УДК 621.993.1

В.І. Солодкий, к.т.н., доц.
О.О. Хомів, студ.
Національний технічний університет України "КПІ"

ДЕФОРМАЦІЇ МІТЧИКА-ПРОТЯЖКИ

Розроблено методику визначення переміщень елементів гвинтової поверхні мітчика-протяжки, спричинену крутними деформаціями інструменту під дією зусиль різання. Отримані результати дозволяють зменшити похибки формоутворення різьби мітчиком-протяжкою за рахунок зміни осьового кроку кожної окремої різальної секції мітчика-протяжки.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Мітчик-протяжка поєднує особливості двох інших інструментів – мітчика і протяжки. Це дає можливість утворювати внутрішні різьби значної глибини довжиною в 2…3 рази більші за діаметр інструменту за один прохід.

Особливістю конструкції мітчика-протяжки є те, що він складається з кількох різальних секцій, внаслідок чого він має значну загальну довжину. Оскільки він має значну довжину при відносно малому діаметрі, то жорсткість інструменту є невеликою. Враховуючи те, що навантаження на фасонні різальні кромки значні, а жорсткість інструменту невелика, інструмент має значні крутильні деформації, результатом яких є переміщення фасонного гвинтового профілю інструменту навколо його осі. Це призводить до зміни загальної форми гвинтової початкової інструментальної поверхні і, як наслідок, до зміни профілю утвореної різьби.

Аналіз останніх досліджень та публікації. Існує декілька способів поліпшення процесу нарізання різьби та зменшення крутильних деформацій мітчика-протяжки [1–6]. Найбільш поширеним є закріплення мітчика-протяжки з обох кінців. В цьому випадку крутильні деформації досягають максимальних значень у середній частині інструменту, у той час як на початку та кінці процесу утворення різьби вони мінімальні. Недоліком такого способу є те, що обертальний робочий рух необхідно синхронно передавати на обидва кінці інструменту. При цьому крутильні деформації не зникають, а тільки зменшуються.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є визначення кута розкручування стружкових канавок мітчика-протяжки із заданими параметрами. Знаючи величину крутильних деформацій

© В.І. Солодкий, О.О. Хомів, 2012

інструменту можливо заздалегідь корегувати гвинтовий профіль мітчика-протяжки таким чином, щоб будучи під дією навантаження зусиллями різання та маючи викликану ними деформацію, виробнича інструментальна поверхня співпадала з початковою.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо модель інструменту, жорстко затисненого одним кінцем і навантаженого на вільному кінці крутним моментом m (рис. 1). При деформації інструменту його поперечні перерізи повернуться на деякі кути по відношенню до свого початкового стану або, що те ж саме, по відношенню до нерухомого кінця.

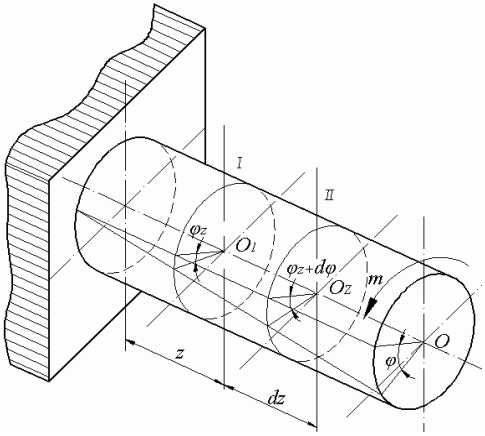

Рис. 1. Схема жорстко затисненого мітчика-протяжки

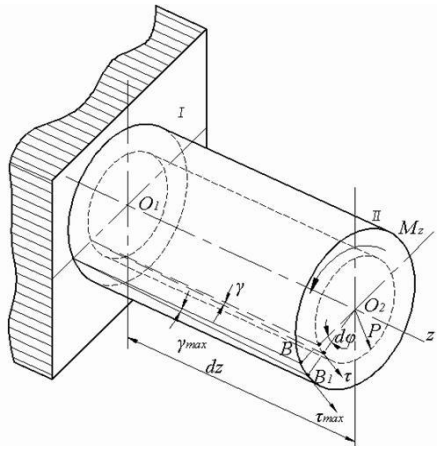

Рис. 2. Напрям переміщення і дотичного напруження

Кут повороту буде тим більше, чим далі віддалений даний переріз від затисненого кінця. Так для довільного перерізу I, віддаленого від нерухомого кінця на відстань z, він дорівнює φ_z, а для перетину II дорівнює $(\varphi_z+d\varphi)$. Тут $d\varphi$ – кут повороту перерізу II щодо I, або кут закручування елемента інструменту довжиною dz. Взагалі кут повороту довільного перерізу дорівнює куту закручування частини інструменту між цим перерізом і затисненим кінцем. Таким чином, кут повороту торцевого перерізу є повним кутом закручування інструменту під дією зусиль різання.

Застосовуючи метод перерізів, легко переконатися, що крутний момент у всіх поперечних перерізах інструменту однаковий: $M_z = m$. Виразимо його через дотичні напруження, що виникають у поперечному перерізі. При цьому врахуємо, що в будь-якій точці поперечного перерізу дотичне напруження направлено перпендикулярно до радіуса, проведеного в цю точку.

Такий напрям напружень випливає з характеру деформації: при повороті довільного поперечного перерізу кожна його точка (крім лежачої на осі інструменту) переміщається по дузі кола, концентричної контуру перерізу. Іншими словами, напрямок цього переміщення, а значить і виникаюче в цій точці дотичне напруження, перпендикулярно відповідному радіусу (рис. 2).

Елементарна дотична сила, яка припадає на ділянку da, дорівнює τda, а її момент відносно осі інструменту:

$$dM_z = \tau da \rho. \quad (1)$$

Підсумовуючи ці елементарні моменти, отримаємо такий вираз для крутного моменту:

$$M_z = \int \tau \rho da. \quad (2)$$

Хоча крутний момент може розглядатися як відома величина, використовувати отриманий вираз для обчислення дотичних напружень неможливо, так як закон їх розподілу по поперечному перерізу поки невідомий. Для з'ясування цього закону розглянемо більш детально питання про деформації.

Виділимо частину інструменту двома нескінченно близькими поперечними перерізами (рис. 1). Будемо вважати виділену частину інструменту затисненою в перерізі I (рис. 2), що цілком допустимо, тому що нас цікавлять її деформації, а не переміщення в просторі як твердого тіла. Точка *B*, взята на контурі перерізу II, в результаті його повороту на кут $d\varphi$ перейде в положення B_1. Деформація зсуву відповідного елемента інструменту характеризується кутом зсуву γ_{max}. З прямокутного трикутника ABB_1, враховуючи, що, $BB_1 = rd\varphi$ і оскільки деформації дуже малі $\mathrm{tg}\gamma \approx \gamma$ отримаємо:

$$\gamma_{max} = \rho \frac{d\varphi}{dz}. \quad (3)$$

Виділяючи з розглянутої частини інструменту циліндр довільного радіуса і повторюючи ті ж міркування, отримаємо вираз для визначення кута повороту:

$$\gamma = \rho \frac{d\varphi}{dz}. \quad (4)$$

Застосовуючи закон Гука для зсуву ($\tau = G\gamma$), отримаємо такий вираз для дотичного напруження у розрахунковому перерізі:

$$\tau = G\rho \frac{d\varphi}{dz}, \quad (5)$$

де параметр *G* – модуль зсуву, яких залежить від механічних характеристик матеріалу інструменту. Перетворюючи отримані залежності отримаємо вираз для крутного моменту:

$$M_z = \int_a G\rho \frac{d\varphi}{dz} da. \quad (6)$$

При інтегруванні по площі поперечного перерізу величина $d\varphi/dz$ постійна і, так само як і *G*, може бути винесена за знак інтеграла. Отже крутний момент, що виникає у мітчику-протяжці буде:

$$M_z = G \frac{d\varphi}{dz} \int_a \rho^2 da \,. \tag{7}$$

Так як інтеграл, що належить отриманому виразу, полярний момент інерції I_p перерізу, можливо спростити вираз та записати:

$$M_z = GI_p \frac{d\varphi}{dz}, \text{ звідки } \frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_z}{GI_p}. \tag{8}$$

Це дає змогу отримати вираз для напружень, що виникають в інструменті як:

$$\tau = G\rho \frac{M_z}{GI_p}. \tag{9}$$

Звідки остаточно, видаливши модуль зсуву G, отримаємо вираз для визначення напружень:

$$\tau = \frac{M_z}{I_p} \rho. \tag{10}$$

Отримана залежність дозволяє визначити величину дотичних напружень в будь-якій точці поперечного перерізу мітчика-протяжки. З цієї формули випливає, що дотичні напруження розподілені вздовж будь-якого радіуса перетину за лінійним законом.

У точках, рівновіддалених від центра перерізу, величина напружень однакова. Найбільшого значення дотичні напруження досягають в точках зовнішнього контуру поперечного перерізу. Вони можуть бути визначені шляхом заміни величини ρ його найбільшого значення, тобто r. Тоді величину напружень для мітчика-протяжки можливо визначити за формулою:

$$\tau = \frac{M_z}{I_p} r \,. \tag{11}$$

Якщо визначити величину полярного моменту опору як:

$$W_p = \frac{I_p}{r}, \tag{12}$$

то отримаємо такий вираз для максимального дотичного напруження:

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p}. \tag{13}$$

Інтегруючи отриманий раніше вираз:

$$\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_z}{GI_p}, \tag{14}$$

отримаємо залежність для визначення кута φ закручування інструменту:

$$\varphi = \int M_z / GI_p \, dz . \qquad (15)$$

У випадку, коли діаметр інструменту постійний і крутний момент має у всіх перерізах однакове значення, можливо спростити отриману залежність та записати її у вигляді:

$$\varphi = M_z l / GI_p , \qquad (16)$$

де параметр l – це довжина ділянки інструменту, для якої розраховують кут закручування φ. В нашому випадку це відстань між різальними секціями мітчика-протяжки, зовнішній діаметр якого дорівнює 41,5 мм. Використовуючи цей метод, було розраховано кут крутних деформацій на кожній секції мітчика-протяжки (рис. 3), який має 4 формоутворюючі секції.

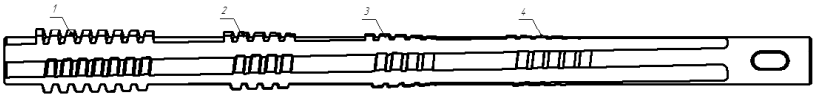

Рис. 3. Чотирисекційний мітчик-протяжки

Результати розрахунків показали, що досліджуваний нами інструмент має значні крутні деформації, які різні на різних секціях мітчика-протяжки і становить на першій секції 0,25˚; на другій 0,1605˚; на третій 0,159˚ та на четвертій 0,1508˚ секції. Тобто найбільший кут крутних деформацій мітчика-протяжки становить 0,7203˚ на вільному кінці інструменту. Отже ділянка інструменту, яка утворює кінцеву форму гвинтової поверхні деталі буде повернута відносно положення початкової інструментальної поверхні на 0,7203° або 0,0126 радіан.

Для досліджуваного мітчика зовнішнього діаметра 41,5 мм та кроку 10 мм фасонна різальна кромка, що формоутворює гвинтову поверхню обернеться на 0,252 мм навколо осі відносно свого початкового положення.

Одночасно з цим, кожна точка фасонної різальної кромки переміститься вздовж осі початкової гвинтової поверхні на величину $\delta = r\varphi \operatorname{tg}\theta$, де r – радіус, на якому розташована розрахункова точка різальної кромки; φ – кут закручування розрахункового перерізу інструменту, виражений у радіанах; θ – кут підйому різьби. В досліджуваному випадку точки різальних кромок мітчика-протяжки в результаті деформації інструменту перемістяться на δ= 0,03 мм

вздовж його осі. Отже різьба буде утворена з похибкою кроку 0,03 мм. Утворена різьба буде мати крок менший заданого на величину 0,03 мм.

Таким чином, для того, щоб запобігти утворенню похибки кроку різьби деталі при її виготовленні, необхідно створити мітчик-протяжку перемінного кроку.

Висновок. Розроблена методика визначення крутних деформацій, які виникають у мітчику-протяжці під час формоутворення різьби, дозволяє розрахунковим способом визначити величину похибки формоутворення гвинтової поверхні різьби, спричиненої крутними деформаціями мітчика-протяжки.

Збільшення осьового кроку мітчика-протяжки на розраховану величину дозволяє уникнути похибки кроку утвореної різьби. Для секційної конструкції мітчика-протяжки збільшення кроку можливо виконувати окремо для кожної формоутворюючої секції.

Це дозволяє робити кожну секцію зі своїм кроком, враховуючи загальні переміщення для окремої секції в цілому, що значно спрощує його виготовлення на відміну від інструменту, що має безперервну початкову інструментальну поверхню.

Список використаної літератури:

1. *Харалампиев И.С.* Резьбонарезание / *И.С. Харалампиев* // Станки и инструмент. – М. : Машиностроение, 1967. – № 8. – С. 7–9.
2. *Данилов Б.Ф.* Новые инструменты для токарных работ / *Б.Ф. Данилов.* – М. : Машиностроение, 1998. – 168 с.
3. *Якухин В.Г.* Изготовление резьб : справочник / *В.Г. Якухин, В.А. Ставров.* – М. : Машиностроение, 1989. – 192 с.
4. Справочник инструментальщика-конструктора / *В.И. Климов, А.С. Лернер, М.Д. Перкарский и др.* – М. : Машиностроение, 1958. – 608 с.
5. *Грудов А.А.* Влияние скорости резания и износа метчиков на крутящий момент / *А.А. Грудов* // СТИН. – 1983. – № 1, – С. 13–17.
6. *Васин С.А.* Резание материалов / *С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер* // Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. – М. : МГТУ им. Баумана, 2001. – 448 с.

СОЛОДКИЙ Валерій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри "Інтегровані технології машинобудування" ім. П.Р. Родіна Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– теорія проектування різального інструменту;

– формоутворення гвинтових поверхонь.

Тел.: (044)454–95–28.
E-mail: solodkiyvi@bigmir.net

ХОМІВ Олександр Олександрович – студент кафедри "Інтегровані технології машинобудування" ім. П.Р. Родіна Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– інструментальне виробництво.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2012

Солодкий В.І., Хомів О.О. Деформації мітчика-протяжки
Солодкий В.И., Хомив А.А. Деформации метчика-протяжки
Solodkiy V.I., Homiv A.A. Strain taps-broaching

УДК 621.993.1

Деформации метчика-протяжки / В.И. Солодкий, А.А. Хомив

Разработана методика определения перемещений винтовой поверхности метчика-протяжки вызванная крутящими деформациями инструмента под действием усилий резания. Полученные результаты позволяют уменьшить погрешности формообразования резьбы метчиком-протяжкой за счет изменения осевого шага каждой отдельной режущей секции метчика-протяжки.

УДК 621.993.1

Strain taps-broaching / V.I. Solodkiy, A.A. Homiv

The method for determining displacement helical surface tap-twisting, deformations caused by pulling the tool under the cutting forces. The obtained results allow us to reduce errors of morphogenesis in wire-tapping by changing the axial pitch of each blade section of the tap-tractor.