

Toczenie gwintu w stanie zahartowanym

Hard turning of thread

BOGUSŁAW PYTLAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.417

W pracy przedstawiono wyniki badań dla toczenia gwintu falistego w stanie zahartowanym. Badania prowadzono w oparciu o metodykę Taguchiego, gdzie badano wpływ parametrów skrawania na siły skrawania i chropowatość powierzchni. Otrzymane wyniki badań wskazują na możliwość obróbki gwintu w stanie zahartowanym metodą toczenia.

SŁOWA KLUCZOWE: toczenie na twardo, obróbka gwintu, siły skrawania, chropowatość powierzchni, metoda Taguchiego

This paper presents results of the research for rope thread hard turning. The research was conducted according to the Taguchi methodology, where the influence of cutting parameters on cutting forces and surface roughness was investigated. The obtained results indicate the possibility of thread cutting by hard turning.

KEYWORDS: hard turning, thread machining, cutting forces, surface roughness, Taguchi method

Wzrost popularności toczenia na twardo przyniósł w ostatnich latach wiele ciekawych odmian tej metody obróbki [1]. Jedną z nich jest obróbka gwintu w stanie zahartowanym. W tradycyjnych procesach wytwarzania gwint jest na ogół wykonywany w materiale w stanie nieutwardzonym. Następnie po przeprowadzeniu procesu obróbki cieplnej wykonany w tą metodą gwint poddaje się obróbce wykończeniowej, którą jest najczęściej czasochłonny proces szlifowania [2]. Zastosowanie narzędzi z regularnego azotku boru (CBN – *cubical boron nitride*) pozwala na wykonanie pełnego gwintu bezpośrednio w materiale w stanie zahartowanym. Oczywiście mowa tutaj o tradycyjnej metodzie nacinania gwintu, w której zarys gwintu jest odwzorowaniem kształtu płytki skrawającej. W odróżnieniu od tej metody w pracy do obróbki gwintu zastosowano metodę toczenia gwintu uniwersalnym narzędziem punktowym. W metodzie tej poprzez odpowiednie zaprogramowanie toru ruchu narzędzia punktowego można uzyskać dowolny zarys gwintu już przy jednym przejściu narzędzia. Szczegółowy opis i zalety tej metody przedstawiono w pracy [3].

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań doświadczalnych odnośnie do możliwości obróbki gwintu w stanie zahartowanym przy pomocy metody toczenia gwintu. Badania te prowadzono w oparciu o metodykę Taguchiego [4].

Metodologia

W pracy badano wpływ prędkości skrawania v_c , posuwu f oraz grubości warstwy skrawanej a_p na składową: główną F_c , odporową F_p i posuwową F_f siły skrawania [5] oraz chropowatość powierzchni określoną parametrem Ra .

Badania doświadczalne prowadzono przy pomocy metodyki Taguchiego, gdzie definiuje się funkcję straty będącą różnicą pomiędzy wartością doświadczalną a wartością

pożądaną. Funkcję straty można z kolei przekształcić na współczynnik stosunku sygnał/szum S/N , który w zależności od charakterystyki badanej wielkości może być: im mniejszy tym lepiej, im większy tym lepiej, im bliższy nominalnemu tym lepiej. Wartości współczynnika sygnał/szum S/N dla składowych siły skrawania F_c , F_p i F_f oraz parametru Ra chropowatości powierzchni obliczono przy założeniu: im mniejsze tym lepiej (*Smaller is the Better* – SB), za pomocą równania:

$$S / N_{SB} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

gdzie: n – liczba pomiarów dla danego układu planu eksperymentu, y_i – zmierzona wartość badanej wielkości.

Do badań doświadczalnych przyjęto po trzy wartości nastaw parametrów skrawania $v_c = 9,37; 16,40; 23,44$ m/min (100, 175, 250 obr/min), $f = 0,04; 0,09; 0,14$ mm/obr i $a_p = 0,1; 0,2; 0,3$ mm, określanymi kolejno jako poziom 1, 2 i 3. Badania doświadczalne prowadzono wg planu eksperymentu opartego na prostokątnej macierzy L_9 .

Badania prowadzono na 27 wałkach (9 układów planu \times 3 powtórzenia) ze stali 18CrMo4. Na wałkach tych najpierw toczono gwint falisty R32 wg normy ISO 10208 [6]. Następnie wałki te poddano obróbce cieplno-chemicznej, tj. operacji nawęglania na głębokość 2 mm, hartowania oraz odpuszczania do twardości 60 ± 2 HRC. W kolejnym kroku po wstępnym przetoczeniu gwintu mającym na celu usunięciu warstwy zgorzeliny oraz zniwelowanie niedokładności ponownego mocowania wałków przeprowadzono właściwe badania. Obróbkę prowadzono na tokarce CNC TUG 56-MN, przy pomocy płytek skrawających GITM 4,00K-2,00 gatunku IB20H firmy Iscar. Płytki te mocowano w oprawce GHDR 25-4. Pomiary składowych sił skrawania F_c , F_p i F_f prowadzono przy pomocy siłomierza firmy Kistler typu 9272. Chropowatość powierzchni mierzono na profilometrze Pethometer Concept firmy Mahr w trzech miejscach, równomiernie rozmieszczonych na obwodzie gwintu co 120° , dla każdego z trzech powtórzeń układu planu eksperymentu. Obliczenia związane z opracowaniem wyników badań wykonano przy użyciu oprogramowania Statistica v12.5.

Wyniki badań i ich analiza

Uzyskane z pomiarów średnie wartości (dla czasu skrawania 60 s) składowej: F_c , F_p i F_f siły skrawania oraz chropowatości powierzchni Ra , wraz z odpowiadającym im współczynnikiem S/N_{SB} zamieszczono w tabelicy I.

W tabelicy II oraz na rys. 1 zamieszczono wartości średnie współczynnika S/N_{SB} dla poszczególnych poziomów nastaw parametrów skrawania dla średniej wartości składowej: F_c , F_p i F_f siły skrawania. Dodatkowo dla każdego parametru skrawania zamieszczono wyliczoną różnicę pomiędzy maksymalną i minimalną wartością współczynnika $S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$ oraz całkowitą wartość średnią η współczynnika S/N_{SB} .

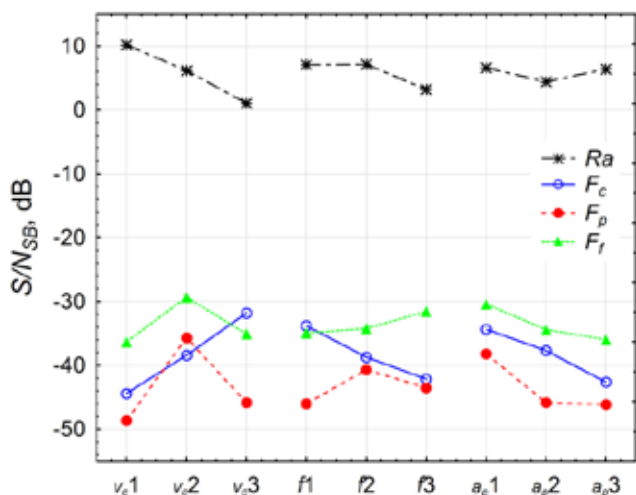
* Dr inż. Bogusław Pytlak (bpytlak@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humaniściyczna w Bielsku Białym

TABLICA I. Średnie wartości składowych: F_c , F_p i F_f siły skrawania oraz parametru R_a wraz z odpowiadającym im współczynnikiem S/N_{SB}

Nr ukt.	F_c , N	S/N_{SB} , dB dla F_c	F_p , N	S/N_{SB} , dB dla F_p	F_f , N	S/N_{SB} , dB dla F_f	R_a , μm	S/N_{SB} , dB dla R_a
1	83,4	-38,44	294,0	-49,38	61,1	-35,74	0,24	12,243
2	203,4	-46,17	380,2	-51,61	87,7	-38,87	0,28	10,931
3	268,9	-48,59	177,3	-44,98	52,6	-34,42	0,43	7,379
4	35,0	-30,91	10,9	-21,21	16,8	-24,51	0,42	7,489
5	160,1	-44,11	119,5	-41,55	29,2	-29,34	0,77	2,234
6	102,3	-40,20	161,9	-44,20	50,9	-34,17	0,36	8,900
7	48,4	-33,71	158,2	-43,98	35,4	-30,98	0,99	0,116
8	13,5	-22,72	165,4	-44,38	55,7	-34,94	0,99	0,056
9	88,8	-39,04	287,2	-49,17	92,7	-39,34	0,72	2,892

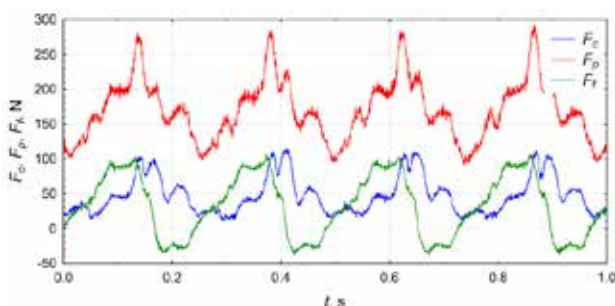
TABLICA II. Wartości średnie współczynnika S/N_{SB} dla poszczególnych poziomów nastaw parametrów skrawania dla średniej wartości składowych: F_c , F_p i F_f siły skrawania oraz parametru R_a

Parametr skrawania	F_c			
	Średnia wartość S/N_{SB} , dB			$S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$
	poziom 1	poziom 2	poziom 3	
v_c , m/min	-44,4	-38,4	-31,8	12,580
f , mm/obr	-33,8	-38,7	-42,1	8,350
a_p , mm	-34,4	-37,7	-42,6	8,260
Całkowita wartość średnia $\eta = -38,21$ dB				
Parametr skrawania	F_p			
	Średnia wartość S/N_{SB} , dB			$S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$
	poziom 1	poziom 2	poziom 3	
v_c , m/min	-48,7	-35,7	-45,8	13,003
f , mm/obr	-46,0	-40,7	-43,5	5,324
a_p , mm	-38,2	-45,8	-46,1	7,921
Całkowita wartość średnia $\eta = -43,37$ dB				
Parametr skrawania	F_f			
	Średnia wartość S/N_{SB} , dB			$S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$
	poziom 1	poziom 2	poziom 3	
v_c , m/min	-36,3	-29,3	-35,1	7,004
f , mm/obr	-34,9	-34,2	-31,6	3,367
a_p , mm	-30,4	-34,4	-36,0	5,566
Całkowita wartość średnia $\eta = -33,59$ dB				
Parametr skrawania	R_a			
	Średnia wartość S/N_{SB} , dB			$S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$
	poziom 1	poziom 2	poziom 3	
v_c , m/min	10,2	6,2	1,0	9,163
f , mm/obr	7,1	7,1	3,2	3,862
a_p , mm	6,6	4,4	6,4	2,209
Całkowita wartość średnia $\eta = 5,80$ dB; – poziom optymalny				



Rys. 1. Wykres wartości średnie współczynnika S/N_{SB} dla średniej wartości składowych: F_c , F_p i F_f siły skrawania oraz parametru R_a

Analiza tabl. I oraz rys. 1 wskazuje, że w przypadku składowej głównej F_c siły skrawania optymalne poziomy nastaw parametrów skrawania (największe wartości S/N_{SB}) są następujące: v_{c3} , f_1 , a_{p1} . Dla składowej odporowej F_p optymalne poziomy są następujące: v_{c2} , f_2 , a_{p1} , a dla składowej F_f : v_{c2} , f_3 , a_{p1} . Natomiast dla chropowatości powierzchni opisanej parametrem R_a optymalne poziomy nastaw są następujące: v_{c1} , f_1 (lub f_2), a_{p1} i praktycznie pokrywają się z poziomami nastaw dla składowej głównej F_c siły skrawania, gdyż dla parametru R_a wartości współczynnika S/N_{SB} dla poziomu v_{c1} i v_{c3} są zbliżone. Odstępstwa od tej reguły dla pozostałych składowych F_p i F_f siły skrawania można tłumaczyć stosunkowo dużą zmiennością wartości tych sił w czasie (rys. 2) oraz analizą tylko wartości średnich dla tych sił. Podsumowując wyniki badań doświadczalnych, to najbardziej istotny wpływ na składowe siły skrawania i chropowatość powierzchni ma prędkość skrawania v_c (największe różnice wartości $S/N_{SB \max} - S/N_{SB \min}$). Wzrost prędkości skrawania v_c , spadek wartości posuwu f i grubości warstwy skrawanej a_p powodują zmniejszenie wartości składowych sił skrawania i chropowatości powierzchni opisanej parametrem R_a .



Rys. 2. Przykładowy przebieg składowych: F_c , F_p , F_f siły skrawania dla nastaw parametrów skrawania: v_{c3} , f_2 , a_{p1}

Na rys. 2 można zauważyć ujemne wartości składowej posuwowej F_f , co wynika z faktu, że podczas toczenia gwintu nóż znajduje się raz z jednej, a raz z drugiej strony zwoju gwintu. Ponadto duża zmienność składowej odporowej F_p jest wynikiem dynamicznego ruchu suportu obrabiarki w osi X.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań doświadczalnych wskazują na możliwość toczenia gwintu w stanie zahartowanym. Zastosowanie metodyki Taguchi'ego pozwoliło ograniczyć liczbę przeprowadzanych eksperymentów oraz określić optymalne poziomy nastaw parametrów skrawania. Optymalne poziomy nastaw parametrów skrawania ze względu na kryterium składowej głównej F_c siły skrawania i chropowatości powierzchni określonej parametrem R_a są następujące: v_{c3} , f_1 , a_{p1} ($v_c=23,44$ m/min, $f=0,04$ mm/obr i $a_p=0,1$ mm).

LITERATURA

- Davim J.P. „Machining of hard materials”. London: Springer-Verlag, 2011.
- Oczko K.E. „Relacja toczenia na twardo do szlifowania”. *Mechanik*. R. 78, nr 1 (2005): s. 5÷3.
- Pytlak B. „Obróbka gwintów narzędziem punktowym na tokarkach CNC”, *Mechanik*. R. 87, nr 5–6 (2014): s. 382÷386.
- Taguchi G. „Introduction to quality engineering”. Asian Productivity Organization (APO), 1990 Tokyo, Japan.
- Hamza K. Akyildiz. „Evaluating of cutting forces in thread machining”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. R. 68, nr 5 (2013): s. 1601÷1612.
- ISO 10208:1991, Rock drilling equipment – Left-hand rope threads. ■