

УДК 621.992.7

Добрянський С.С. к.т.н., доц.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ НАРІЗУВАННІ РІЗЬБ ГОЛОВКАМИ

Dobrianskyi S.  
The National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

### DETERMINATION OF FORCES OF CUTTING AT A THREADING GROOVES BY HEADS

*Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень крутних моментів і сил різання при нарізуванні зовнішніх різьб головками, розроблений алгоритм для визначення сумарної довжини різальних кромок, встановлено співвідношення між силами різання і силами тертя на калібруючій частині гребінок, розроблені відповідні рекомендації та формули, визначено співвідношення між складовими сил різання. Рис. 3, табл. 1.*

*Ключові слова:* різьба, головка, сили різання, крутні моменти, алгоритм.

#### Вступ

У машинобудуванні для виготовлення зовнішніх різьб широко застосовують різьбонарізні головки з чотирма круглими гребінками. Установлено, що точність і шорсткість поверхонь витків залежить від багатьох факторів: кроку нарізуваної різьби, геометричних параметрів заточки гребінок (величини перевищення  $z_A$  вершини гребінки над віссю заготовки, переднього кута  $\gamma$ , кута нахилу різальної кромки  $\lambda$ ), кута забірного конуса  $\phi$ , швидкості різання, застосовуваної мастильно-охолодної рідини (МОР) тощо.

Визначення впливу цих факторів на параметри якості нарізуваних різьб викликає певні складності і трудомістке. Нами встановлена наявність тісного кореляційного зв'язку між точністю нарізуваних різьб і силами, що виникають при цьому [1]. Тобто сили, що виникають при нарізуванні різьб, можуть не тільки характеризувати протікання процесу різьбонарізання в цілому, але й бути критерієм оцінки параметрів якості нарізуваних різьб. Визначення сил різання необхідне також при конструюванні інструмента, визначенні потужності обладнання тощо.

У літературі наведені результати експериментальних досліджень сил різання, виконаних для вузького діапазону різьб [2], але немає залежностей для всього типорозміру різьб, нарізуваних головками.

#### Мета

Мета роботи – визначення сил різання, що виникають при нарізуванні різьб головками.

#### Дослідження

Практика експлуатації різьбонарізних головок показує, що крутний момент  $M$ , який виникає при нарізуванні різьб, складається з крутного моменту  $M_p$ , що виникає на різальній частині гребінки внаслідок зрізання стружки, та крутного моменту  $M_T$ , що виникає на калібруючій частині гребінки внаслідок її тертя об нарізану різьбу

$$M = M_p + M_T. \quad (1)$$

У відповідності до крутних моментів, на чотири гребінки головки одночасно діють сили  $P$ ,  $P_z$  та  $P_T$

$$P = P_z + P_T. \quad (2)$$

По аналогії з точінням різцями доцільно прийняти, що максимальна сила  $P_z$  залежить від глибини різання та подачі [3]. Глибина різання дорівнює сумарній довжині різальних кромок, що одночасно беруть участь у роботі, а подача на зуб при стандартному значенні  $\phi = 20^\circ$  вираховується.

З достатньою для практичних розрахунків точністю можна записати, що кількість різальних зубів усіх гребінок

$$z_p = 4 l_3 / S_p, \quad (3)$$

де  $l_3$  – довжина забірного конуса гребінки [4],  $S_p$  – крок нарізуваної різьби. Тоді товщина шару, зрізуваного одним зубом (рис.1),  $S_z = AC / z_p$ . Неважко визначити, що для метричних різьб [5]

$$S_z = 0,1857 S_p^2 / l_3, \quad (4)$$

$$AC = 0,743 S_p, \quad AG = 0,487 S_p, \quad GC = 0,256 S_p.$$

Можна показати, що довжина різальної кромки  $LS$  (рис.1) перших зубів гребінок для глибини прорізування до  $GC$  визначиться

$$l_p = LS = 0,4774 z S_p^2 / l_3, \quad (5)$$

де  $z$  – порядковий номер різального зуба.

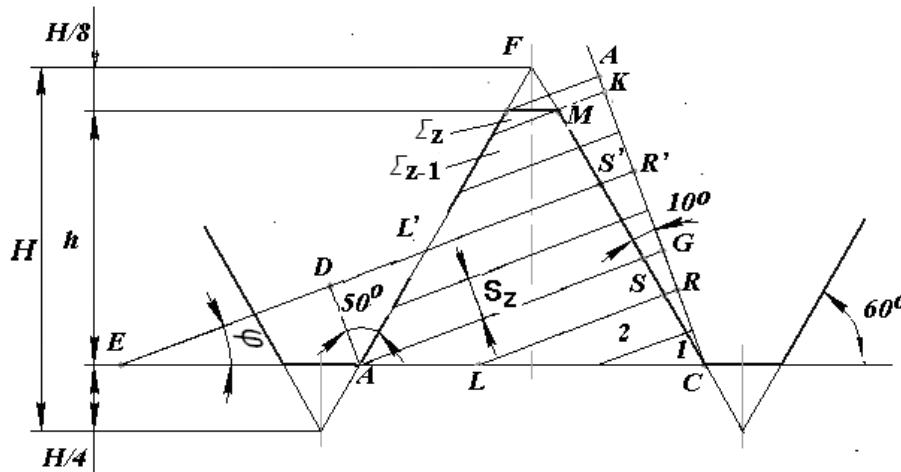


Рис. 1. Схема для розрахунку сумарної довжини різальних кромок та товщини зрізу

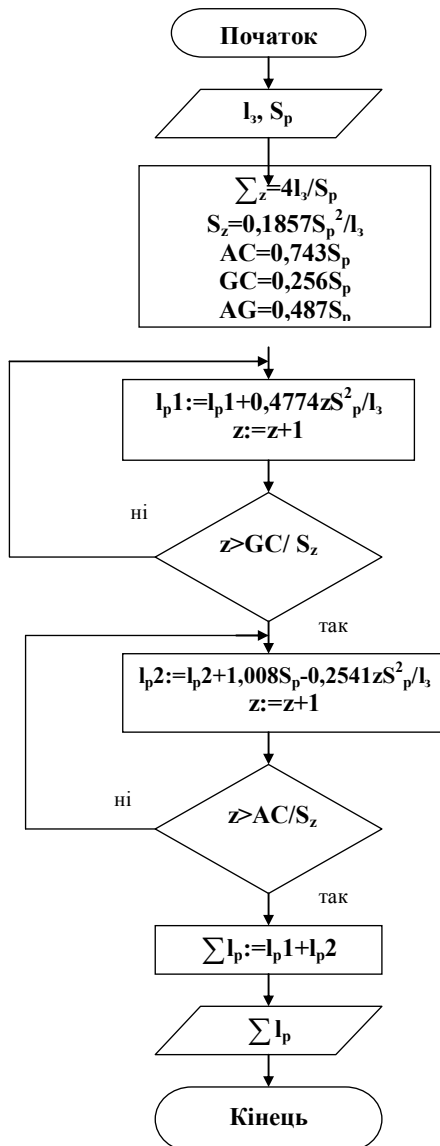


Рис. 2. Структурна схема алгоритму для розрахунку сумарної довжини різальних кромок гребінок  $\Sigma l_p$  та подачі на зуб  $S_z$

За формулою (5) визначаємо довжину різальних кромок поки  $RC \leq GC$ , де  $RC$  – глибина прорізування канавки між витками черговим зубом.

Можна також показати, якщо  $RC > GC$ , то довжину різальної кромок  $L'S'$  визначаємо

$$l_p' = L'S' = 1,008 S_p - 0,2541 z S_p^2 / l_3. \quad (6)$$

На рис.2 наведена схема алгоритму для розрахунку сумарної довжини різальних кромок.

У таблиці наведені результати розрахунків тангенціальних сил різання, що виникають на середньому діаметрі нарізуваної різьби, та відповідні крутні моменти. Сили різання визначались за загальноприйнятими формулами для точіння різцями [3]. Там же наведені експериментальні значення сумарних крутних моментів, які визначались за допомогою спеціального динамометра при параметрах заточки гребінок, близьких до оптимальних, швидкості різання 8,5 м / хв та рясному охолодженні МОР на масляній основі. Матеріал заготовок – сталь 45, НВ 200-210. Різьба нарізувалась на вертикально-свердильному верстаті 2Н135 різьбонарізною головкою 4КА-45 в режимі самозатягування.

У таблиці:  $S_p$  – крок різьби;  $d_2$  – середній діаметр різьби;  $l_3, l_k$  – відповідно довжина забірної конуса і калібруючої частини гребінки;  $z_p, z_k$  – відповідно розрахункова кількість різальних і калібруючих зубів чотирьох гребінок (3);  $\Sigma l_p$  – розрахункова сумарна довжина різальних кромок (5, 6), яка при розрахунку сил різання прийнята за глибину різання;  $S_z$  – подача на зуб (4);  $M_p, P_z$  – розрахункові значення крутного моменту і тангенціальних сил різання;  $M_e, P_{ze}$  – експериментальні значення крутних моментів і сил різання та тертя;  $M_t, P_{tt}$  – частина крутних моментів і сил різання, що виникають внаслідок тертя калібруючих зубів об заготовку.

Аналіз результатів досліджень показує, що тангенціальні сили різання і крутні моменти, які виникають при нарізуванні різьб головками, можна визначати за загальноприйнятими формулами для точіння, але необхідно збільшити їх на величину сил тертя калібруючих зубів об нарізану різьбу в 1,2 – 1,4 рази. Менші значення приймають для різьб з крупним кроком і відносно невеликою кількістю калібруючих зубів, а більші – для різьб з малим кроком і великою кількістю калібруючих зубів.

Розрахункові та експериментальні значення сил різання і крутних моментів

Різьба	$S_p$ , мм	$d_2$ , мм	гребінка	$l_3$ , мм	$l_{к3}$ , мм	$z_p$	$z_k$	$\Sigma l_p$ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
M27x1,5	1,5	26,026	4-1,5	3,4	12,60	9	33,6	4,41
M27x2	2	25,701	4-2	4,5	11,50	9	23	5,85
M27	3	25,051	4-3	6,6	11,40	8,8	15,2	8,63
продовження таблиці								
Різьба	$S_z$ , мм/зуб	$M_p$ , Нм	$P_z$ , Н	$M_e$ , Нм	$P_{ze}$ , Н	$M_t$ , Нм	$P_{zt}$ , Н	$P_{ze}/P_z$
10	11	12	13	14	15	16	17	18
M27x1,5	0,12	20,18	1551	27,60	2120	7,42	569	1,37
M27x2	0,16	32,81	2553	44,30	3450	11,52	897	1,35
M27	0,25	65,93	5264	82,17	6560	16,24	1296	1,25

Відмітимо, що такий висновок справедливий тільки для умов різання, близьких до оптимальних, тобто коли відсутнє зростання крутного моменту по довжині нарізуваної різьби внаслідок "розклинювання" гребінок. При зростанні крутного моменту по довжині нарізуваної різьби, що може бути викликано непрорізуванням повного профілю різьби різальними зубами внаслідок завишеного значення  $z_A$  та іншими факторами, сили тертя калібруючих зубів можуть у два та більше разів перевищувати сили різання, що може привести до поломки головки.

На протікання процесу нарізування та параметри якості різьб суттєво впливають не тільки тангенціальні  $P_z$ , але й радіальні  $P_y$  та осеві  $P_x$  сили різання.  $P_y$  безпосередньо впливають на точність нарізуваних різьб, а  $P_x$  визначають необхідну силу осевої подачі для забезпечення врізання головки в заготовку, а також умови, що виключають підрізування профілю витків різьби. Для поелементного дослідження сил різання спроектований

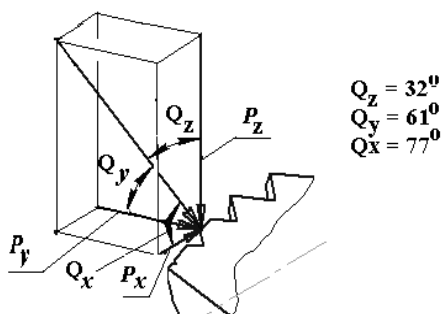
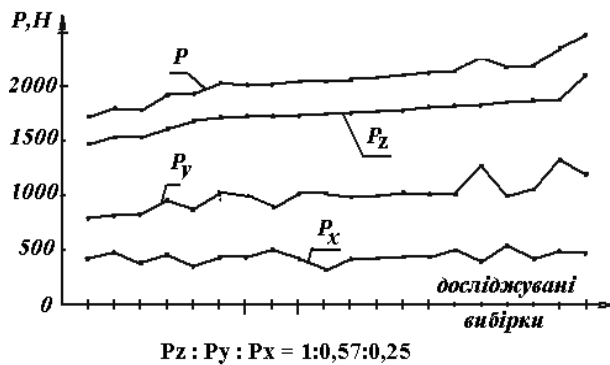


Рис. 3. Співвідношення складових сил різьбо нарізання

трёхкомпонентний динамометр [2]. Експериментальні дослідження проводились методом планування другого порядку і охоплювали великий діапазон параметрів заточки гребінок  $z_A$ ,  $\gamma$  і  $\lambda$ . Отримані відповідні залежності для визначення складових сил різьбонарізання.

На рис. 3. наведені графіки співвідношення складових сил різання при різних умовах різьбоформування, при цьому вибірки розміщені в порядку зростання  $P_z$ .

Незважаючи на різні умови різьбонарізання, спостерігається висока стабільність відношення

$$P_z : P_y : P_x = 1 : 0,57 : 0,25. \quad (7)$$

Тобто, розрахувавши  $M_p$  або  $P_z$  за вище наведеними формулами, можна визначити сили  $P_y$  та  $P_x$  для стандартних гребінок з кутом забірної конуса  $\varphi = 20^\circ$ .

### Висновки

1. Розроблена і експериментально перевірена методика розрахунку крутних моментів та тангенціальних сил різання при нарізуванні зовнішніх різьб головками.

2. Розроблено алгоритм для визначення сумарної довжини різальних кромки гребінок.

3. Установлено співвідношення між крутними моментами і силами на різальній і калібруючій частинах гребінок.

4. Показана висока стабільність відношення складових сил різання  $P_z : P_y : P_x$  і запропоновані співвідношення для їх визначення.

**Аннотация.** Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований крутящих моментов и сил резания при нарезании наружных резьб головками, разработан алгоритм для определения суммарной длины режущих кромок, установлено соотношение между силами резания и силами трения на калибрующей части гребенок, разработаны соответствующие рекомендации и формулы, определено соотношение составляющих сил резания. Рис. 3, табл. 1.

**Ключевые слова:** резьба, головка, силы резания, крутящие моменты, алгоритм

**Abstract.**

In article process of a threading of external threads by thread-cutting heads with round combs from fast-cutting steel is considered. The work purpose - development of a technique of definition of torques and forces of cutting at a threading of external threads by thread-cutting heads. It is shown that the total torque at a threading grooves consists of the moment of cutting and the moment of a friction of teeth on a calibrating part of combs. According to it the technique of determination of forces of cutting depending on a step of a cut carving, lengths of an intaking cone of combs, quantities of cutting and calibrating teeth is offered. Results of pilot studies are carried out at a threading grooves in a range of diameters of 20-30 mm with a step of 1,5-3 mm, and also the share of forces of a friction in the general balance of forces of a threading grooves is experimentally established. The technique and algorithm of determination of total length of cutting edges of combs is given. High stability of a ratio of making forces of a threading grooves and their value for standard combs is shown. Results of researches can be used at tool design, determination of used capacity of the equipment and other calculations. Tab. 1. Fig. 3. Lit. 5.

**Keywords:** Thread, Head, Cutting Force, Torque, Algorithm

1. Добрянський С.С. Сили і точність при нарізуванні різьб головками. Вісник НТУУ «КПІ»: серія «Машинобудування», - 2012. - № 64. - С.43-46.
2. Таврит Г.Э., Пуховский Е.С., Добрянский С.С. Прогрессивные процессы резьбоформирования. - К. Техніка, 1975. - 239 с.
3. Справочник нормировщика-машиностроителя. Том 2. Техническое нормирование станочных работ. Под ред. Стружестраха. - М. : ГНТИМЛ, 1961. - 892 с.
4. Карцев С.П. Инструкция по эксплуатации винторезных головок с круглыми гребенками. - М. ЦБТИ, 1961. – 55 с.
5. Коротков В.П., Кустарев Б.Г., Хныкина А.В. Взаимозаменяемость резьбовых сопряжений. - М.: Машиностроение, 1968. – 215 с.

**REFERENCES**

1. Dobryansky S.S. Sily i tochnist pry narizuvanni rizb golovkamy. (Forces of cutting and accuraci at threading grooves by heads) Journal of mechanical engineering, Kyiv, NTUU "KPI", 2012, no. 64, pp. 43-46.
2. Taurit G., Puhovsky E., Dobriansky S. Progressivnyye processy rezboformirovaniia. Threading progressive processes. Kyiv, Technika, 1975, 239 p.
3. Spravochnik normirovschika-mashynostroitelia. Tom 2. Tehnicheskoe normirovanie stanochnyh rabot. Reference quantity surveyor, mechanical engineers. Volume 2. Technical regulation of machine work. Ed. Struzhestraha. Moscow: GNTIML, 1961. 892 p.
4. Karcev S.P. Instrukcia po ekspluatatsii vintoreznyh golovok s kruglymi grebenkami. User manual screw cutting heads with round combs. Moscow, TSBTI, 1961, 55 p.
5. Korotkov V.P., Kustarev B.G., Hnykina A.V. Vzaimozameniaemost rezbovyh sopriazhenij. Interchangeability of threaded couplings. Moscow, Mashinostroenie, 1968, 215 p.