

ANALIZA DOŚWIADCZALNA ZJAWISKA NAROSTU PODCZAS TOCZENIA

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF BUILT-UP EDGE EFFECT DURING TURNING

W artykule przedstawiono wyniki badań zjawiska narostu, przeprowadzonych w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Charakterystyczne wielkości geometryczne tworzonego narostu analizowano przy zastosowaniu systemu do cyfrowej analizy obrazu MICROSCAN. W postaci obrazów wizyjnych oraz wykresów przedstawiono charakter zmian wybranych parametrów geometrycznych powstającego narostu oraz uzyskane wartości parametrów chropowatości powierzchni po obróbce.

The results of built-up edge effect researches, effected in Department of Production Engineering Principles at Lublin Institute of Technology are presented in this article. Characteristic geometrical sizes of arisen built-up edge were subject to analysis with usage of MICROSCAN, digital analysis system of picture. The character of changes of selected geometric parameters of arising built-up edge and obtained values of surface roughness parameters after machining are shown in form of visual pictures and graphs.

1. Wprowadzenie

Oddziaływanie ostrza narzędzia na przedmiot obrabiany podczas skrawania prowadzi do przetwarzania warstwy skrawanej w wiór. Odkształcany plastycznie materiał nawarstwia się na powierzchni natarcia ostrza narzędzia (lub jednocześnie na powierzchni natarcia i przyłożenia) tworząc narost [1-7]. Tworzenie się narostu jest zjawiskiem charakterystycznym dla materiałów elastoplastycznych. Zachodzi ono w pewnych, sprzyjających warunkach skrawania. Proces jego tworzenia ma zazwyczaj charakter niestabilny i z punktu widzenia jakości otrzymywanych produktów jest zjawiskiem niekorzystnym.

2. Powstawanie zjawiska narostu i skutki jego oddziaływań

Splywający po powierzchni natarcia ostrza narzędzia wiór, tworzy z tą powierzchnią parę trybologiczną. W trybologicznym modelu strefy kontaktowego styku wióra z powierzchnią natarcia prezentowanym w pracach [8, 9], wyodrębnia się trzy podstrefy. W podstrefie pierwszej, znajdującej się bezpośrednio w obszarze krawędzi skrawającej, wskutek osiągnięcia pełnego kontaktu wióra z powierzchnią natarcia, następuje hamowanie ruchu cząsteczek nowo utworzonej powierzchni wióra. Prowadzi to w konsekwencji do powstawania efektu zatarcia. W podstrefie tej dominują zjawiska adhezji i przy wysokich temperaturach kontaktowych dyfuzji [8]. Występujące oddziaływania siłowe wywołują naprężenia normalne oraz styczne. Koncentracja obciążeń na niewielkim obszarze, oraz prawie „czysta” chemicznie nowo utworzona powierzchnia wióra i stosunkowo aktywna powierzchnia natarcia powodują, że w tej strefie kontaktu występuje znaczna intensyfikacja zjawiska adhezji [10]. „Czystość” stykających się powierzchni i wysoka wartość generowanej temperatury w płaszczyźnie kontaktowej może prowadzić do intensywnej dyfuzji składników pary trybologicznej (przy $T > 800^{\circ}\text{C}$) jak również powstawania lokalnych zgrzein stykających się materiałów w temperaturach wyższych.

Od strony granicy międzyfazowej cząsteczki powierzchni natarcia otoczone są przez cząsteczki dolnej powierzchni wióra i oddziałują na siebie innymi siłami niż siły elementów własnej fazy. Cząsteczki powierzchni posiadają nie skompensowaną część sił, przez co stają się bogatsze w energię w stosunku do cząsteczek wewnątrz litego materiału ostrza narzędzia i wióra. Ponieważ twardość ostrza narzędzia jest znacznie większa od twardości obrabianego materiału oraz

powstającego wióra [3, 11], to powierzchnia natarcia posiada wyższą swobodną energię powierzchniową i jest tym elementem układu, który determinuje proces adhezji. Większa wartość swobodnej energii powierzchniowej decyduje o większej zdolności do przyciągania - przyłączania cząsteczek. Wychodząc z założeń przyjętych w fizykochemii strefy styku tarcowego, obniżenie ogólnego poziomu energetycznego warstwy wierzchniej jest czynnikiem nie sprzyjającym powstawaniu złącz. Udowodniono, że w obniżonych temperaturach (np. w ciekłym azocie) na powierzchniach roboczych narzędzi wykonanych ze stali szybko tnącej (SW18) nie powstaje zjawisko narostu [8].

Występujące w trakcie procesu skrawania naciski powierzchniowe, odpowiednie zbliżenie powierzchni oraz ich stan energetyczny sprzyjają zaistnieniu procesu szepiania. Cząsteczki obu powierzchni oddziałują na siebie bezpośrednio w miejscu ich styku, jak również na cząsteczki oddalone nieco dalej od powierzchni międzyfazowej w kierunku normalnym. Siły wzajemnych oddziaływań jednak słabną w miarę wzrostu tej odległości. Wysycenie sił spójności między nimi uzależnione jest od innych atomów znajdujących się w najbliższym otoczeniu [10, 12]. Wzrost liczby atomów sąsiadujących powoduje wzrost stopnia wysycenia sił i tym samym spadek swobodnej energii powierzchniowej. Badania [13] dowodzą, że swobodna energia powierzchniowa jest funkcją takich wielkości jak: parametry cech stereometrycznych powierzchni, udział czynników chemicznych (cieczy obróbkowych) oraz zanieczyszczeń w warstwie wierzchniej, temperatury, naprężeń własnych, defektów struktury, rodzaju materiału, jego twardości i wytrzymałości. Należy w tym miejscu nadmienić, że funkcja określająca wartość swobodnej energii powierzchniowej jest złożona nie tylko ze względu na wielość czynników mających bezpośrednio wpływ na jej wartość, lecz również ze względu na zmiany jej właściwości w czasie i dynamikę samego procesu skrawania.

Rozrastająca się na powierzchni natarcia ostrza narzędzia strefa stagnacji (zastoju) prowadzi do łączenia się warstewki materiału wióra z powierzchnią natarcia narzędzia. Wytrzymałość na granicy tworzonej „spoiny” uzależniona jest od ciągle zmieniającej się postaci geometrycznej powierzchni łączonych materiałów, składu chemicznego, morfologii wytworzonych warstewek konwersyjnych, powierzchniowych defektów strukturalnych itp. Ocenia się, że połączenie wióra z narzędziem w strefie zatarcia przewyższa wartość sił kohezji materiału obrabianego. „Wewnątrz” narostu prędkość ruchu cząsteczek (wykluczając drgania i ruch atomów) jest równa zero. Wtórne ścina-

nie materiału zachodzi nad górną powierzchnią narostu. Prędkość liniowa cząsteczek przyległych bezpośrednio do powierzchni zewnętrznej narostu zmienia się od zera do prędkości, z jaką przemieszcza się wiór. W obszarze tym występują bardzo duże odkształcenia (silne płynięcie materiału), większe niż w strefie ścinania. Prowadzą one do zaniku ziaren materiału bez wyraźnej granicy faz pomiędzy tą strefą, a wiórem. Literatura [6] podaje, że grubość przyległej warstwy do powierzchni narostu wynosi $20\div 50\ \mu\text{m}$. Narost, pomimo chemicznej tożsamości z materiałem obrabianym (wiórem), wykazuje inną budowę strukturalną. Silnie zgniecione porcje materiału na powierzchni natarcia ostrza skrawającego posiadają strukturę warstwową. U podstawy narostu warstewki te układają się prawie równolegle do powierzchni natarcia ostrza, przy wierzchołku są zaś silnie zakrzywione. Z literatury wynika, że twardość narostu jest $2.5\div 3$ razy większa od obrabianego materiału i jest zmienna w jego przekroju [2, 4, 11]. Najwyższą wartość twardości obserwuje się w bezpośrednim obszarze krawędzi skrawających, nieco niższą zaś w środkowej części narostu i najniższą w pobliżu wierzchołka [11].

W pewnej odległości od krawędzi skrawającej, można wyodrębnić podstrefę przejściową. Powierzchnia międzyfazowa (dolna powierzchnia wióra - powierzchnia natarcia) w tej podstrefie pozostaje nadal w złożonym układzie oddziaływań fizycznych. W obszarach kontaktu występuje obniżenie wartości sił normalnych, nie mniej jednak oddzielne nierówności trących powierzchni są na tyle blisko, że powstają jeszcze silne złącza adhezyjne. Przemieszczanie wióra po powierzchni natarcia w tym obszarze następuje wskutek poślizgu zewnętrznego [8, 9].

Za strefą przejściową wyodrębnia się kolejną strefę, w której zachodzi czyste tarcie ślizgowe i oddziaływania wiór - powierzchnia natarcia mają charakter sprężysty [8, 9]. W miarę oddalania się wióra od krawędzi skrawającej, wiór traci kontakt z tą powierzchnią i jest odprowadzany ze strefy skrawania.

Powstawanie zjawiska narostu podczas skrawania, rozważane w kontekście jakości otrzymywanych powierzchni oraz zachodzących procesów fizycznych jest zjawiskiem niekorzystnym. Prowadzi ono do ciągłych zmian cech geometrycznych ostrza narzędzia skrawającego, cyklicznych zmian głębokości skrawania, a w konsekwencji do błędów obróbki. Odrywające się cząstki materiału przylegają do powierzchni obrabianej tworząc zadziory, wgniecenia i nierówności powierzchni. Proces ten, w sposób istotny pogarsza cechy geometryczne powierzchni obrabianych elementów. Ponadto, odrywane narosty o dużej twardości, przemieszczając się po powierzchni natarcia ostrza narzędzia działają jak „mikroostrza”, prowadząc do intensyfikacji procesu zużycia narzędzia. Cykliczny charakter tworzenia i zrywania narostu (ok. $3\cdot 10^3\div 4\cdot 10^3$ cykli/min przy $v_c=40\div 60$ m/min [2]) prowadzi do pulsacji sił skrawania, skutkiem czego jest powstawanie drgań systemu obróbkowego. Powstawanie narostu w sposób istotny wpływa na przebieg wielu procesów fizycznych zachodzących w strefie skrawania. Z uwagi na zmianę rzeczywistego kąta natarcia zmianie ulega np. mechanizm tworzenia wióra, proces zużycia ostrza narzędzia itp. Badania dowodzą, że przy kątach natarcia $\gamma \geq 40^\circ$, zjawisko narostu zanika i jego wpływ na rzeczywisty kąt natarcia jest nieistotny [4]. Tworzenie narostu w przypadku dokładnej obróbki przedmiotów o małej sztywności szczególnie negatywnie wpływa na cechy geometryczne powstającej powierzchni. Czynniki intensyfikującymi powstawanie narostu są: rodzaj i właściwości materiału obrabianego oraz narzędzia, prędkość skrawania, grubość warstwy skrawanej, cechy geometryczne ostrza narzędzia skrawającego, rodzaj cieczy obróbkowej i sposób jej doprowadzenia.

Prędkość skrawania obok fizycznych właściwości obrabianego materiału jest jednym z najistotniejszych czynników wpływających na przebieg tworzenia i zanikania narostu. Jak podaje Bobrov [4] intensyfikacja tego procesu ma miejsce w określonym zakresie prędkości skrawania, posuwów oraz odpowiadających im temperatur i sił skrawania. Jak dowodzą badania [4] najintensywniejszy rozwój na-

rostu odpowiada takiej prędkości skrawania, przy której temperatura kontaktowa wiór-powierzchnia natarcia wynosi ok. 300°C . Całkowity zanik narostu obserwowany jest natomiast przy prędkości skrawania, przy której wartość temperatury kontaktowej wynosi ok. 600°C . W zależności od wartości prędkości skrawania wyodrębnia się obszar stabilnego oraz niestabilnego narostu. Granicę przedziałów pomiędzy stabilnym oraz niestabilnym procesem powstawania narostu stanowią: maksymalna wartość wysokości oraz kąta narostu (rzeczywistego kąta natarcia). Niebezpieczeństwo powstawania i szkodliwego wpływu narostu obserwowane jest szczególnie wyraźnie podczas obróbki takich materiałów jak: niskowęglowe i średniowęglowe stale konstrukcyjne, stale stopowe, żeliwa szare, aluminium, siluminy. Do materiałów nie wykazujących skłonności do tworzenia narostu zalicza się: mosiądz, miedź, brąz, większość stopów tytanu, żeliwo białe, stale zahartowane. Szczególnie negatywny wpływ narostu obserwowany jest podczas toczenia kształtowego, przeciągania, wiercenia, rozwiercania i gwintowania [2, 6]. Jego minimalizację prowadzić można na drodze technologicznej np. poprzez stosowanie odpowiedniego sposobu chłodzenia i rodzaju cieczy obróbkowych (powierzchniowo-aktywnych), stosowanie narzędzi o ostrzach powlekanych powłokami ograniczającymi powstawanie zjawiska adhezji itp. Badania przeprowadzone przez Legutko dowodzą, że zastosowanie ciekłego azotu jako medium roboczego eliminuje powstawanie narostu na powierzchniach roboczych ostrzy narzędzi wykonanych ze stali szybkołatającej SW18. Do sposobów nieco innego typu, zalicza się: stosowanie możliwie wysokich prędkości skrawania - bliskich zakresowi zanikania zjawiska narostu, wzbudzenie drgań ultradźwiękowych narzędzia, stosowanie układów nadzorowania (stosunkowo trudne z uwagi na niestabilność tworzenia narostu, cykliczność jego powstawania, dynamikę skrawania), a ponadto konstrukcyjne zmiany cech geometrycznych ostrzy narzędzi skrawających oraz właściwości fizycznych obrabianych materiałów.

3. Badania doświadczalne

Badania doświadczalne podzielono na dwa etapy. W pierwszym etapie dokonano doświadczalnej weryfikacji technologicznych parametrów skrawania (v_c , a_p , f), oraz określono przedział zmienności parametrów geometrycznych powstającego narostu w różnych fazach procesu obróbki, przy różnych warunkach skrawania. Opracowano program przebiegu badań właściwych oraz wyznaczono licznosc prowadzonych prób. Etap drugi obejmował swoim zakresem wykonanie badań właściwych oraz cyfrową analizę otrzymanych obrazów wizyjnych powstałego narostu.

Badania prowadzono na tokarce uchwytovej TZC32N1 wyposażonej w układ sterowania numerycznego NUMS 321T. Do badań wykorzystano 27 elementowe zestawy noży tokarskich NNBc 25x16 z ostrzami wykonanymi ze stali szybkołatającej SW7M o znormalizowanych cechach geometrycznych. Toczeniu poddawano walcowe próbki o ustalonych cechach geometrycznych ($d=100\text{mm}$, $l=200\text{mm}$), wykonane ze stali węglowej konstrukcyjnej wyższej jakości 45 oraz stali łożyskowej ŁH15. Obróbkę prowadzono dla kilku zestawów technologicznych parametrów skrawania bez chłodzenia ($v_c=24, 34, 48$ m/min; $a_p=0.5, 1, 1.5$ mm; $f=0.2, 0.4, 0.6$ mm/obr). W badaniach wykorzystano system do komputerowej analizy obrazu *MICROSCAN* [14].

Przy niezmiennych parametrach obróbki, na odcinku o stałej dla każdego przejścia długości (wynoszącej 20mm) prowadzono obróbkę, dokonując za każdym przejściu cyfrowej rejestracji obrazu ostrza narzędzia w trzech płaszczyznach oraz stanu powierzchni przedmiotu po obróbce.

Analiza zarejestrowanych przez system *MICROSCAN* obrazów wizyjnych obejmowała wyznaczenie wybranych wartości parametrów geometrycznych tworzącego się narostu dla przyjętych zestawów technologicznych parametrów obróbki. W tabeli 1. przedstawiono przykładowe obrazy wizyjne narostu zarejestrowane podczas badań.

Tab. 1. Obrazy wizyjne narostu w wybranych płaszczynach.

		$v_c=24\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/obr}$, $a_p=0.5\text{mm}$	$v_c=34\text{m/min}$ $f=0.2\text{mm/obr}$, $a_p=0.5\text{mm}$	$v_c=48\text{m/min}$ $f=0.2\text{mm/obr}$, $a_p=0.5\text{mm}$
A_γ	45			
	ŁH15			
A_α	45			
	ŁH15			
$A_{\alpha'}$	45			
	ŁH15			

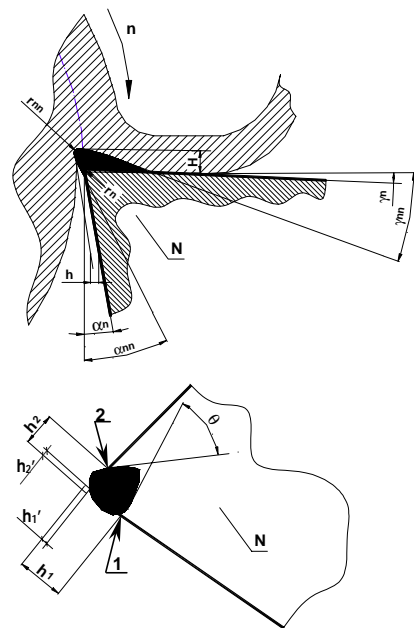
A_γ -płaszczyzna natarcia, A_α -płaszczyzna przyłożenia, $A_{\alpha'}$ -pomocnicza płaszczyna przyłożenia, powiększenie 55x

Wymiary narostu określono poprzez podanie wysokości narostu H1 i H2 oraz strefy zalegania na powierzchni natarcia - określonej przez parametry geometryczne h_1 , h_1' i h_2 , h_2' (rys. 1).

Wysokość narostu H1 (mierzona w płaszczynie przechodzącej przez główną krawędź skrawającą) oraz H2 (mierzona w płaszczynie przechodzącej przez pomocniczą krawędź skrawającą) przyjęto jako odległość pomiędzy najdalej wysuniętym punktem utworzonego narostu a powierzchnią natarcia. Szerokość narostu h_1 określono jako odległość pomiędzy najdalej wysuniętym punktem utworzonego narostu względem pomocniczej powierzchni przyłożenia, a punktem 1 leżącym na głównej krawędzi skrawającej narzędzia. Parametr h_2 zdefiniowano jako odległość pomiędzy najdalej wysuniętym punktem narostu względem głównej powierzchni przyłożenia, a punktem 2 leżącym na pomocniczej krawędzi skrawającej narzędzia. Parametr h_1' określono jako odległość pomiędzy najdalej wysuniętym punktem utworzonego narostu względem pomocniczej krawędzi skrawającej zaś h_2' względem głównej krawędzi skrawającej narzędzia.

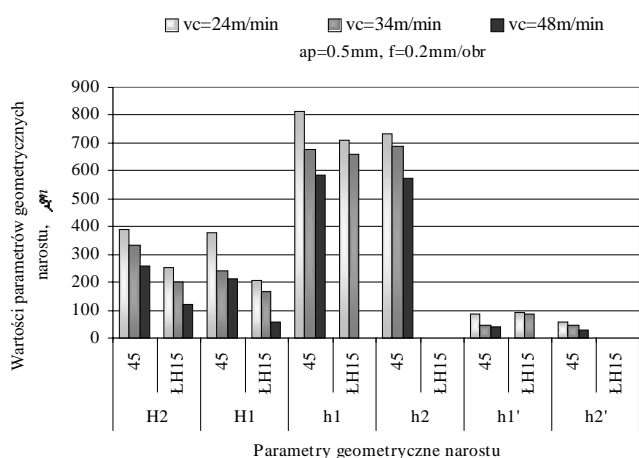
Na rys. 2 oraz rys. 3 zaprezentowano wybrane wyniki pomiarów charakterystycznych cech geometrycznych narostu, powstałego podczas obróbki różnych materiałów konstrukcyjnych przy ustalonych technologicznych parametrach skrawania.

Jak wynika z prezentowanych w tabeli 1 obrazów wizyjnych oraz wykresów (rys. 2 oraz 3), w większości przypadków parametry geometryczne narostu osiągają niższe wartości dla stali łożysko-



Rys. 1. Parametry geometryczne narostu (oznaczenia w tekście) [15]

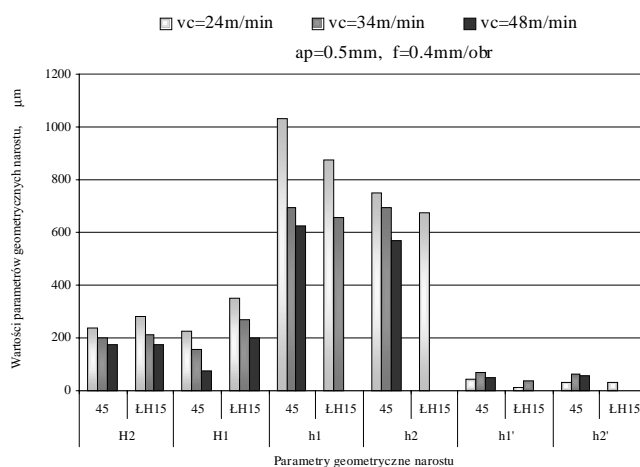
węj ŁH15, zaś wyższe dla stali węglowej konstrukcyjnej 45. Okazało się, iż w tych samych warunkach obróbki stal łożyskowa ŁH15 jest mniej podatna na tworzenie się narostu niż stal konstrukcyjna 45. Dla większości prób, nie zaobserwowano tworzenia się narostu na powierzchni przyłożenia ostrza narzędzia, zarówno w przypadku toczenia stali 45 jak również ŁH15. Analiza uzyskanych wyników badań potwierdza, iż dla wyższych prędkości skrawania (oraz bardzo niskich) zjawisko narostu zanika. Dla przyjętych w doświadczeniu rodzajów materiałów obrabianych, ich cech geometrycznych, warunków skrawania, oraz materiału ostrza narzędzia i jego geometrii można stwierdzić, że najniższe wartości prawie w wszystkich parametrów geometrycznych narostu zarejestrowano podczas obróbki z prędkością skrawania równą 48 m/min. Okazało się, że wzrost prędkości ruchu posuwowego narzędzia w sposób istotny wpływa na wartości parametrów geometrycznych charakteryzujących narost. Wraz ze wzrostem posuwu wzrasta wielkość tworzonego narostu.



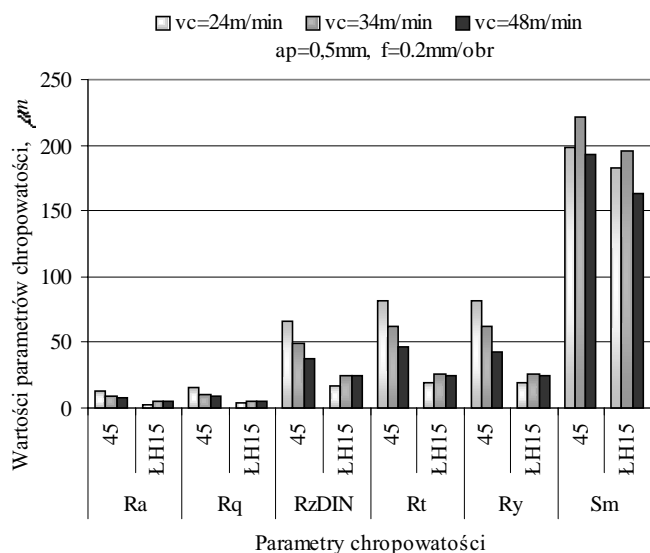
Rys. 2. Parametry geometryczne narostu po obróbce stali 45 oraz ŁH15 uzyskane przy $f=0.2\text{mm/obr}$; narzędziem o ostrzu wykonanym ze stali szybko tnącej SW7M

Analizie poddano również parametry chropowatości, charakteryzujące stan powierzchni po obróbce. Uzyskane w trakcie badań wartości średnie parametrów chropowatości powierzchni obrobionej ($R_a, R_q, R_{z(DIN)}, R_p, R_y, S_m$) przedstawiono w postaci wykresów na rys. 4 oraz rys. 5. Pomiary prowadzono przy zastosowaniu stykowego profilografometru firmy RANK TAYLOR HOBSON.

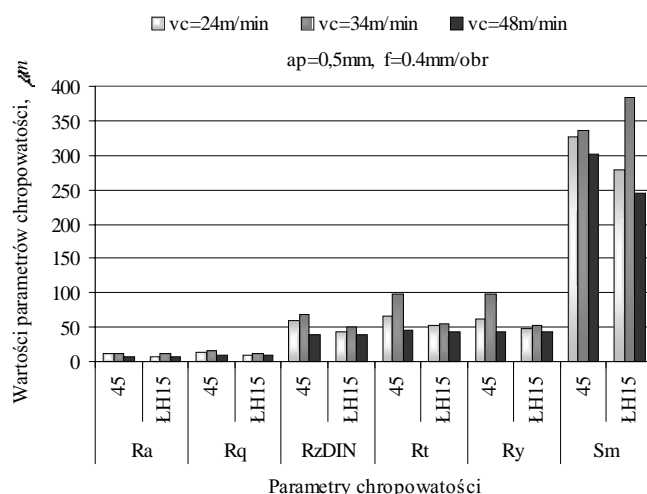
Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów można stwierdzić, że podczas obróbki stali węglowej konstrukcyjnej 45, parametry chropowatości powierzchni przyjmują wyższe wartości w stosunku do wartości parametrów uzyskiwanych w tych samych warunkach obróbki dla stali łożyskowej ŁH15. Wraz ze wzrostem wartości posuwu, stan powierzchni obrobionej ulega pogorszeniu w obydwu analizowanych przypadkach. Uzyskane w trakcie badań wartości średnie parametrów chropowatości dowodzą, że wzrost wartości parametrów geometrycznych powstającego narostu wpływa negatywnie na stan powierzchni obrobionej.



Rys. 3. Parametry geometryczne narostu po obróbce stali 45 oraz ŁH15 uzyskane przy $f=0.4\text{mm/obr}$; narzędziem o ostrzu wykonanym ze stali szybko tnącej SW7M



Rys. 4. Parametry geometryczne powierzchni po obróbce stali 45 oraz ŁH15 z posuwem $f=0.2\text{mm/obr}$; narzędziem o ostrzu wykonanym ze stali szybko tnącej SW7M



Rys. 5. Parametry geometryczne powierzchni po obróbce stali 45 oraz ŁH15 z posuwem $f=0.4\text{mm/obr}$; narzędziem o ostrzu wykonanym ze stali szybko tnącej SW7M

4. Podsumowanie i wnioski

1. Dla przyjętych warunków obróbki stal łożyskowa ŁH15 wykazuje mniejszą podatność na tworzenie się narostu na powierzchniach roboczych ostrza narzędzia (SW7M), w stosunku do stali węglowej konstrukcyjnej 45.
2. Nie zaobserwowano zjawiska powstawania narostu na głównej oraz pomocniczej powierzchni przyłożenia ostrza narzędzia. Powstawanie narostu koncentruje się głównie na powierzchni natarcia.
3. Zaobserwowano wyraźne zmiany zarówno wysokości narostu H1 oraz H2 jak również jego szerokości h_1 , h_2 , h_1' , h_2' w zależności od warunków obróbki, przy czym zaobserwowany charakter zmian parametrów geometrycznych narostu jest podobny dla każdego zestawu technologicznych parametrów obróbki.
4. Najwyższe wartości parametrów narostu H1, H2, h_1 , h_2 , h_1' , h_2' zarówno podczas skrawania stali ŁH15 jak również 45 uzyskano przy prędkości 24 m/min.
5. Wraz ze wzrostem prędkości skrawania, zmniejszaniem głębokości, posuwu, obserwowane wymiary geometryczne narostu zmniejszają się.
6. Dynamika procesu skrawania oraz cykliczny charakter powstawania i zaniku narostu, uniemożliwiają precyzyjne wyznaczenie ekstremum funkcji zmian jego parametrów geometrycznych.

5. Literatura

- [1] Jacobson S., Wallen P.: *A new classification system for dead zones in metal cutting*. Int.J.Mach. Tools Manuf., vol 28, nr 4, 1988, s. 529-538.
- [2] Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów metalowych*. WNT, Warszawa 1998.
- [3] Trent E. M.: *Metal cutting*. Butterworths, London 1989.
- [4] Bobrov V. F.: *Osnovy teorii rezanija metallov*. Mašinostroenie, Moskwa 1975.
- [5] Boothroyd G.: *Fundamentals of metal machining*. Edward Arnold, London 1965.
- [6] Przybylski L.: *Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami*. WPK, Kraków 2000.
- [7] Loladze T. N.: *Pročnost' i iznosostojkost' režuščego instrumenta*. Mašinostroenie, Moskwa 1982.
- [8] Legutko S.: *Zużycie w tribomechanicznym systemie procesu skrawania*. Tribologia, nr 1, 1997, s. 76-87.
- [9] Pytko S.: *Problemy smarowania w procesach obróbkowych*. Mechanik, nr 9, 1989, s. 401-406.
- [10] Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*. WNT, Warszawa 1980.
- [11] Kalpakjian S.: *Manufacturing processes for engineering materials*. Reading, Addison-Wesley, 1985.
- [12] Burakowski T., Wierzchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*. WNT, Warszawa 1995.
- [13] Kuczmaszewski J.: *Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali*. WU PL, Lublin 1995.
- [14] Domińczuk J.: *Stanowisko laboratoryjne do badania właściwości adhezyjnych warstwy wierzchniej*. II seminarium naukowe: Rynkowe zorientowanie inżyniera produkcji „od rynku do produkcji i procesów”. Gdańsk 1998.
- [15] Józwick J.: *Zjawisko narostu podczas skrawania i jego analiza przy wykorzystaniu systemu wizyjnego „MICRO SCAN”*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn – materiały w druku.