

## KSZTAŁTOWANIE WARSTWY WIERZCHNIEJ STALIWA TYPU DUPLEKS POPRZEZ TOCZENIE

### THE FORMING SURFACE LAYER OF THE DUPLEX CAST STEEL AFTER TURNING

**Tomasz Dyl**

Uniwersytet Morski w Gdyni, Morska 81-87, 81–225 Gdynia,  
Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów,  
e-mail: dylu@am.gdynia.pl, ORCID 0000-0003-1001-9859

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań własnych toczenia staliwa typu dupleks w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3. Celem badań było określenie geometrii ostrza i parametrów technologicznych skrawania sprzyjających uzyskaniu chropowatości, będących w zakresie obróbki bardzo dokładnej, co pozwoli na osiągnięcie odpowiedniej jakości technologicznej powierzchni przedmiotu obrabianego. Po dokonanych badaniach eksperymentalnych ustalono występowanie zmniejszenia chropowatości przy zastosowaniu odpowiednich płytek skrawających. Obróbkę toczeniem staliwa typu dupleks zrealizowano przy zadanych parametrach technologicznych: posuw  $f = 0,1-0,2$  mm/obr; głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm, prędkość skrawania  $v_c = 50-100$  m/min. Toczenie wykończeniowe przeprowadzono na tokarce uniwersalnej CDS 500x1000 dla różnych geometrii wymiennych płytek wieloostrowych typu CCMT z węglików spiekanych pokrywanych powłokami CVD.

**Słowa kluczowe:** kształtowanie warstwy wierzchniej, zmniejszenie chropowatości powierzchni, staliwo typu dupleks, toczenie, obróbka wykończeniowa.

**Abstract:** The paper presents results of experimental studies of turning cast steel grade GX2CrNiMoCuN25-6-3-3. The aim of the research was to determine the geometry of the cutting edge and the technological parameters of cutting that are conducive to obtaining the roughness in the field of very accurate machining. It can achieve the appropriate technological quality of the workpiece surface. After experimental studies it was determined that there is a reduction of roughness using suitable inserts. Turning were made for the duplex cast steel. The technological parameters of machining process were used: feed rate  $f = 0.1-0.2$  mm/rev, depth of cut  $a_p = 0.5$  mm, cutting speed  $v_c = 50-100$  m/min. Longitudinal machining was made using universal lathe CDS 500 × 1000 equipped with CCMT carbide tipped inserts with CVD coatings.

**Keywords:** forming surface layer, surface roughness reduction, duplex cast steel, turning, finishing.

## 1. WSTĘP

Działalność rozwojowa i badawcza ludzi polega na wytwarzaniu coraz to nowszych i bardziej funkcjonalnych wyrobów, opracowywaniu i stosowaniu innowacyjnych procesów, dostarczaniu usług i realizacji projektów. Ogólnie ujmując, wyroby są to dobra, przedmioty i wytwory, które należy początkowo zaprojektować, następnie wytworzyć, a na końcu sprzedać, użytkować i utylizować. Przykładami wyrobów są: samoloty, statki, samochody, obrabiarki, koła zębate, wały, tuleje, a także benzyna, energia elektryczna i gaz, itp. Wyrób musi spełniać oczekiwania przyszłego użytkownika, charakteryzuje się zbiorem cech użytkowych. W przypadku maszyn i urządzeń ich możliwości i osiągi, np. trwałość, niezawodność, wynikają z cech reprezentowanych przez zespoły tworzące strukturę konstrukcyjną. Zespoły i podzespoły stanowią zbiór par kinematycznych, natomiast zbiór cech użytkowych uwarunkowany jest cechami poszczególnych par kinematycznych. Kształtowanie pożądaných cech warstwy wierzchniej w procesie technologicznym jest ważnym problemem ze względu na zdolności elementów par kinematycznych do spełniania jak najdłużej przewidzianych dla nich funkcji. Tworzona w procesie technologicznym warstwa wierzchnia współpracujących elementów ma istotny wpływ na ich cechy użytkowe, decydujące o trwałości całej maszyny. Wśród nich należy wymienić: odporność na zużywanie się, wytrzymałość zmęczeniową, opory ruchu, odporność na korozję itp. [Burakowski i Wierzchoń 1995; Starosta i Dyl 2008].

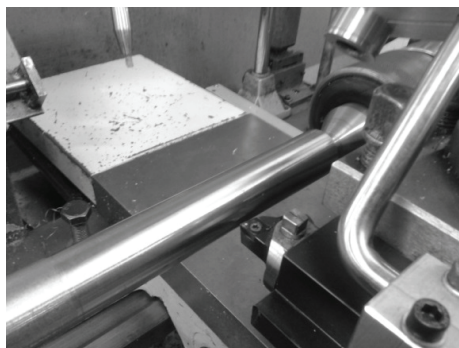
Właściwości warstwy wierzchniej wspólnie z właściwościami materiału i dokładnością wykonania warunkują jakość technologiczną wyrobu. Jakość technologiczna wyrobu rozumiana jest jako zespół cech uzyskanych po zakończeniu procesu technologicznego wytwarzania, które należy traktować równorzędnie, ponieważ są one ze sobą powiązane. Na etapie eksploatacji wyrobu jego jakość ujawnia się jako jakość użytkowa. Jakość użytkowa wyrobu jest zdeterminowana przez funkcjonalność, trwałość, odporność na zużywanie, niezawodność, wskaźniki ekonomiczne nabycia i użytkowania, estetykę oraz inne cechy. Jakość użytkowa warstwy wierzchniej jest często jednym z czynników decydujących o wartości użytkowej wyrobu (elementu, części, zespołu), czyli jego przydatności do spełniania funkcji eksploatacyjnych maszyny lub urządzenia. Istnieje zatem potrzeba kształtowania żądanych właściwości warstwy wierzchniej (WW) przez dobór odpowiednich technologii obróbki [Starosta i Dyl 2008; 2011; Dyl i Starosta 2011; 2012; 2014; Charchalis i Starosta 2016]. Tym samym dąży się do zapewnienia najlepszych właściwości użytkowych WW, takich jak: duża odporność na zużywanie cierne i erozyjne, duża wytrzymałość statyczna i dynamiczna (zmęczeniowa), duża odporność na korozję, a także uzyskanie odpowiednich walorów dekoracyjnych [Legutko 2004; Królczyk, Legutko i Gajek 2013, Królczyk i in. 2015].

Warto nadmienić, że nowoczesne projektowanie wyrobu i jego warstwy wierzchniej musi być ukierunkowane na konstruowanie zintegrowane z wytwarzaniem, a następnie na eksploatację. Warstwa wierzchnia i jej cechy technologiczne, jak i użytkowe, są obszarem intensywnych badań, zarówno ze strony badaczy zainteresowanych eksploatacją maszyn i urządzeń, jak i związanych z wytwarzaniem [Burakowski i Wierzchoń 1995; Legutko 2004; Dyl i Starosta 2011; 2012; 2014; Królczyk, Legutko i Gajek 2013, Królczyk i in. 2015; Labuda i in. 2015; Charchalis i Starosta 2016; Labuda 2017].

Jakość warstwy wierzchniej współpracujących części maszyn, uzyskana w procesie technologicznym, decyduje o ich właściwościach eksploatacyjnych. Szacuje się, że około 80–85% uszkodzeń części maszyn lokalizuje się w warstwie wierzchniej, która zajmuje zaledwie kilka procent objętości całego elementu. Na podstawie badań stwierdzono, że wytrzymałość zmęczeniową można poprawić o 50–70% poprzez zmniejszenie chropowatości, o 20–30% poprzez umocnienie warstwy wierzchniej oraz o 10–20% poprzez wprowadzenie naprężeń ściskających [Burakowski i Wierzchoń 1995; Legutko 2004; Legutko i Nosal 2004; Starosta i Dyl 2008; Dyl 2014].

Jedną z obróbek wykończeniowych stosowanych do kształtowania warstwy wierzchniej (WW) wyrobu jest obróbka skrawaniem poprzez toczenie. Jest ona obróbką, która polega na kształtowaniu właściwości technologicznych WW przy wykorzystaniu noża tokarskiego o odpowiedniej geometrii ostrza. Oddzielenie warstwy skrawanej od przedmiotu obrabianego odbywa się za pośrednictwem narzędzia monometalicznego, bimetalicznego lub z wymiennymi płytkami skrawającymi, przemieszczającego się z prędkością skrawania względem powierzchni obrobionej. Zasadniczą cechą toczenia jest właściwe kojarzenie ruchu obrotowego przedmiotu obrabianego i ruchu liniowego narzędzia tak, aby w konsekwencji ukształtować powierzchnię obrobioną o odpowiednim kształcie i wymiarach w warunkach skrawania uzasadnionego technicznie i ekonomicznie.

Na rysunku 1 przedstawiono stanowisko laboratoryjne do toczenia wzdłużnej powierzchni walcowych zewnętrznych.



**Rys. 1.** Toczenie wzdłużne powierzchni walcowych zewnętrznych

**Fig. 1.** *The longitudinal turning of external cylindrical surfaces*

## 2. METODYKA BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Powierzchnie zewnętrzne walcowe przygotowano do obróbki wykończeniowej poprzez toczenie wzdłużne średniokokładne na tokarce uniwersalnej CDS 500 × 1000 o mocy 7 kW, znajdującej się w Laboratorium Inżynierii Produkcji Katedry Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów Wydziału Mechanicznego Akademii Morskiej w Gdyni. Parametry skrawania dobrano na podstawie literatury przedmiotu [Królczyk i in. 2015; Sandvik Coromant 2018] oraz badań własnych. Do obróbki skrawaniem użyto następujących parametrów skrawania: posuw  $f = 0,2$  mm/obr, głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm, prędkość obrotowa  $n = 850$  obr/min, prędkość skrawania  $v_c = 75$  m/min. Do toczenia nie stosowano chłodzenia, obróbkę wykonano na sucho. Toczenie wzdłużne wykonano nożem tokarskim wyposażonym w trójkątną płytkę skrawającą TNMX 160408-WM, wykonaną z węglików spiekanych o gatunku GC4015 z powłoką TiN CVD, mocowaną w oprawce DTG NR 2020 K16, firmy Sandvik Coromant [Sandvik Coromant 2018], powierzchnia obrobiona uzyskiwała średnią wartość chropowatości dla parametru  $Ra_0 = 3,3$   $\mu\text{m}$ .

Kryterium doboru odpowiednich geometrii płytek skrawających dla obróbki bardzo dokładnej była średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni, która powinna zawierać się w przedziale  $Ra = 0,16\text{--}1,63$   $\mu\text{m}$ . W związku z tym do obróbki wykończeniowej zaproponowano różne rodzaje płytek skrawających (tab. 1): CCMT 09T304-UM, CCMT 09T308-UM, CCMT 09T308-MM, gdzie wszystkie wykonane są z węglików spiekanych o gatunku 2025 z powłoką CVD Ti(C,N)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN (2  $\mu\text{m}$ /1,5  $\mu\text{m}$ /2  $\mu\text{m}$ ).

Narzędzia charakteryzują się następującymi cechami: kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej  $\kappa_r = 90^\circ$ , kąt naroża  $\epsilon_r = 80^\circ$ , kąt natarcia  $\gamma = 6\text{--}7^\circ$ , kąt przyłożenia  $\alpha = 7^\circ$ , promień naroża  $r_\epsilon = 0,397\text{--}0,794$  mm. Do badań zastosowano parametry skrawania: posuw  $f = 0,1\text{--}0,2$  mm/obr, głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm, prędkość obrotowa  $n = 600\text{--}1220$  obr/min, prędkość skrawania  $v_c = 50\text{--}100$  m/min.

**Tabela 1.** Geometria i gatunki płytek skrawających użytych do toczenia próbek walcowych ze staliwa duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3

**Table 1.** The shape and grade inserts used for turning cylindrical samples with cast steel duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3

Wielkość i kształt płytki	Oznaczenie płytki skrawającej	Gatunek płytki skrawającej	Promień naroża [mm]	Kąt przyłożenia [°]	Kąt natarcia [°]
CC09T3	CCMT 09T308-MM	2025	0,794	7	7
CC09T3	CCMT 09T308-UM	2025	0,794	7	6
CC09T3	CCMT 09T304-UM	2025	0,397	7	6

Podczas obróbki staliwa typu duplex w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 może wystąpić niska trwałość narzędzia, dlatego na potrzeby badań określono stałą wartość drogi skrawania ( $L_{SC} = 10,362$  m). Jest to długość skrawania, dla której dobierane są zalecane parametry skrawania, co pozwala na osiągnięcie niezawodnego procesu. Droga skrawania jest stosowana w odniesieniu do płytki, geometrii, gatunku, głębokości skrawania oraz materiału, jaki jest poddawany obróbce. Drogę skrawania ( $L_{SC}$ , m) można obliczyć ze wzoru [Dyl i Starosta 2012]:

$$L_{SC} = \frac{\pi D_m l_m}{1000 f} \quad (1)$$

gdzie:

- $D_m$  – średnica przedmiotu obrabianego, przyjęto  $\phi$  30 mm, [mm],
- $l_m$  – długość powierzchni obrobionej [mm],
- $f$  – posuw [mm/obr].

Próby doświadczalne prowadzono dla próbek ze staliwa typu duplex w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3, o składzie chemicznym, przedstawionym w tabeli 2. Staliwo dwufazowe ferrytyczno-austenityczne nazywane jest duplexem. Staliwo duplex jest obiektem wielu badań technologicznych oraz materiałoznawczych, charakteryzuje się zwiększoną wytrzymałością na rozciąganie i korzystniejszą odpornością na korozję naprężeniową w porównaniu do staliwa austenitycznego [Paro, Hanninen i Kauppinen 2001; Królczyk, Legutko i Gajek 2013; Ran i in. 2013; Królczyk i in. 2015; Stradomski 2016; Dyl, Rydz i Stradomski 2017].

**Tabela 2.** Skład chemiczny dla próbek ze staliwa typu duplex w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 [%masowy] [Stradomski 2016]

**Table 2.** The chemical composition of duplex cast steel GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 [%mass] [Stradomski 2016]

C [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Cu [%]	Mn [%]	N [%]	Si [%]	S [%]	P [%]
0,024	25,62	6,52	2,98	2,55	0,97	0,25	0,86	0,010	0,008

Do pomiaru sił skrawania podczas procesu toczenia wykorzystano siłomierz DKM 2010, który można zamocować zarówno na tokarkach uniwersalnych, jak i obrabiarkach sterowanych numerycznie. Podczas obróbki skrawaniem rejestrowano składowe siły skrawania:

- siłę składową  $F_c$ , która działa w kierunku zgodnym z wektorem prędkości ruchu głównego i jest nazywana składową obwodową lub siłą styczną albo główną siłą skrawania;
- siłę składową  $F_f$ , która jest równoległa do kierunku posuwu i nosi nazwę składowej posuwowej siły skrawania;

- siłę składową  $F_p$ , (składowa odporowa), która jest prostopadła do powierzchni obrabianej oraz do składowych  $F_c$  i  $F_f$  przy toczeniu wzdłużnym i nazywana jest składową promieniową.

Urządzenie DKM 2010 wyposażone jest w czujnik temperatury w zakresie pracy od 300 do 800°C. Maksymalne siły skrawania nie mogą przekraczać 2000 N. Odległość pomiarowa powinna równać się minimum 2 mm. Konstrukcja siłomierza umożliwia stosowanie odpowiedniego uchwytu z gniazdem na płytce skrawającej dla noży prawych lub lewych. Siłomierz DKM 2010 posiada regulowany uchwyt, dzięki któremu możliwa jest zmiana kąta przystawienia w granicach od 45 do 90°.

Po przeprowadzonym bardzo dokładnym toczeniu wzdłużnym mierzono w pięciu punktach równo rozmieszczonych na powierzchni i w czterech punktach pomiarowych na obwodzie próbek odpowiednie parametry chropowatości. Pomiary wykonano za pomocą profilometru Hommel Tester T1000, znajdującego się w Laboratorium Inżynierii Powierzchni KMOiTR WM AMG. Określono odcinek pomiarowy o długości równej 4,8 mm, a także odcinek elementarny, który był równy 0,8 mm. Przeprowadzono pomiary parametrów chropowatości powierzchni, m.in. wykonując pomiar średniej arytmetycznej rzędnych profilu chropowatości i wyznaczając wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni z równania [Dyl 2014]:

$$K_{Ra} = \frac{Ra_0}{Ra} \quad (2)$$

gdzie:

$Ra_0$  – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni po toczeniu średniokładnym,  $Ra_0 = 3,3 \mu\text{m}$ ;

$Ra$  – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni po toczeniu bardzo dokładnym [ $\mu\text{m}$ ] (tab. 2).

### 3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Badanie eksperymentalne toczenia wykończeniowego powierzchni walcowych zewnętrznych wykonano w Laboratorium Inżynierii Produkcji, znajdującym się w Katedrze Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Gdyni.

W tabeli 3 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni i wartości sił skrawania po toczeniu wykończeniowym próbek ze staliwa typu dupleks, dla różnych wartości prędkości skrawania i posuwu oraz dla stałej wartości głębokości skrawania.

**Tabela 3.** Przykładowe wyniki pomiarów parametru chropowatości powierzchni i sił skrawania dla płytek skrawających użytych do toczenia próbek walcowych ze staliwa typu duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3

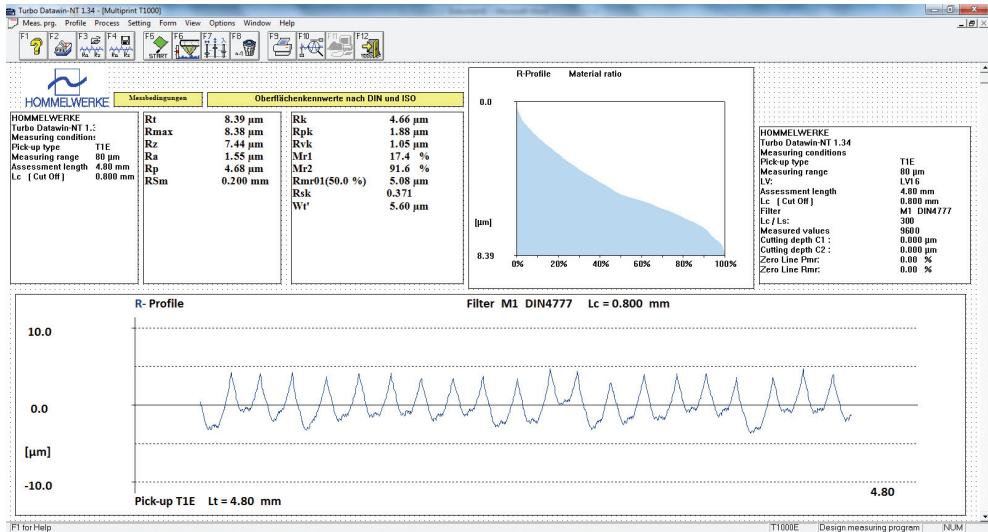
**Table 3.** An example of measurements of the parameter of surface roughness and cutting forces for inserts used for turning cylindrical samples with cast steel duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3

Oznaczenie i gatunek płytki skrawającej	Prędkość skrawania [m/min]	Posuw [mm/obr]	Głębokość skrawania [mm]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{Ra}$ [-]	Siła skrawania [N]
CCMT 09T308-MM 2025	100	0,2	0,5	9,19	1,93	1,71	350
	70			8,41	1,54	2,14	
	50			11,97	2,31	1,43	
CCMT 09T308-UM 2025	100	0,2	0,5	7,55	1,53	2,16	390
	70			7,44	1,55	2,13	
	50			7,95	1,63	2,02	
CCMT 09T304-UM 2025	70	0,2	0,5	13,85	3,03	1,09	380
	70	0,1		5,28	1,03	3,21	250

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy profil chropowatości powierzchni wraz z krzywą udziału materiałowego dla wałka ze staliwa typu duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 po toczeniu płytką skrawającą CCMT 09T308-UM 2025 dla prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min, posuwu  $f = 0,2$  mm/obr i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

Średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości powierzchni po toczeniu bardzo dokładnym dla podanego przykładu wynosi  $Ra = 1,55$   $\mu\text{m}$ , natomiast największa wysokość profilu (suma wysokości najwyższego wzniesienia profilu i głębokości najniższego wgłębienia profilu wewnątrz odcinka elementarnego) jest równa  $Rz = 7,44$   $\mu\text{m}$  (tab. 3).

Porównując parametry chropowatości i stosując różną geometrię i gatunki płytek skrawających dla stałych wartości parametrów skrawania:  $v_c = 70$  m/min,  $f = 0,2$  mm/obr i  $a_p = 0,5$  mm, można zauważyć, że powierzchnia obrobiona próbek stalowych po toczeniu płytką skrawającą CCMT 09T308-UM 2025 uzyskuje niskie wartości parametrów chropowatości (tab. 3). Natomiast wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni był jednym z największych i równał się  $K_{Ra} = 2,13$ .



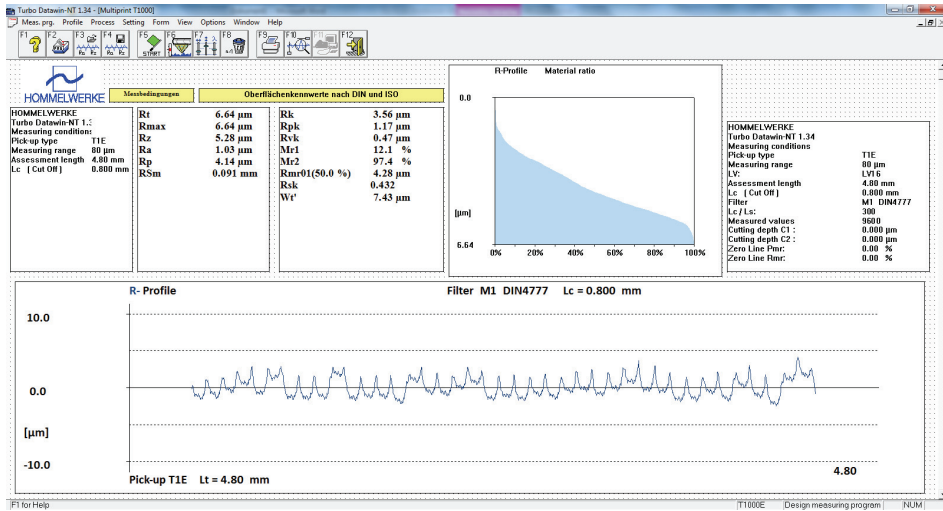
**Rys. 2.** Profil chropowatości powierzchni i krzywa udziału materiałowego dla wałka ze staliwa typu GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 po toczeniu płytką skrawającą CCMT 09T308-UM 2025 dla prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min, posuwu  $f = 0,2$  mm/obr i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm

**Fig. 2.** The Abbott-Firestone curve and the profile roughness for the shaft with cast steel duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 after turning for insert CCMT 09T308-UM 2025 for the cutting speed  $v_c = 70$  m/min and feed  $f = 0.2$  mm/rev and depth of cut  $a_p = 0.5$  mm

Na rysunku 3 przedstawiono krzywą udziału materiałowego oraz przykładowy profil chropowatości powierzchni wałka ze staliwa typu GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 po obróbce skrawaniem płytką CCMT 09T304-UM 2025 dla posuwu  $f = 0,1$  mm/obr, prędkości  $v_c = 70$  m/min i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

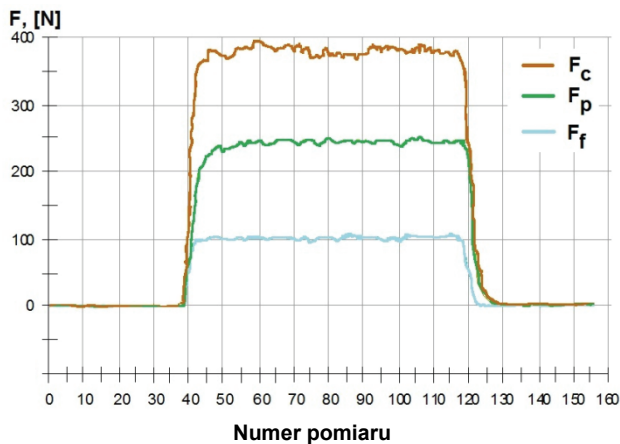
Biorąc pod uwagę zastosowanie różnych wartości posuwu przy pozostałych stałych parametrach skrawania, można zauważyć, że dla mniejszej wartości posuwu równej  $f = 0,1$  mm/obr, przy stałej prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm, stosując płytkę skrawającą typu CCMT 09T304-UM 2025 uzyskuje się jeszcze mniejsze wartości parametrów chropowatości niż dla pozostałych powierzchni obrobionych z zastosowaniem posuwu  $f = 0,2$  mm/obr (tab. 3). Wskaźnik zmniejszenia chropowatości powierzchni był równy  $K_{Ra} = 3,21$ , jest to największa wartość spośród przedstawionego zakresu badań.





**Rys. 3.** Profil chropowatości powierzchni i krzywa udziału materiałowego dla wałka ze staliwa typu GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 po toczeniu płytką skrawającą CCMT 09T304-UM 2025 dla posuwu  $f = 0,1$  mm/obr, prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm

**Fig. 3.** The Abbott-Firestone curve and the profile roughness for the shaft with cast steel duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 after turning for insert CCMT 09T304-UM 2025 for the feed  $f = 0.1$  mm/rev and cutting speed  $v_c = 70$  m/min and depth of cut  $a_p = 0.5$  mm



**Rys. 4.** Przebieg sił skrawania dla toczenia płytką skrawającą CCMT 09T308-UM 2025 próbek walcowych ze staliwa typu duplex GX2CrNiMoCuN 25-6-3-3,  $f = 0,2$  mm/obr,  $a_p = 0,5$  mm,  $v_c = 70$  m/min,  $Ra = 1,55$  µm

**Fig. 4.** The course of the cutting forces after turning for insert CCMT 09T308-UM 2025 for the shaft with cast steel duplex GX2CrNiMoCuN 25-6-3-3,  $f = 0.2$  mm/rev,  $a_p = 0.5$  mm,  $v_c = 70$  m/min,  $Ra = 1.55$  µm

Wypadkową całkowitą siłę, działającą na ostrze noża tokarskiego, rozkłada się zazwyczaj na trzy wzajemnie prostopadłe składowe, gdzie  $F_c$  jest główną siłą skrawania,  $F_f$  – posuwową siłą skrawania, a  $F_p$  jest składową siłą odporową.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy przebieg sił skrawania dla toczenia płytką skrawającą CCMT 09T308-UM 2025 próbek walcowych ze staliwa typu dupleks GX2CrNiMoCuN 25-6-3-3, dla posuwu  $f = 0,2$  mm/obr, głębokości  $a_p = 0,5$  mm i prędkości skrawania  $v_c = 70$  m/min. Tego typu rozkład sił skrawania jest charakterystyczny dla danego programu badań. Główna siła skrawania przyjmuje największe wartości  $F_c = 390$  N, natomiast siła posuwowa najmniejsze  $F_f = 100$  N, a składowa odporowa przyjmuje wartości  $F_p = 250$  N (rys. 4). Przy zastosowaniu płytki skrawającej typu CCMT 09T304-UM dla posuwu  $f = 0,1$  mm/obr wartości składowych sił skrawania są niższe ( $F_c = 250$  N,  $F_p = 110$  N,  $F_f = 90$  N), ponieważ jest zastosowany mniejszy posuw i mniejszy promień naroża ( $r_\varepsilon = 0,397$  mm) w porównaniu do płytki skrawającej CCMT 09T308-UM ( $r_\varepsilon = 0,794$  mm).

Po przeprowadzonych badaniach doświadczalnych, przy zadanych parametrach technologicznych toczenia powierzchni walcowych zewnętrznych, określono, że geometria i gatunek płytki skrawającej, a także parametry technologiczne obróbki, mają wpływ na zmniejszenie chropowatości i rozkład sił skrawania.

Po dokonaniu analizy danych, zawartych w tabeli 3 i na rysunkach 2, 3 i 4, można stwierdzić, że aby uzyskać mniejsze wartości chropowatości powierzchni przy równoczesnym uzyskaniu powierzchni obrobionej bardzo dokładnej, tak aby zawierała się w przedziale  $Ra = 0,16\text{--}1,63$   $\mu\text{m}$ , należałoby zastosować prędkość skrawania  $v_c = 70$  m/min, posuwu  $f = 0,2$  mm/obr i głębokości skrawania  $a_p = 0,5$  mm. Podane parametry skrawania są zalecane dla płytek skrawających typu CCMT 09T308-UM, CCMT 09T308-MM o większej wartości promienia naroża ( $r_\varepsilon = 0,794$  mm). Natomiast w celu uzyskania powierzchni walcowych zewnętrznych ze staliwa typu dupleks w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 o wymaganej jakości technologicznej powierzchni (najmniejsza wartość chropowatości) zalecane jest stosowanie płytki skrawającej CCMT 09T304-UM dla mniejszej wartości promienia naroża ( $r_\varepsilon = 0,397$  mm), przy parametrach skrawania: posuw  $f = 0,1$  mm/obr, prędkość  $v_c = 70$  m/min i głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

#### 4. PODSUMOWANIE

Kształtowanie warstwy wierzchniej staliwa typu dupleks w gatunku GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 prowadzono poprzez toczenie wykończeniowe wzdłużne powierzchni walcowych zewnętrznych. Bardzo dokładną obróbkę skrawaniem wykonano przy zadanych różnych parametrach skrawania: posuw  $f = 0,1\text{--}0,2$  mm/obr; głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm, prędkość skrawania  $v_c = 50\text{--}100$  m/min i dla

różnych rodzajów płytek skrawających: CCMT 09T304-UM, CCMT 09T308-UM, CCMT 09T308-MM, gdzie wszystkie wykonane były z węglików spiekanych o gatunku 2025 z naniesioną powłoką metodą CVD.

Po zakończeniu badań eksperymentalnych obróbki skrawaniem określono, że występuje zmniejszenie chropowatości powierzchni przy zastosowaniu odpowiedniej geometrii ostrza i dla zadanych parametrów technologicznych skrawania.

Aby zrealizować cele gładkościowe, toczenie staliwa duplex należałoby przeprowadzić z wykorzystaniem płytki skrawającej CCMT 09T304-UM2025 dla promienia naroża ( $r_\epsilon = 0,397$  mm), przy parametrach skrawania: posuw  $f = 0,1$  mm/obr, prędkość  $v_c = 70$  m/min i głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

Do celów obróbki dokładnościowej możliwe byłoby również stosowanie płytek skrawających typu CCMT 09T308-UM 2025, CCMT 09T308-MM 2025 o większej wartości promienia naroża ( $r_\epsilon = 0,794$  mm). Należałoby wtedy zastosować posuw  $f = 0,2$  mm/obr, prędkość  $v_c = 70$  m/min i głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

## LITERATURA

- Burakowski, T., Wierchoń, T., 1995, *Inżynieria powierzchni metali*, WNT, Warszawa.
- Charchalis, A., Starosta, R., 2016, *The Influence of Finishing on the Tribological Properties of Plasma Sprayed MMC Coating*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 23, no. 1, s. 91–97.
- Dyl, T., 2014, *Numeryczna i eksperymentalna analiza procesu nagniatania z wykorzystaniem teorii sprężystości i plastyczności*, Prace Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia.
- Dyl, T., Rydz, D., Stradomski, G., 2017, *Nagniatanie staliwa typu duplex w aspekcie zwiększenia twardości i zmniejszenia chropowatości powierzchni*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 100, Gdynia, s. 76–86.
- Dyl, T., Starosta R., 2011, *Wpływ geometrii i gatunku płytek skrawających na strukturę geometryczną toczonych powłok stopowych*, Inżynieria Materiałowa, nr 4(182), s. 395–398.
- Dyl, T., Starosta, R., 2012, *Określenie wpływu geometrii i rodzaju materiału płytek skrawających na topografię toczonych powłok kompozytowych*, Inżynieria Materiałowa, nr 6(190), s. 701–704.
- Dyl, T., Starosta, R., 2014, *Improving the Quality of Technological Surfaces of Machines of Composite Coatings*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 21, no. 1, s. 75–82.
- Królczyk, G., Legutko, S., Gajek, M., 2013, *Predicting the Surface Roughness in the Dry Machining of Duplex Stainless Steel (DSS)*, Metalurgija, 52(2), s. 259–262.
- Królczyk, G., Niesłony, P., Legutko, S., 2015, *Determination of Tool Life and Research Wear during Duplex Stainless Steel Turning*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, vol. 15, no. 2, s. 347–354.
- Królczyk, G., Niesłony, P., Legutko, S., Hloch, S., Samardzic, I., 2015, *Investigation of Selected Surface Integrity Features of Duplex Stainless Steel (DSS) after Turning*, Metalurgija 54(1), s. 91–94.

- Labuda, W., 2017, *The Influence of Changing of Cutting Parameters on Temperature and Cutting Forces during Turning Process of Stainless Steel with CCET09T302R-MF Insert*, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 24, no. 4, s. 133–140.
- Labuda, A., Dargacz, M., Klecha, M., Kozłowska, S., 2015, *Wpływ zmiany kąta przystawienia noża tokarskiego typu wiper na wartość parametrów chropowatości powierzchni czopów wykonanych ze stali austenitycznej*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 91, Gdynia, s. 64–77.
- Legutko, S., 2004, *Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń*, WSiP, Warszawa.
- Legutko, S., Nosal, S., 2004, *Kształtowanie technologicznej i eksploatacyjnej warstwy wierzchniej części maszyn*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych PAN, Poznań.
- Paro, J., Hanninen, H., Kauppinen, V., 2001, *Tool Wear and Machinability of HIPed P/M and Conventional Cast Duplex Stainless Steels*, Wear, 249, s. 279–284.
- Ran, Q., Li, J., Xu, Y., Xiao, X., Yu, H., Jiang, L., 2013, *Novel Cu-bearing Economic al 21Cr Duplex Stainless Steels*, Materials and Design, 46, s. 758–765.
- Starosta, R., Dyl, T., 2008, *Obróbka powierzchniowa*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia.
- Starosta, R., Dyl, T., 2011, *Obróbka wykańczająca natryskiwanych płomieniowo powłok Ni-Al, ocena zużycia borazonowych płytek skrawających*, Tribologia. Teoria i Praktyka, nr 4, s. 245–252.
- Stradomski, G., 2016, *Oddziaływanie morfologii fazy sigma na kształtowania właściwości stali i staliwa duplex*, Politechnika Częstochowska, Częstochowa.
- Źródła internetowe
- Sandvik Coromant 2018, *Turning insert, Tools for metal cutting*, CoroTurn®107, <http://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/tools.aspx> (dostęp: 10.03.2018).