omega_m)},$$

або

$$\left. \begin{aligned} x &= R_{шк} \cos(\beta - \omega_m) + L(\omega_m) \cos \omega_m + H \sin \omega_m \\ y &= R_{шк} \sin(\beta - \omega_m) - L(\omega_m) \sin \omega_m + H \cos \omega_m; \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{\frac{dL}{d\omega_m} - H}{L(\omega_m)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

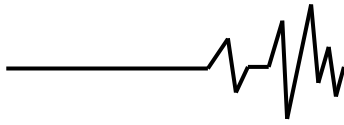
Таким чином, рівняння (6) є параметричним рівнянням контурної кривої поперечного перерізу мітчика. З аналізу рівнянь

випливає, що форма перетину залежить від закону зміни відстані між центром шліфувального круга і віссю мітчика, а також від радіуса шліфувального круга $R_{шк}$. Отже, в кожному конкретному випадку, знаючи залежність $L(\omega_m)$ і радіус кола $R_{шк}$, можна визначити фактичне рівняння контурної кривої поперечного перерізу мітчика.

В інструментальному виробництві найбільш поширені різьбошліфувальні верстати, рух затилування у яких створюється поперечним зворотно-поступальним переміщенням шліфувального круга (верстати 5822, 5822М і 5К822В). Тому більш детально зупинимось на аналізі форм перетинів мітчиків, виготовлених на верстатах зазначених моделей, у яких переміщення шліфувальної балки, а разом з нею і шліфувального круга в напрямку, перпендикулярному до осі заготовки мітчика, відбувається по напрямних кочення.

Для визначення залежності, що зв'язує обертання кулачка затилування з обертанням заготовки мітчика, звернемося до схеми утворення профілю поперечного перерізу безстружкового мітчика (Рис. 3).

У вихідному положенні (Рис. 3) відстань $O O_1$ між віссю заготовки мітчика 1 і центром шліфувального круга 2 дорівнює сумі радіусів мітчика R_M і шліфувального круга $R_{шк}$ ($O O_1 = R_M + R_{шк}$). При повороті заготовки на деякий кут ω_m , кулачок затилування 3 повернеться на кут $\omega_k = n \cdot \omega_m$, де n – число



граней мітчика. При обертанні кулачка затилювання 3 через ролик 4, вільно обертається на осі, повертається важіль 5, відносно опори 6. Важіль 5 через упор повзунка 7, який зв'язаний з важелем 8, переміщуючи шліфувальну бабку з кругом 2. Для зворотного відводу шліфувальної бабки служить пружина 9. У результаті відбудеться врізання шліфувального круга в заготовку на деяку величину ΔL , залежну від кривої, по якій спрофільовано кулачок затилювання, і від передавального відношення i_p важеля механізму затилювання верстату. Отже, для знаходження величини ΔL необхідно знати форму кулачка затилювання, визначальну закону руху штовхача, і прийняти, що в деякому масштабі i_p даний закон руху передається шліфувальному кругу. Так, для ексцентрикового кулачка (Рис. 6 а), широко застосовується при затилювання безстружечних мітчиків, шлях штовхача $\Delta L = e (1 - \cos \omega_k)$, де e – ексцентриситет кулачка. Шліфувальний круг при цьому отримує переміщення $\Delta L = i_p e (1 - \cos \omega_k)$.

При повороті заготовки мітчика на кут $\omega_m = 360^\circ / n$, (n – число граней мітчика), врізання кола досягає максимальної величини K (величина затилювання), що дорівнює подвоєному ексцентриситету e , помноженому на передавальне відношення i_p важільної системи, тобто $K = 2e \cdot i_p$ (Рис. 3). Остаточне формування профілю закінчується при повороті заготовки на 360° . За цей час кулачок повертається на $(n \cdot 360^\circ)$. Так як величина затилювання $K = 2e \cdot i_p$, то $e \cdot i_p = K/2$. Звідси:

$$\Delta L = \frac{K}{2} (1 - \cos \omega_k). \quad (7)$$

В загальному випадку кути повороту мітчика і кулачка визначені залежністю $\omega_k = n \cdot \omega_m$. Після підстановки цієї залежності в рівняння (7) отримуємо, що:

$$\Delta L = \frac{K}{2} (1 - \cos n \omega_m). \quad (8)$$

У розглянутих різьбошліфувальних верстатів центр обертання кола і вісь заготовки мітчика в процесі затилювання завжди розташовані в горизонтальній площині, паралельній напрямку переміщення шліфувальної бабки, тобто $H = 0$ (Рис. 2.). З урахуванням цього параметричні рівняння (6) можна записати в наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_{шк} \cos(\beta - \omega_m) + L(\omega_m) \cos \omega_m; \\ y &= R_{шк} \sin(\beta - \omega_m) - L(\omega_m) \sin \omega_m; \\ \frac{dL}{d\omega_m} &= \frac{dL}{L(\omega_m)}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При $L(\omega_m) = R_{шк} + R_m - \Delta L$ отримуємо остаточно параметричні рівняння контурної кривої поперечного перерізу мітчиків, затилюванні на різьбошліфувальних верстатах зі зворотно-поступальним рухом шліфувального круга, коли в якості кулачка затилювання застосовується ексцентрик:

$$\left. \begin{aligned} x &= R_{шк} \cos(\beta - \omega_m) + \left[R_{шк} + R_m - \frac{K}{2} (1 - \cos \omega_m) \right] \cos \omega_m; \\ y &= R_{шк} \sin(\beta - \omega_m) - \left[R_{шк} + R_m - \frac{K}{2} (1 - \cos \omega_m) \right] \sin \omega_m; \\ \frac{dL}{d\omega_m} &= \frac{-K n \sin n \omega_m}{2R_{шк} + 2R_m - K + K \cos n \omega_m}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

У рівняннях 10; кут β визначає положення точки дотику шліфувального круга із заготовкою мітчика (Рис. 4). При повороті заготовки на деякий кут ω_m точки A розташовується вище або нижче лінії центрів, і в системі координат $ХОУ$ її положення визначається кутом β і координатою $L(\omega_m)$. Тільки при значеннях кута ω_m , складових 0° , $360^\circ/2n$, $360^\circ/n$ і т.д., коли кут β стає рівним 180° , точка A розташовується на лінії центрів. Величина радіусу в точках відповідних куту ω_m , рівному 0° , $360^\circ/n$, $720^\circ/n$ і т.д. приймає максимальне значення, рівне R_m , а в точках, де ω_m складає $360^\circ/2n$, $360^\circ/n$, $540^\circ/n$ і т.д., - мінімальне, рівне $R_m - K$. Рівняння (10) дозволяє розглянути контур перетину мітчиків як геометричну суму точок і вибрати оптимальні значення його параметрів.

Використовуючи формулу для знаходження радіуса кривизни кривої, заданої в параметричній формі, визначимо вираз для радіуса, кривизни в точках перетину мітчика, найбільш віддалених від осі, тобто. в точках, що відповідають значенням кута ω_m , рівним 0° , $360^\circ/n$, $720^\circ/n$ і т.д.:

$$R = \frac{(x'^2 + y'^2)}{\left| \begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix} \right|}. \quad (11)$$

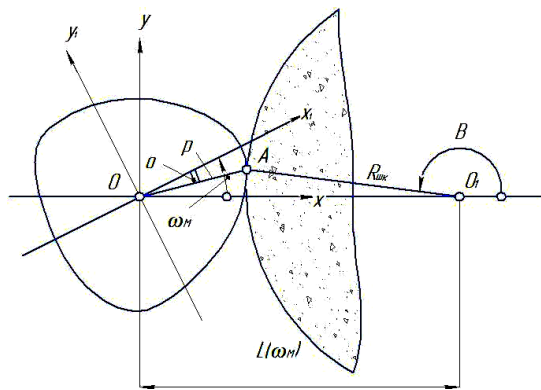
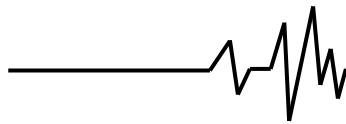


Рис. 4. Визначення положення точки дотику кола з заготовкою мітчика в процесі затилування по зовнішньому діаметру

Підставляючи значення похідних при $\omega_m = 0$ в формулу (11), отримуємо:

$$R_{сп. \min} = \frac{(2R_{шк} + 2R_m)^2 - 2R_{шк} [2R_{шк} + 2R_m - K + (1+n^2)K]}{2[2R_{шк} + 2R_m - K + (1+n^2)K]} \quad (12)$$

З виразу (12) отримуємо:

$$K = \frac{2R_m (R_{шк} + R_m)}{n^2 R_{шк}} \quad (13)$$

радіус кривизни перетворюється в нуль.

При $K < \frac{2R_m (R_{шк} + R_m)}{n^2 R_{шк}}$ фігурна крива не має ні

зламів, ні петель.

Форми поперечних перерізів і траєкторій точок дотику шліфувального круга із заготовкою мітчика, розраховані за рівняннями (10) для різних величин затилування і числа граней приведені на (Рис. 5).

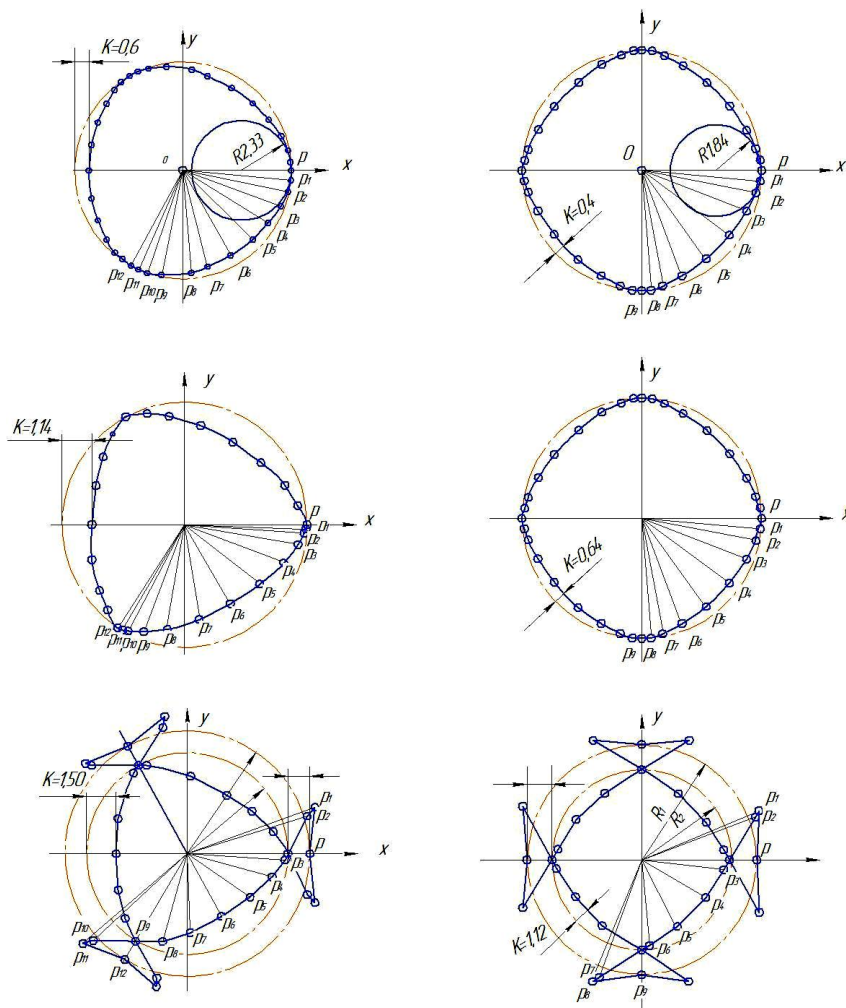
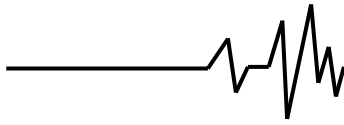


Рис. 5. Форми поперечних перерізів трьох- і чотиригранних мітчиків

Діаметр шліфувального круга ($D_{шк}$) приймався рівним 400 мм, а діаметр мітчика $d_m = 10$ мм. Значення координат x, y вираховували

через кожні 10° кута повороту мітчиків і потім в збільшеному масштабі наносили на креслення. Отримані точки з'єднували прямими лініями.



Для кожного числа граней n (3, 4 і 6) було прийнято по три різних величини затилування, які вибирали так, щоб одна з них відповідала максимальній (критичній) при якій радіуси кривизни на робочих виступах, розраховані за формулою (12) стають рівними нулю. Значення двох інших величин затилування брали одне більше, інше менше критичного.

Для трьох – і чотиригранних перетинів, показаних на рис. 5, при величині затилування K , що не перевищує максимальну допустиму, ділянки перетинів, найбільш віддалені від центру, тобто робочі вершини, мають певний радіус кривизни, величина якого визначається за формулою (12). Величина і розташування поточних радіусів, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 і т.д. характеризують траєкторію точки дотику круга із заготовкою мітчика в процесі її повороту при шліфуванні. На профілях перерізів мітчиків, коли величини затилування досягають максимально допустимих значень, радіуси кривизни на робочих виступах стають рівними нулю і перетини представляють правильні багатокутники з опуклими сторонами і гострими (не закругленими) вершинами. Точки дотику круга із заготовкою при цьому найбільш щільно групуються при вершинах перетинів (Рис. 5.). Якщо величини затилування перевищують гранично допустимі, то при вершинах багатокутників утворюються своєрідні петлі (Рис. 5) зображені в збільшеному в порівнянні з основним контуром масштабі, в результаті чого відбувається зрізання з вершин деякого шару металу Δ . Причому початкові точки дотику

розташовуються вище осі X . Перетини також є правильними багатокутниками, але з менш опуклими сторонами і зменшеним зовнішнім діаметром. Радіуси кривизни при вершинах рівні нулю.

Таким чином, в процесі затилування мітчиків по зовнішньому діаметру шліфувальним кругом певного діаметру в результаті перевищення величини затилування, що допускається формулою (13) відбувається зрізання вершин, що веде до зменшення зовнішнього діаметра.

Якщо розглядати затилування не зовнішнього діаметра, а нарізного профілю, то в цьому випадку буде відбуватися його спотворення. Зазначені обставини необхідно враховувати при призначенні допустимих величин затилування "К".

Для затилування безстружкових мітчиків по зовнішньому діаметру і профілю різьби застосовують кілька форм кулачків. Як зазначалося вище, найбільшого поширення набув ексцентриковий кулачок (Рис. 6. а). Він утворюється зсувом центру обертання O відносно центру кола радіуса R на величину ексцентриситету e . Є комбіновані кулачки (Рис. 6. б), які складаються з двох ділянок: нижня представляє собою окружність з центром O , а верхня окружність радіуса R з центром, зміщеним щодо осі обертання на ексцентриситет e . На деталі нижня ділянка утворює окружність, а верхня-криву, що утворюється від ексцентрика.

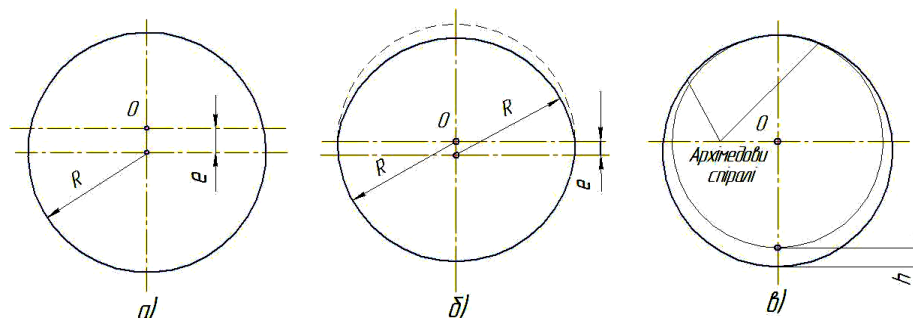


Рис. 6. Форми кулачків, які застосовуються при затилуванні безстружкових мітчиків

Відомі також кулачки [4], які відрізняються від описаного кулачка лише тим, що верхня ділянка цих кулачків, яка утворює на деталі криву одержувану від ексцентрика, в залежності від розмірів мітчика виконується на дузі, створеній центральним кутом, що змінюється в межах від 143° до 251° .

Відповідно в таких межах змінюється і нижня ділянка, виконана по окружності. Кулачок, який застосовується при затилуванні ріжучих мітчиків (Рис. 6. в) також може бути використаний і при виготовленні безстружкових мітчиків.

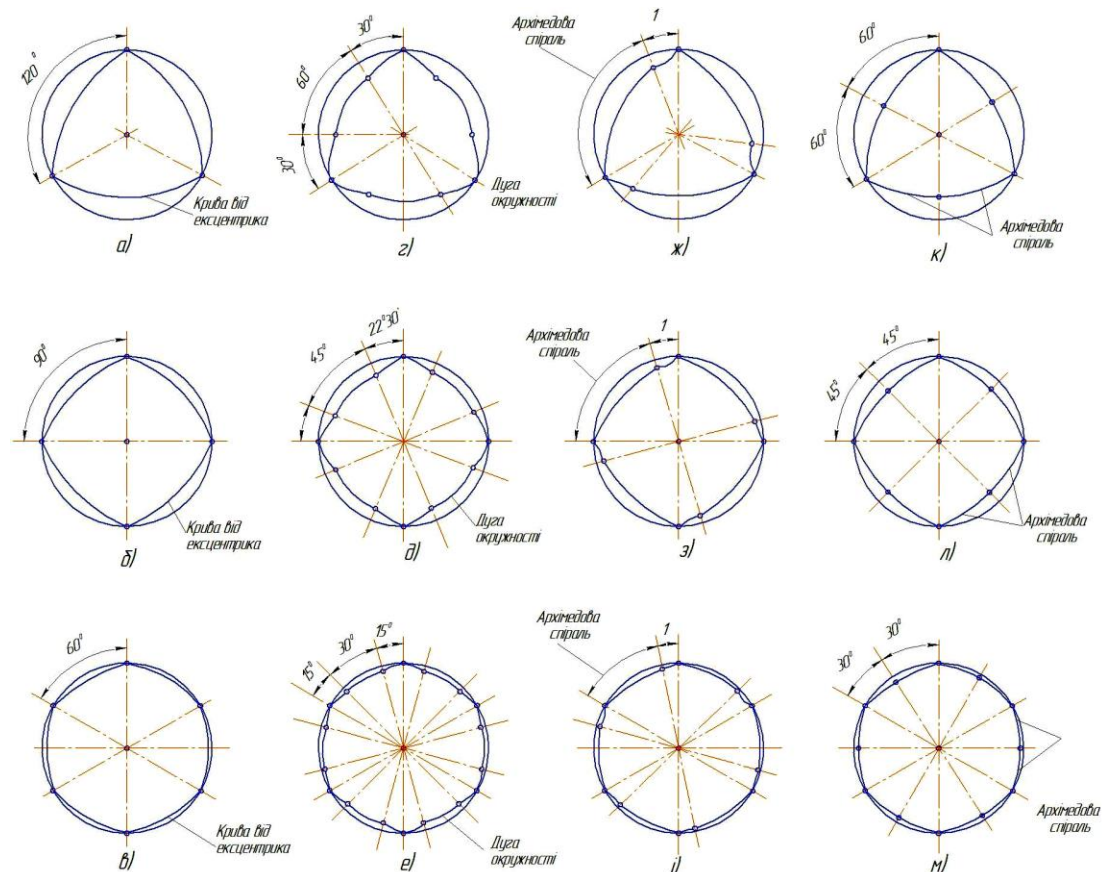
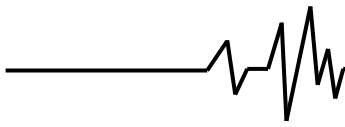


Рис. 7. Форми поперечних перерізів мітчиків затилювання з застосуванням різних кулачків:
а, б, в – від ексцентрикового кулачка;
г, д, е – від комбінованого кулачка ексцентрик+окружність;
ж, з, і – від кулачка, використовуваного при затилюванні різучих мітчиків;
к, л, м – від кулачка, що складається з двох половин, виконаних по архімедових спіралях

На ділянці $\omega_{кр}$ він окреслений по архімедовій спіралі, а на ділянці $\omega_{кк}$ по дузі двох окружностей. Застосовують також кулачок, який складається з двох симетричних половин, виконаний по архімедовій спіралі.

Можливі форми поперечних перерізів мітчиків, затилювання за допомогою перерахованих кулачків, схематично показані на рис. 7. Для точного відтворення форм поперечних перерізів мітчиків, затилювання за допомогою різних кулачків відрізняються від ексцентрикового, необхідно використовувати параметричні рівняння (6) в яких закон зміни відстані $L(\omega_m)$ між центром шліфувального круга і віссю мітчика буде визначатися конкретним типом кулачка затилювання.

Аналіз публікацій [5, 6, 7] показує, що найбільше застосування отримали ексцентрикові і комбіновані кулачки, які в даній роботі і були піддані експериментальній перевірці.

Формула (13) дозволяє розрахувати максимальну величину затилювання K_{max} , при якій радіус кривизни на вершинах контуру поперечного перерізу мітчиків претворюється в

нуль. Враховуючи, що різбовий профіль мітчика обмежений зовнішнім і внутрішнім діаметрами, представляється доцільним розраховувати допустиму величину затилювання не по зовнішньому діаметру, а по внутрішньому діаметру нарізного профілю мітчика. Це дозволить мати значення тих максимально допустимих величин затилювання, при яких гарантовано не буде спотворено нарізний профіль по всій його висоті.

Для тригранних мітчиків, затилювання за допомогою ексцентрикового кулачка отримаємо:

мітчик М6 –

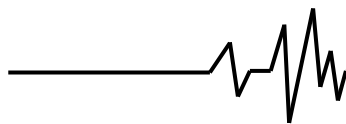
$$K_{3max} = \frac{2R_m(R_{шк} + R_m)}{n^2 R_{шк}} = \frac{2 \cdot 2.459(200 + 2.459)}{3^2 \cdot 200} = 0.533 \text{ мм.}$$

де $R_m = d_{вн}/2 = 4,918/2 = 2,459$ мм; $d_{вн}$ – внутрішній діаметр різбового профілю мітчика; $R_{шк} = 200$ мм – радіус шліфувального круга.

мітчик М8 –

$$K_{3max} = \frac{2R_m(R_{шк} + R_m)}{n^2 R_{шк}} = \frac{2 \cdot 3.323(200 + 3.323)}{3^2 \cdot 200} = 0.750 \text{ мм.}$$

мітчик М12 –



$$K_{3\max} = \frac{2R_m(R_{\text{шк}} + R_m)}{n^2 R_{\text{шк}}} = \frac{2 \cdot 5.053(200 + 5.053)}{3^2 \cdot 200} = 1.151 \text{ мм.}$$

Для чотирьохгранних мітчиків отримаємо:

мітчик M8 –

$$K_{4\max} = \frac{2R_m(R_{\text{шк}} + R_m)}{n^2 R_{\text{шк}}} = \frac{2 \cdot 3.323(200 + 3.323)}{4^2 \cdot 200} = 0.422 \text{ мм.}$$

мітчик M10 –

$$K_{4\max} = \frac{2R_m(R_{\text{шк}} + R_m)}{n^2 R_{\text{шк}}} = \frac{2 \cdot 4.188(200 + 4.188)}{4^2 \cdot 200} = 0.534 \text{ мм.}$$

мітчик M12 –

$$K_{4\max} = \frac{2R_m(R_{\text{шк}} + R_m)}{n^2 R_{\text{шк}}} = \frac{2 \cdot 5.053(200 + 5.053)}{4^2 \cdot 200} = 0.647 \text{ мм.}$$

мітчик M16 –

Таким чином, виконані розрахунки дозволяють, в залежності від діаметра різьби мітчика і числа граней, призначити максимально допустиму величину затилування, при якій радіус кривизни на внутрішньому діаметрі різьблення мітчика перетворюється в нуль, але різьбовий профіль залишається при цьому неспотвореним. Якщо при тих же максимально допустимих величинах затилування зробити затилування зовнішнього діаметра мітчиків, то радіус кривизни на вершинах нарізного профілю матиме певну величину, яка розраховується за формулою (13)

Виконані обчислення максимально допустимих величин затилування і одержуваних при цьому радіусів кривизни на зовнішньому діаметрі нарізного профілю відносяться до мітчиків, затилування із застосуванням ексцентрикового кулачка.

Для визначення максимально допустимих величин затилування мітчиків із застосуванням комбінованого кулачка (ексцентрик+окружність), необхідно врахувати наступне.

Робочі ділянки вершин мітчика затилування із застосуванням комбінованого кулачка, окреслюються такими ж кривими, як і від ексцентрикового кулачка. Отже, параметричними рівняннями кривих для цих ділянок залишаються однаковими, рівняння (10). Однак, відмінність полягає в тому, що неробочі (бічні) ділянки мітчиків затилування із застосуванням комбінованого кулачка, окреслюються дугами окружностей (Рис. 7). З цієї причини величина врізання шліфувального круга в заготовку мітчика (Рис. 3.) при однаковому ексцентриситеті кулачків і однаковому передавальному співвідношенні важільної системи верстата i_p буде рівна ні $2e \cdot i_p$, а в два рази менше, тобто $K = e \cdot i_p$.

Отже, максимально допустимі величини затилування для мітчиків із застосуванням комбінованого кулачка в порівнянні з мітчиками, затилуванням із застосуванням ексцентрикового кулачка, повинні бути

зменшені в два рази. При цьому радіуси кривизни по внутрішньому діаметру у таких мітчиків будуть також дорівнювати нулю, а радіуси кривизни на вершинах нарізного профілю будуть відповідати тим значенням, що визначені вище для мітчиків, затилування із застосуванням ексцентрикового кулачка. Виходячи з цього отримуємо, що для тригранних мітчиків:

M8 – $K_{3\max} = 0,375$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,714$ мм;

M10 – $K_{3\max} = 0,475$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,846$ мм;

M12 – $K_{3\max} = 0,575$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,914$ мм;

Для чотирьохгранних мітчиків:

M8 – $K_{4\max} = 0,211$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,713$ мм;

M10 – $K_{4\max} = 0,267$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,849$ мм;

M12 – $K_{4\max} = 0,323$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,962$ мм;

Для шестигранних мітчиків:

M8 – $K_{6\max} = 0,094$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,723$ мм;

M10 – $K_{6\max} = 0,118$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,855$ мм;

M12 – $K_{6\max} = 0,143$ мм; $R_{\text{крmin}} = 0,995$ мм;

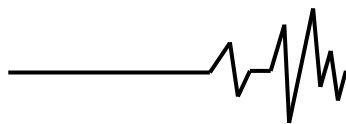
M12 – $K_{6\max} = 0,198$ мм; $R_{\text{крmin}} = 1,125$ мм;

Слід зазначити, що значення максимально допустимих величин затилування, зазначених вище, отримані з умови забезпечення на мітчиках неспотвореного нарізного профілю. Однак, крім цього геометричного критерію, як критерій оптимальної величини затилування можуть бути і інші, такі як максимальна розмірна стійкість мітчиків, мінімальна величина крутного моменту, максимальна стабільність розмірів різьбових отворів і ін. Тому в кожному конкретному випадку, в залежності від поставленого завдання, оптимальна величина затилування мітчиків повинна бути встановлена на основі експериментальних досліджень.

Аналіз публікацій показує [7, 8, 9], що обґрунтовані рекомендації по призначенню числа граней мітчиків в даний час відсутні. Наприклад, деякі автори вказують, що вибір числа граней заснований в першу чергу, з технологічних міркувань при виготовленні інструменту; інші для одних і тих самих розмірів мітчиків рекомендують різне число граней і т.д.

Імовірно, що для правильного вирішення зазначеного питання необхідно, в першу чергу, призначити основний критерій оптимальності числа граней, або ж кілька критеріїв одночасно.

Якщо прийняти в якості критерія оптимальності числа граней величину крутного моменту, то оптимальним буде таке число граней мітчика, яке створює найменший момент видавлювання різьби. З огляду на, що зі зростанням величини затилування крутний момент для мітчиків з будь-яким числом граней знижується (оскільки зменшується сумарна довжина контакту з металом гайки робочих ділянок вершин мітчика) розглянемо граничний випадок, коли радіуси кривизни при вершинах мітчиків дорівнюють нулю. Таку форму вершин



мітчики можна отримати, якщо затилування зовнішнього діаметра мітчиків виконати з величинами затилування. Поперечні перерізи мітчиків при цьому будуть являти собою правильні багатокутники з гострими кутами і незначно закругленими сторонами (Рис. 7. а,б,в). Оскільки крутий момент створюється дією на вершини тангенціальних сил, то величина останніх буде залежати від сумарної довжини контактуючих ділянок мітчика і оброблюваного металу. Чим більше довжина контактної поверхні, то більша тангенціальна сила, а отже, і крутий момент. Звідси досить визначити сумарну довжину контактної поверхні, щоб мати можливість зіставити крутий момент у мітчиків з різною кількістю граней.

Для визначення фактичної товщини шару металу, що деформується вершинами в тангенціальному напрямку, розглянемо задачу

про впровадження симетричного твердого клина, що не деформується з кутом при вершині α_1 в жорстко-пластичне середовище, обмежену площиною [2]. Прийнемо, що тертя по поверхні контакту відсутнє. При впровадженні клина середовище витискається по обидва боки (Рис. 8).

Для класу задач усталеної пластичної деформації заштрихована область, що знаходиться в пластичному стані, змінюється так, що її конфігурація весь час зберігає геометричну подібність деякого вихідного положення, а гранична лінія задовільно апроксимується прямою AC:

$$AC = \frac{h}{\cos \alpha_1/2 - \sin(\alpha_1/2 - \varphi_1)}. \quad (14)$$

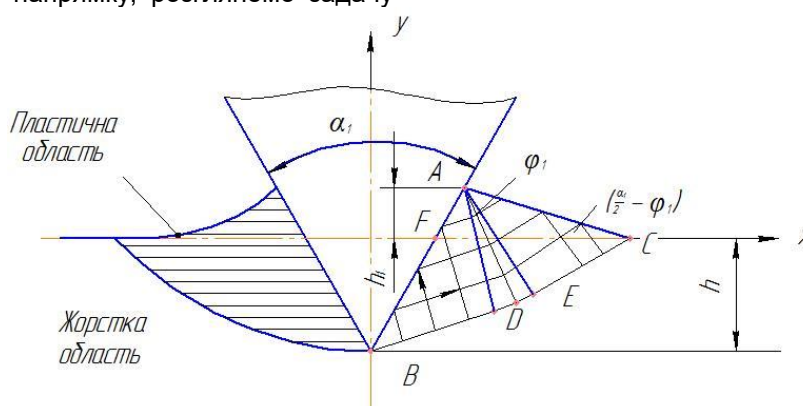


Рис. 8. Деформація металу при проникненні клина в жорстко-пластичне середовище, обмежене площиною

Кут φ_1 визначається при цьому з рівняння:

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \arccos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_1}{2} \right), \quad (15)$$

або за графіком (Рис. 9). При відомих величинах φ_1 і AC з трикутника ACF знаходимо висоту h_1 :

$$h_1 = h \frac{\sin(\alpha_1/2 - \varphi_1)}{\cos \alpha_1/2 - \sin(\alpha_1/2 - \varphi_1)}, \quad (16)$$

Задаватися глибиною проникнення h , за формулою (16) можна вирахувати значення h_1 , що характеризує висоту хвилі металу поблизу бічних поверхонь клина. Так для мітчиків M12 ($\varphi = 4^\circ 30'$) з числом граней 3, 4 і 6 глибина проникнення $h = P \cdot \tan \varphi / n$, відповідно буде рівною 0,0459; 0,0344 і 0,0229 мм. Підставляючи в формулу (16) числові значення, визначимо величину підйому металу h_1 (Рис. 8):

при $n = 3$, $\alpha_1 = 60^\circ$ і $\varphi_1 = 17^\circ 25'$

$$h_1 = \frac{0,0459 \cdot \sin(30^\circ - 17^\circ 25')}{\cos 30^\circ - \sin(30^\circ - 17^\circ 25')} = 0,0211 \text{ мм.}$$

при $n = 4$, $\alpha_1 = 90^\circ$ і $\varphi_1 = 33^\circ 10'$

$$h_1 = \frac{0,0344 \cdot \sin(45^\circ - 33^\circ 10')}{\cos 45^\circ - \sin(45^\circ - 33^\circ 10')} = 0,0141 \text{ мм.}$$

при $n = 6$, $\alpha_1 = 120^\circ$ і $\varphi_1 = 51^\circ$

$$h_1 = \frac{0,0229 \cdot \sin(60^\circ - 51^\circ)}{\cos 60^\circ - \sin(60^\circ - 51^\circ)} = 0,0104 \text{ мм.}$$

Тоді сумарна глибина проникнення $h + h_1$ складе:

для тригранних мітчиків

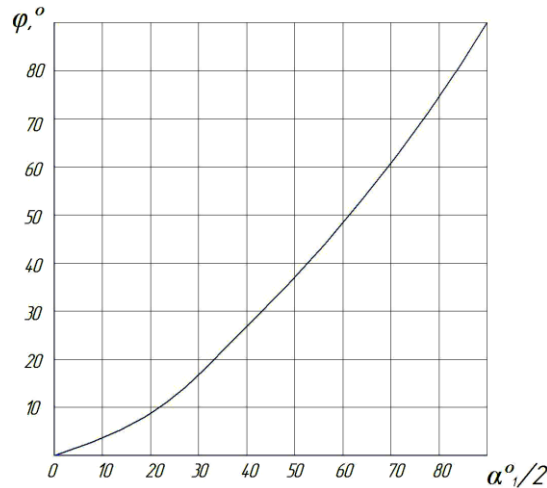
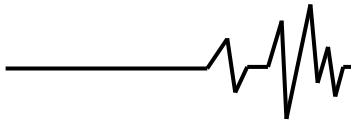
$$h + h_1 = 0,0459 + 0,0211 = 0,0670 \text{ мм.}$$

для чотирьохгранних мітчиків

$$h + h_1 = 0,0344 + 0,0141 = 0,0485 \text{ мм.}$$

для шестигранних мітчиків

$$h + h_1 = 0,0229 + 0,0104 = 0,0333 \text{ мм.}$$

Рис. 9. Графік залежності φ_1 від α_1

Знаючи половини кутів при вершинах і глибину проникнення, визначимо довжину бокових сторін АВ (Рис. 8):

при $n = 3$, $AB = 0,0670$ мм: $\cos 30^\circ \approx 0,0773$;

при $n = 4$, $AB = 0,0485$ мм: $\cos 45^\circ \approx 0,0685$;

при $n = 6$, $AB = 0,0333$ мм: $\cos 60^\circ \approx 0,0666$;

Помноживши довжину сторін на відповідне число граней, одержимо сумарні довжини контактуючих ділянок на відстані одного кроку:

при $n = 3$, $l_{\text{сум}} = 0,0773 \cdot 3 \approx 0,2319$;

при $n = 4$, $l_{\text{сум}} = 0,0685 \cdot 4 \approx 0,2736$;

при $n = 6$, $l_{\text{сум}} = 0,0666 \cdot 6 \approx 0,3996$;

Беручи загальну довжину контактної поверхні для тригранних мітчиків за одиницю, знаходимо відповідно відношення довжин для

чотирьох- і шестигранних мітчиків: 1; 1,18; 1,72.

Прийнята схема для розрахунку контактної поверхні є певною мірою наближеною до дійсних умов роботи мітчика, оскільки його вершини проникають не в площину, а в поверхню круглого отвору. Проте, можна припускати, що похибки обчислень в однаковій мірі впливають на розрахункову довжину контактної поверхні мітчиків. Як показують обчислення, в граничному випадку (коли радіуси кривизни при вершинах мітчиків дорівнюють нулю), найбільша величина круглого моменту повинна спостерігатися у шестигранних мітчиків, а найменша у тригранних.

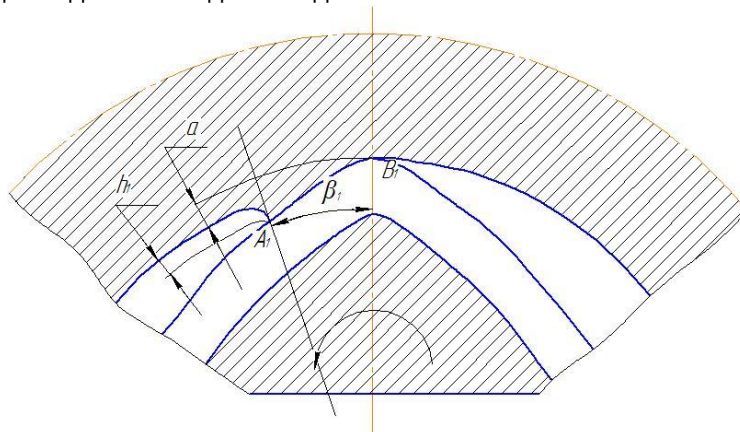
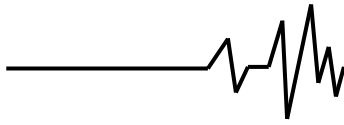


Рис. 10. Схема розрахунку кута контакту вершин мітчика з поверхнею отвору

З достатньою для практики точністю розглянута задача про проникнення клина в площину може бути застосована і до випадку вдавнення закруглених вершин мітчика в поверхню отвору (Рис. 10). Для цього необхідно визначити фактичну довжину дуги контакту A_1B_1 поверхні, що деформує вершини мітчика з поверхнею отвору гайки. Оскільки параметричні рівняння, що описують контур поперечного перерізу мітчика відомі, представляється можливим аналітичний розв'язок задачі по

визначенню довжини дуги A_1B_1 (Рис. 10). Однак, з огляду на те, що параметричні рівняння мають складний вид, зазначена вище завдання значне простіше може бути вирішене з використанням ЕОМ. Для цієї мети розроблена спеціальна програма для ЕОМ, яка дозволяє в залежності від геометричних параметрів мітчика визначати фактичний кут контакту β_1 вершини мітчика з поверхнею отвору гайки і відповідну цьому куту довжину дуги A_1B_1 . Крім цього, програма дозволяє



визначати і фактичну площу контакту вершини мітчика з поверхнею отвору гайки. Наприклад, якщо сумарну площу контакту вершин тригранного мітчика М12 ($\varphi = 4^\circ 30'$) в межах одного кроку різьби прийняти за одиницю, то співвідношення площ для 4-ох і 6-ти -гранних мітчиків М12 без урахування підйому металу буде відповідно рівним: 1; 1,63; 2,301. З урахуванням підйому металу (Рис. 10) це співвідношення виявляється рівним: 1; 1,2; 2,7.

Висновки. 1. Співвідношення площ контакту показує, що для прийнятих максимально допустимих по внутрішньому діаметру різьби мітчика, величина затилування найбільшого крутного моменту повинна спостерігатися у шестиграних мітчиків, а найменша у тригранних мітчиків.

2. Залежно від прийнятої величини затилування, співвідношення між довжинами і поверхнями контактних ділянок, а отже і співвідношення між величинами крутних моментів для мітчиків з різним числом граней може змінюватися.

3. Слід зазначити, що крім величини крутного моменту, іншим основним параметром, що характеризує процес видавлювання різьби, є розмірна стійкість мітчиків, яка не пов'язана прямою залежністю з величиною крутного моменту. Тому, як показують розрахунки, якщо основним критерієм, визначає число граней, є мінімальна величина крутного моменту, то оптимальним числом граней буде $n = 3$.

4. Якщо ж оптимальне число граней одночасно має відповідати двом критеріям (критерію мінімальної величини крутного моменту і критерію максимальної розмірної стійкості), то оптимальне число граней має бути в кожному конкретному випадку встановлено експериментально.

Список використаних джерел

1. Любін М. В. Дослідження процесу пластичного формоутворення внутрішньої метричної різі інструментом з радіальним переміщенням деформуючих пластин : автореф. дис. на здобуття канд. техн. наук : 05.03.05. Вінниця, 1997. 17 с.

2. Любін Н. В. Исследование процесса пластического формообразования внутренней метрической резьбы инструментом с радиальным перемещением деформирующих пластин : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / Винница, Винницкий гос. технический ун-т., 1997. 256 с.

3. Огородников В. А., Нахайчук О. В., Любін М. В. Використаний ресурс пластичности

металу в процесі видавлювання внутрішньої різі. Вестник ВПИ. 1998. №1. С.68–72.

4. А. с. 882690, МПК В21Н 3/08. Бесстружечный метчик / Г. П. Урлапов, Н. В. Любин. № 2737401/25-08 ; заявл. 19.03.79 ; опубл. 23.11.81, Бюл. № 43.

5. Меньшаков В. М., Урлапов Г. П., Середа В. С. Бесстружечные метчики. М. : «Машиностроение», 1976. 167 с.

6. Turych V., Veselovska N., Rutkevych V., Shargorodsky S. Investigation of the process of thread extrusion using the ultra sound. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. №6/1(90). P. 60–68.

7. Веселовська Н. Р., Турич В. В., Руткевич В. С. Контактна взаємодія інструмента з деталлю у процесах поверхневого пластичного деформування з ультразвуком. Вібрації в техніці та технологіях. 2017. № 2(85). С. 51–58.

8. Любін М. В., Токарчук О. А. Вплив хіміко-термічної обробки інструменту на процес виготовлення метричних різей у важкооброблюваних сталях. Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця ВНАУ, 2019. № 1 (92). С. 48–55.

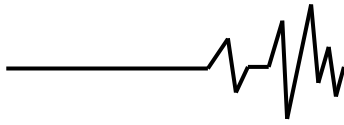
9. Любін М. В., Токарчук О. А. Вплив способу кріплення безстружкових мітчиків на процес витискування різьби. Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця ВНАУ, 2019. № 2 (93). С. 56–61.

10. Любін М. В., Токарчук О. А. Аналіз конструктивних і технологічних рішень, спрямованих на ефективність виробництва при виготовленні різьбових отворів в нержавіючих сталях. Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. № 4. С. 57–64.

Список джерел у транслітерації

1. Lyubin, M. V. (1997). *Doslidzhennya procesu plastichnogo formoutvorenniya vnutrishnoyi metricheynoy rizi instrumentom z radialnim peremishhennyam deformuyuchikh plastin* [Investigation of the process of plastic molding of an internal metric cut with a radial displacement tool of deforming plates]. (*Extended abstract of Candidate's thesis*). Vinniczya. [in Ukrainian].

2. Lyubin, N. V. (1997). *Issledovanie processa plasticheskogo formoobrazovaniya vnutrennej metricheynoy rezby instrumentom s radialnym peremeshheniem deformiruyushchikh plastin* [Investigation of the process of plastic forming of internal metric threads with a tool with radial movement of deforming plates]. (*Candidate's thesis*). Vinnicza, Vinniczkiy gos. tekhnicheskij un-t. [in Russian].



3. Ogorodnikov, V. A., Nakhajchuk, O. V., Lyubin, M. V. (1998). Viktoristanij resurs plastichnosti metalu v proczesi vidavlyuvannya vnutrishnoyi rizi [The resource of plasticity of metal in the process of extrusion of an internal cut is used]. *Vestnik VPI*. 1. 68–72. [in Ukrainian].

4. Patent № 882690, MPK B21H 3/08. *Besstruzhechnyj metchik [Chipless tap]* / G. P. Urlapov, N. V. Lyubin. № 2737401/25-08 ; zayavl. 19.03.79; opubl. 23.11.81, Byul. № 43. [in Russian].

5. Menshakov, V. M., Urlapov, G. P., Sereda, V. S. (1976). *Besstruzhechnye metcheki [Chipless taps]*. M. : «Mashinostroenie». [in Russian].

6. Turych, V., Veselovska, N., Rutkevych, V., Shargorodsky, S. (2017). Investigation of the process of thread extrusion using the ultra sound. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1(90). 60–68. [in English].

7. Veselovska, N. R., Turich, V. V., Rutkevich, V. S. (2017). Kontaktna vzayemodiy a i nstrumenta z detallyu u proczсах poverkhnevogo plastichnogo deformuvannya z ultrazvukom [Contact of the tool with the part in the processes of surface plastic deformation with ultrasound]. *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh*. 2(85). 51–58. [in Ukrainian].

8. Lyubin, M. V., Tokarchuk, O. A. (2019). Vpliv khimiko-termichnoyi obrobki i nstrumentu na proczес vigoovlennya metrichnikh rizej u vazhkoobroblyuvanih stalyakh [Influence of chemical-thermal treatment of the tool on the process of manufacturing of metric cuts in hard-machined steels]. *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh*. Vinniczya VNAU, 1(92), 48–55. [in Ukrainian].

9. Lyubin, M. V., Tokarchuk, O. A. (2019). Vpliv sposobu kriplennya bezstruzhkovikh mitchikiv na proczес vitiskuvannya rizbi [The influence of the method of fastening the stringless taps on the process of squeezing the thread]. *Vibracziyi v tekhnici ta tekhnologiyakh*. Vi`nniczya VNAU, 2(93), 56–61. [in Ukrainian].

10. Lyubin, M. V., Tokarchuk, O. A. (2018). Analiz konstruktivnikh i tekhnologichnikh rishen, spryamovanih na efektnist virobnicztva pri vigoovlenni rizbovikh otvoriv v nerzhaviyuchikh stalyakh [Analysis of structural and technological solutions aimed at production efficiency in the manufacture of threaded holes in stainless steels]. *Tekhnika, energetika, transport APK*, 4(103), 57–64. [in Ukrainian].

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ И РАЗМЕРА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ БЕССТРУЖЕЧНЫХ МЕТЧИКОВ НА ПРОЦЕСС ВЫДАВЛИВАНИЕМ РЕЗЬБЫ

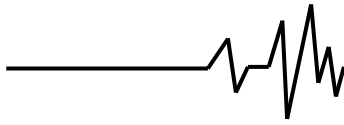
Метод изготовления внутренних резьб бесстружечными метчиками, включая взаимное обкачивание инструмента и заготовки, как при изготовлении внешних резьбовых профилей, поэтому его нельзя вписывать в методы накатки. В силу специфических особенностей процесса выдавливания резьбы, изучения эксплуатационных характеристик рези изготовленных бесстружечными метчиками представляет практический интерес.

Выдавливание резьбы происходит при температуре, не достигающей температуры рекристаллизации металла заготовки, однако изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя металла резьбового профиля.

В результате холодного вытеснения резьбового профиля происходит процесс течения металла в резьбовом контуре. Вытеснение внутренних резьб бесстружечными метчиками - это метод пластического деформирования металла, при котором в отверстие заготовки, который имеет диаметр, равный примерно среднему диаметру резьбы, заворачивается специальный стержень-метчик с профилем необходимой рези. Под действием крутящего момента вершины витков конической заборной части метчика проникают в поверхность отверстия заготовки, вытесненный металл перемещается в радиальном направлении, постепенно увеличивая высоту резьбового профиля.

Существенное влияние на процесс выдавливания резьбы имеет фактическая геометрия вершин контура поперечного сечения инструмента. В зависимости от соотношения плоскостей соприкосновения инструмента и заготовки, в зависимости от допустимой величины затылования, наибольший крутящий момент наблюдается в шестигранных метчиках, а наименьший - в трехгранных метчиках.

В зависимости от принятой величины затылования соотношение между длинами и площадями контактирующих участков, а соответственно и соотношение между величинами крутящих моментов для метчиков с различным числом граней также меняется. Следует отметить, что кроме величины крутящего момента, вторым параметром, характеризующим процесс выдавливания резьб, является устойчивость метчиков, которая напрямую не связана с величиной крутящего момента, то оптимальное число



граней составляет $n = 3$. Если оптимальное число граней одновременно будет удовлетворять двум критериям (минимальный крутящий момент и максимальная стойкость инструмента), то оптимальное число граней определяется в конкретном случае экспериментально

Ключевые слова: резьба, метчик, число граней, внутренняя резьба, наружная резьба, накатка.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE FORM AND DIMENSIONS OF THE CROSS-SECTION OF CHIPLESS TAPERS ON THE PROCESS OF EXTRACTING THREADS

The method of manufacturing internal threads with chipless taps, including mutual pumping of the tool and the workpiece, as in the manufacture of external thread profiles, so it cannot be entered into the knurling methods. Due to the specific features of the thread extrusion process, the study of the operational characteristics of rubber manufactured by chipless taps is of practical interest.

The extrusion of threads occurs at a temperature not reaching the temperature of recrystallization of the metal of the workpiece, however, the physic mechanical properties of the surface layer of the metal of the threaded profile change.

As a result of cold displacement of the threaded profile, the metal flows in the threaded contour. Extrusion of internal threads by chipless taps is a method of plastic deformation of a metal,

in which a special tapping rod with a profile of the necessary thread is screwed into a workpiece opening, which has a diameter equal to approximately the average diameter of the thread. Under the action of torque, the tops of the turns of the tapered intake part of the tap penetrate the surface of the billet hole, the displaced metal moves in the radial direction, gradually increasing the height of the threaded profile.

The actual geometry of the vertices of the tool cross-section contour has a significant effect on the thread extrusion process. Depending on the ratio of the contact planes of the tool and the workpiece, depending on the permissible amount of backing, the greatest torque is observed in hexagonal taps, and the smallest in trihedral taps.

Depending on the accepted backing value, the ratio between the lengths and areas of the contacting sections, and accordingly, the ratio between the torques for taps with a different number of faces, also changes. It should be noted that in addition to the magnitude of the torque, the second parameter characterizing the process of extruding threads is the stability of the taps, which is not directly related to the magnitude of the torque, then the optimal number of faces is $n = 3$. If the optimal number of faces simultaneously satisfies two criteria (minimum torque and maximum tool life), then the optimal number of faces is determined experimentally in a specific case

Key words: thread, tap, number of faces, internal thread, outer thread, knurling.

Відомості про авторів

Токарчук Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).

Токарчук Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).

Tokarchuk Oleksii – PhD, Associate Professor of the Department of «Technological Processes and Equipment for Processing and Food Productions» of the Vinnytsia National Agrarian University (St. Solnyshchnaya, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua).