

## **WYBRANE ASPEKTY STANU STRUKTURY POWIERZCHNI STALI HARTOWANEJ NA PRZEBIEG NAGNIATANIA TOCZNEGO**

**Piotr WASZCZUR, Michał DOBRZYŃSKI, Bogdan ŚCIBIORSKI, Stefan DZIONK**

**Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn  
i Automatykacji Produkcji**

### **STRESZCZENIE**

*W artykule przedstawiono rezultaty badań oceny wpływu uzyskanej struktury powierzchni po toczeniu zahartowanej stali na efekty uzyskane po nagniataniu tocznym. Analizowano wybrane struktury różniące się kształtem profili i wartościami parametrów chropowatości. Porównano i oceniono uzyskane rezultaty po nagniataniu analizując wartości parametrów chropowatości i parametrów krzywej udziału materiałowego.*

**Słowa kluczowe: nagniatanie, struktura powierzchni, parametry chropowatości powierzchni**

### **1. WPROWADZENIE**

Rozwój materiałów stosowanych w technice umożliwił wykorzystanie nagniatania do obróbki materiałów twardych takich jak stale hartowane czy też stale po azotowaniu. Najczęściej obróbką poprzedzającą proces nagniatania materiałów w stanie utwardzonym jest toczenie narzędziami z polikrystalicznego regularnego azotku boru (CBN), które dają dobre rezultaty oraz narzędziami z ceramiki [1, 5, 9]. Stan struktury powierzchni po obróbce zależy od wielu czynników. W przypadku nagniatania tocznego do najważniejszych należy zaliczyć siłę normalną, posuw nagniatania i chropowatość uzyskaną po toczeniu na twardo [2, 3, 8]. Uzyskana struktura powierzchni po toczeniu zależy od geometrii ostrza skrawającego, parametrów obróbki toczeniem oraz gatunku, struktury i własności materiału obrabianego [9]. Na chropowatość powierzchni dominujący wpływ ma posuw a także stan ostrza skrawającego. W zależności od dobranych parametrów obróbkowych a przede wszystkim od pokonanej drogi skrawania następuje efekt zużycia ostrza skutkujący odwzorowaniem zużytej krawędzi skrawającej, w wyniku czego powstaje złożony kształt profilu powierzchni nie przypominający typowego profilu po toczeniu [4]. Próba oceny wpływ takich struktur powierzchni po toczeniu na efekty po nagniataniu była podejmowana przez autorów w pracy [5].

Badania struktur powierzchni przed i po procesie nagniatania można odnaleźć praktycznie w każdej pozycji dotyczącej tego zagadnienia, a rozwój pomiarów 3D umożliwia szeroką analizę struktury powierzchni wzbogaconej o przestrzenne parametry chropowatości [7]. W nowszych publikacjach można odnaleźć badania struktur poszerzone o analizę kształtów uzyskanych profili po obróbce, które uwzględniają analizę np. parametru średniego nachylenia wierzchołków profilu  $Rdq$  [2, 3].

Podczas realizacji nagniatania materiałów miękkich, występuje odkształcenie plastyczne, w wyniku którego następuje zmniejszenie nierówności powierzchni i przemieszczenie nadmiaru materiału nagniatanego zwłaszcza przy stosowaniu zbyt dużych sił nagniatających. W przypadku nagniatania materiałów twardych (powyżej 40 HRC) przemieszczanie materiału

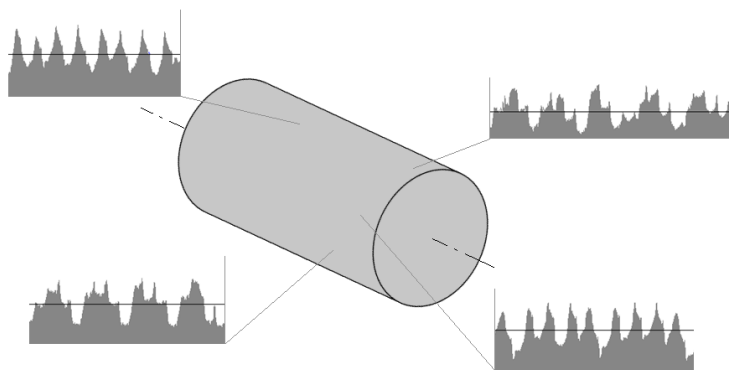
nagniatanego jest ograniczone a największe obciążenia przenoszone są przez wierzchołki nierówności powierzchni obrabianej powodując łamanie ostrych wierzchołków mikronierówności [6].

## 2. STUDIUM PRZYPADKU

Celem badań była ocena wpływu wybranych struktur powierzchni na przebieg nagniatania tocznego. Badania zrealizowano na tokarce CNC Razmer 2M-5-21/11. Obróbką poprzedzającą nagniatanie było toczenie. Do toczenia wykorzystano płytkę WNGA080408S01030A z ostrzem z CBN (7015 wg Sandvik) i promieniu naroża  $r_e = 0,8$  mm. Obróbkę przeprowadzono dla ustalonej prędkości skrawania  $v_c = 154$  m/min, głębokości skrawania  $a_p = 0,2$  mm i posuwach  $f = 0,1 \div 0,18$  mm/obr. Nagniataniu poddano wałki o średnicy 50 mm wykonane ze stali Cf 53, której twardość po zahartowaniu wynosiła 62 HRC. Proces nagniatania realizowano nagniatakiem (rys. 1), w którym elementem nagniatającym była kulka łożyskowa o średnicy  $\frac{1}{2}$ " z azotku krzemu  $Si_3N_4$ . Docisk kulek łożyskowych hydrostatycznie realizowany był za pośrednictwem poduszki olejowej regulowanej ciśnieniem z pompy hydraulicznej. Proces nagniatania realizowano dla dwóch wartości posuwu nagniatania  $f_n = 0,06$  i  $0,20$  mm/obr z prędkością nagniatania  $v_n = 140$  m/min. Jako medium zastosowano emulsję wody i oleju Hysol R (o zawartości 8%). Badania realizowano dla ustalonego ciśnienia równego 400 barów. Przykłady uzyskanych struktur zarejestrowanych profili chropowatości przedstawia rys. 2.



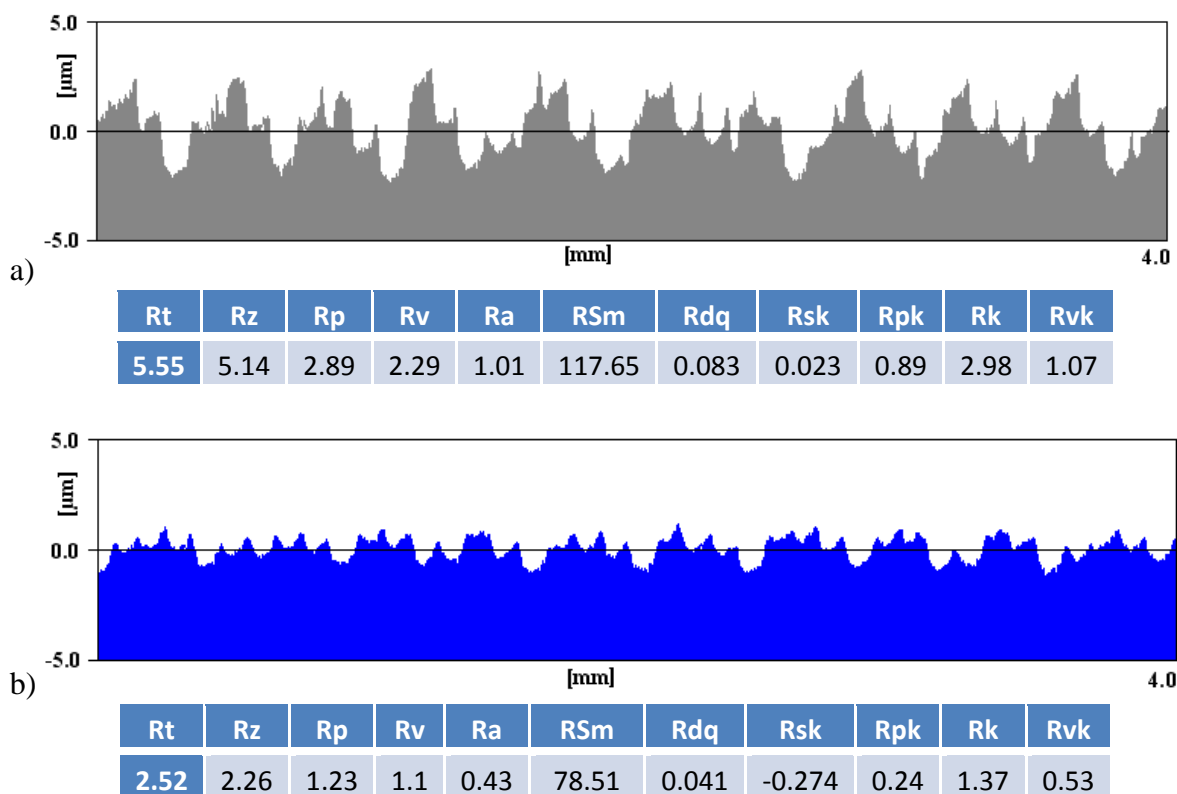
Rys. 1. Narzędzie zastosowane w badaniach z oprawką VDI B6 – 40x25x44



Rys. 2. Analizowane struktury profili chropowatości uzyskane po toczeniu

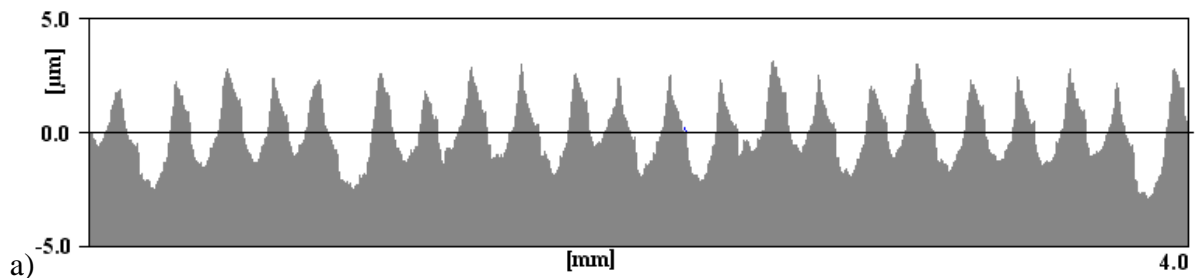
## 2. WYNIKI BADAŃ

Na rysunkach 3÷6 przedstawiono zestawienie przykładowych profili powierzchni wałków uzyskanych po toczeniu i następnie po nagniataniu uzupełnione o wartości wysokościowe parametrów chropowatości:  $R_t$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_v$  i  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ], parametrów krzywej udziału materiałowego:  $R_{pk}$ ,  $R_k$  i  $R_{vk}$  [ $\mu\text{m}$ ], średnią szerokość rowków elementów profilu  $R_{Sm}$  [mm], średnie nachylenie wierzchołków profilu  $R_{dq}$  [ $^\circ$ ] oraz współczynnik asymetrii profilu  $R_{sk}$ . W dalszej części przyjęto oznaczenia stanów powierzchni po toczeniu od T1 do T4 oraz po nagniataniu od NG1 do NG4. Profil powierzchni T1 uzyskano po toczeniu z posuwem  $f = 0,1$  mm/ obr, a profil NG1 po nagniataniu tej powierzchni z posuwem nagniatania  $f_n = 0,06$  mm/obr. Kolejne zestawienia profili: T2 po toczeniu z posuwem  $f = 0,18$  mm/obr, a profil NG2 po nagniataniu tej powierzchni z posuwem nagniatania  $f_n = 0,06$  mm/obr; T3 po toczeniu z posuwem  $f = 0,1$  mm/ obr, a profil NG3 po nagniataniu tej powierzchni z posuwem nagniatania  $f_n = 0,2$  mm/obr; T4 po toczeniu z posuwem  $f = 0,18$  mm/ obr, a profil NG4 po nagniataniu tej powierzchni z posuwem nagniatania  $f_n = 0,2$  mm/obr.

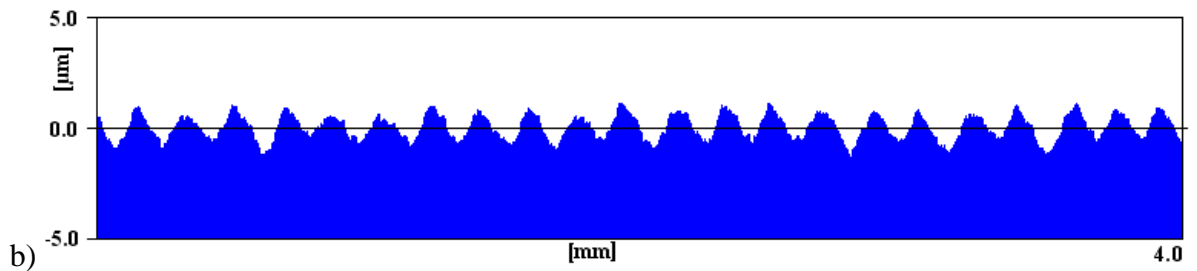


Rys. 3. Zestawienie profili powierzchni: a) T1 po toczeniu, b) NG1 nagniataniu

Jak można zauważyć, na wszystkich profilach po nagniataniu redukcji uległy wierzchołki profili chropowatości, powodując zmniejszenie wartości wszystkich parametrów chropowatości. Największą redukcję parametru chropowatości powierzchni  $R_a$  uzyskano po nagniataniu z posuwem  $f_n = 0,06$  mm/obr powierzchni toczonych T1 i T2. Dla przykładowych struktur z rysunków 3 i 4, współczynnik redukcji wyniósł około 2,3. Po nagniataniu z posuwem  $f_n = 0,2$  mm/obr toczonych powierzchni T3 i T4, wartości redukcji parametru chropowatości  $R_a$  wyniosły odpowiednio 1,9 dla struktury T3 i 1,8 dla struktury T4 (rysunki 5 i 6).

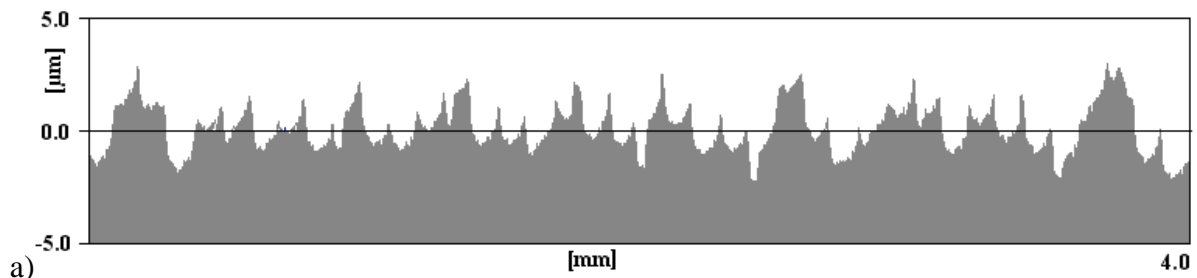


Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
6.13	5.46	3.12	1.93	1.15	0.175	0.076	0.188	1.13	3.48	1.05

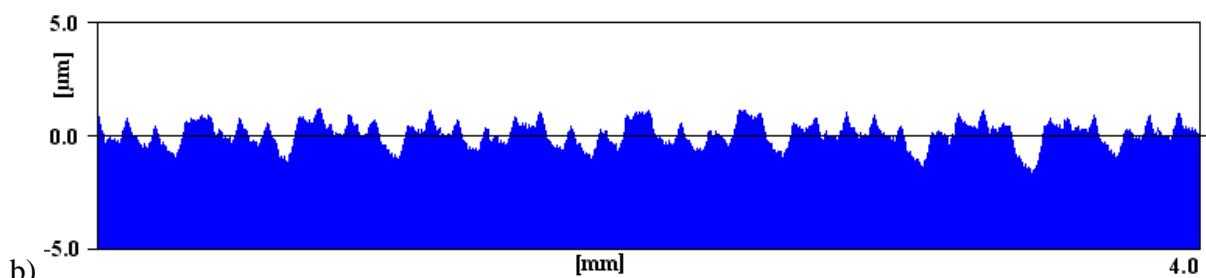


Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
2.48	2.31	1.14	0.9	0.49	134.2	0.035	-0.07	0.24	1.74	0.33

Rys. 4. Zestawienie profili powierzchni: a) T2 po toczeniu, b) NG2 nagniataniu

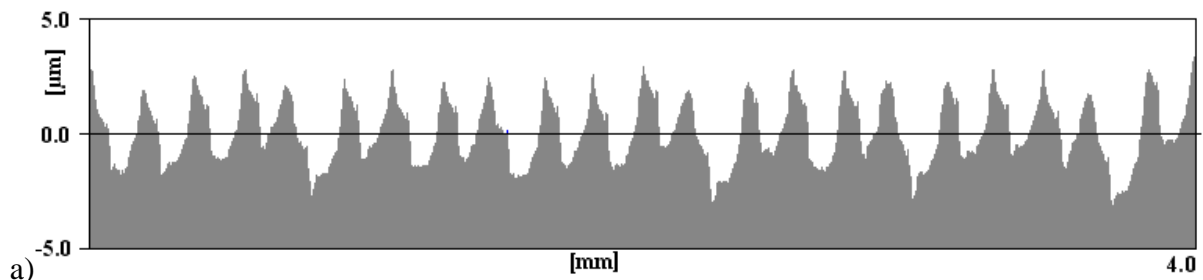


Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
5.42	4.67	3.03	1.19	0.86	88.1	0.08	0.332	1.08	2.92	0.83

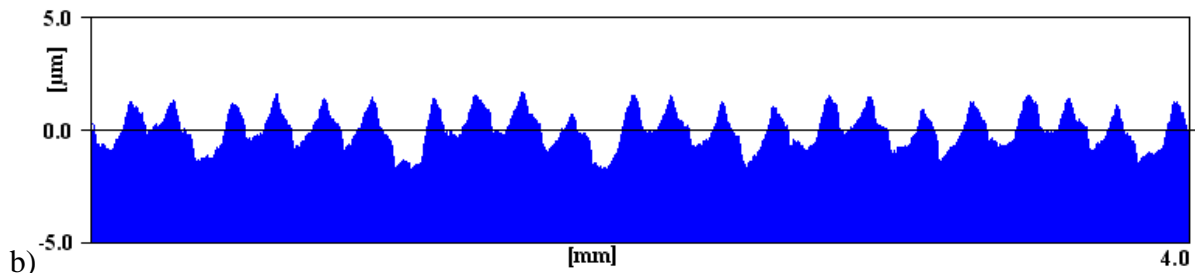


Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
2.93	2.46	1.22	1.09	0.46	69.7	0.052	-0.349	0.33	1.41	0.68

Rys. 5. Zestawienie profili powierzchni: a) T3 po toczeniu, b) NG3 nagniataniu



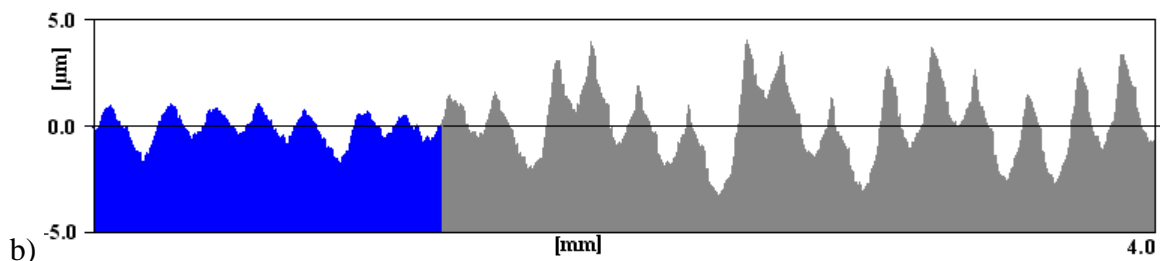
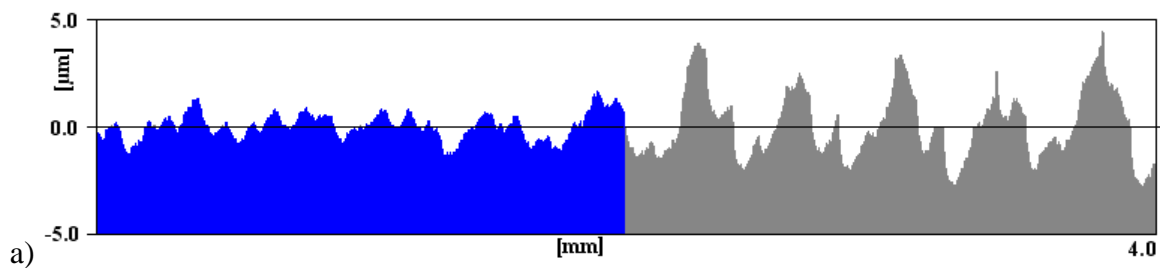
Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
7.05	5.77	3.52	2.91	1.21	171.0	0.081	0.089	0.94	3.8	1.26



Rt	Rz	Rp	Rv	Ra	RSm	Rdq	Rsk	Rpk	Rk	Rvk
3.55	3.34	1.69	1.50	0.69	110.2	0.051	-0.041	0.42	2.49	0.68

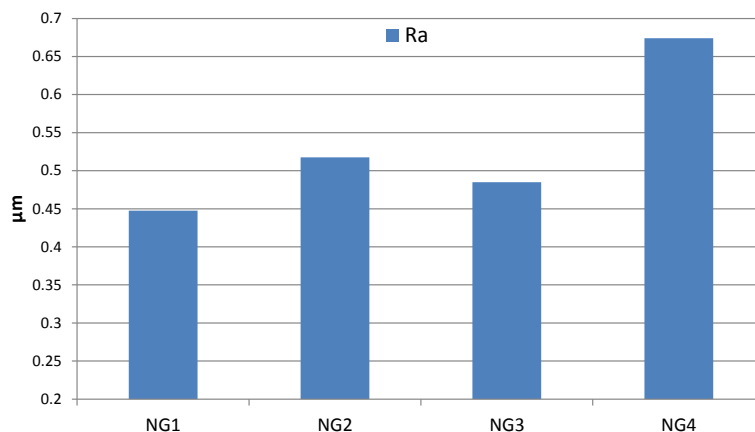
Rys. 6. Zestawienie profili powierzchni a) T4 po toczeniu, b) NG4 nagniataniu

Uwagę zwraca fakt, że dla wszystkich analizowanych profili współczynnik asymetrii profilu uzyskał wartości ujemne, co świadczy o zwiększeniu udziału nośnej powierzchni po procesie nagniatania. Na rysunku 7 pokazano zarejestrowane przykładowe profile zawierające przejście z powierzchni nagniatanej na toczoną.

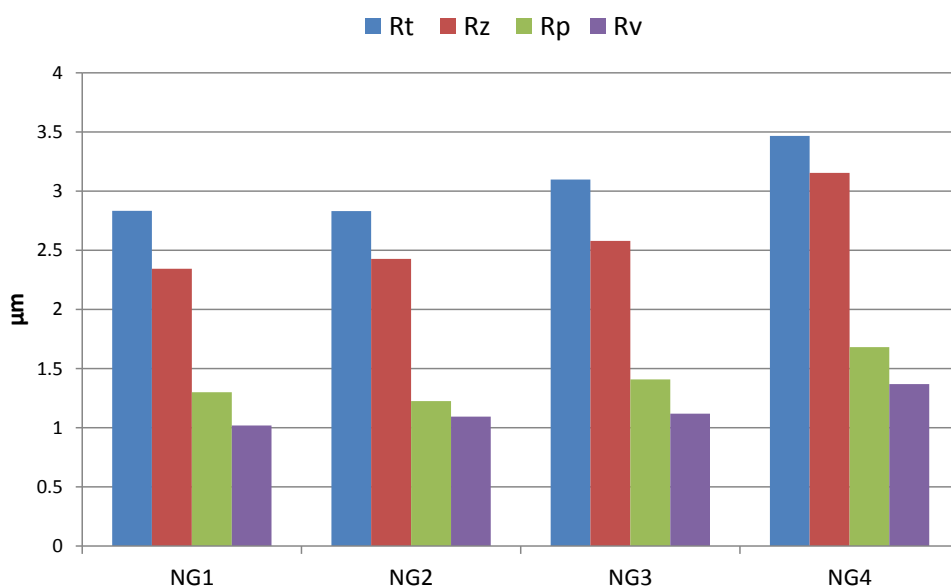


Rys. 7. Przykładowe profile chropowatości powierzchni, na których zarejestrowano przejście z powierzchni nagniatanej na powierzchnię po toczeniu: a) profil powierzchni T1 i NG1, b) profil powierzchni T2 i NG2

Analizując uzyskane średnie wartości parametrów chropowatości (rys. 9)  $R_t$ ,  $R_z$ ,  $R_p$  i  $R_v$ , można stwierdzić, że najkorzystniejsze wartości uzyskano dla struktur NG1 i NG2 po nagniataniu struktur T1 i T2. Natomiast najniższą średnią wartość parametru  $R_a = 0,447 \mu\text{m}$  uzyskano nagniatając strukturę T1 z posuwem  $f_n = 0,06 \text{ mm/obr}$  (rys. 8 struktura NG1).

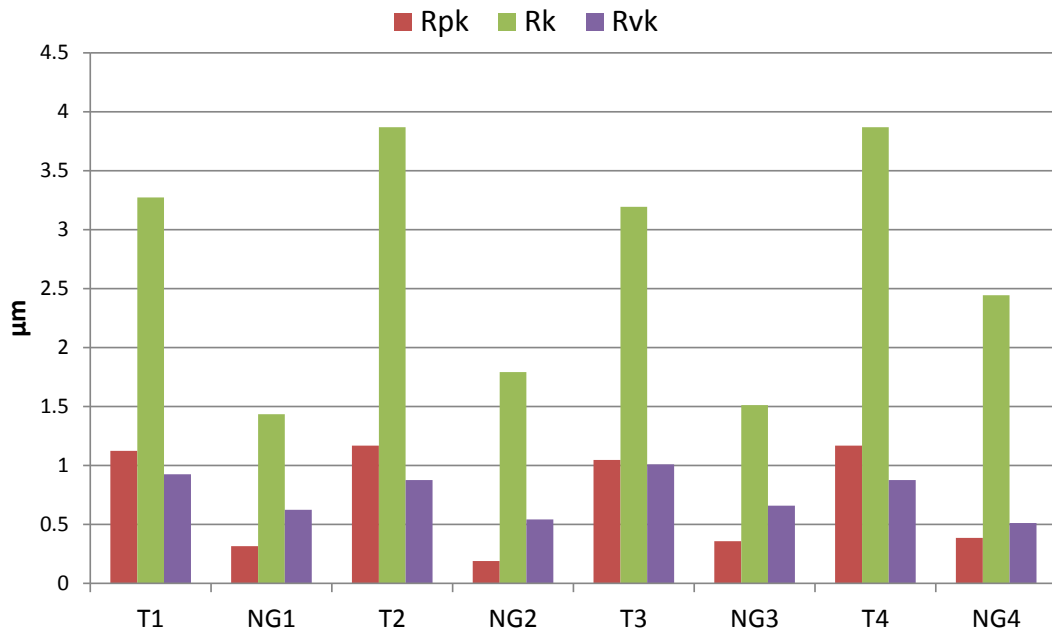


Rys. 8. Uzyskane wartości średnie parametru chropowatości  $R_a$  po nagniataniu dla struktur od NG1 do NG4

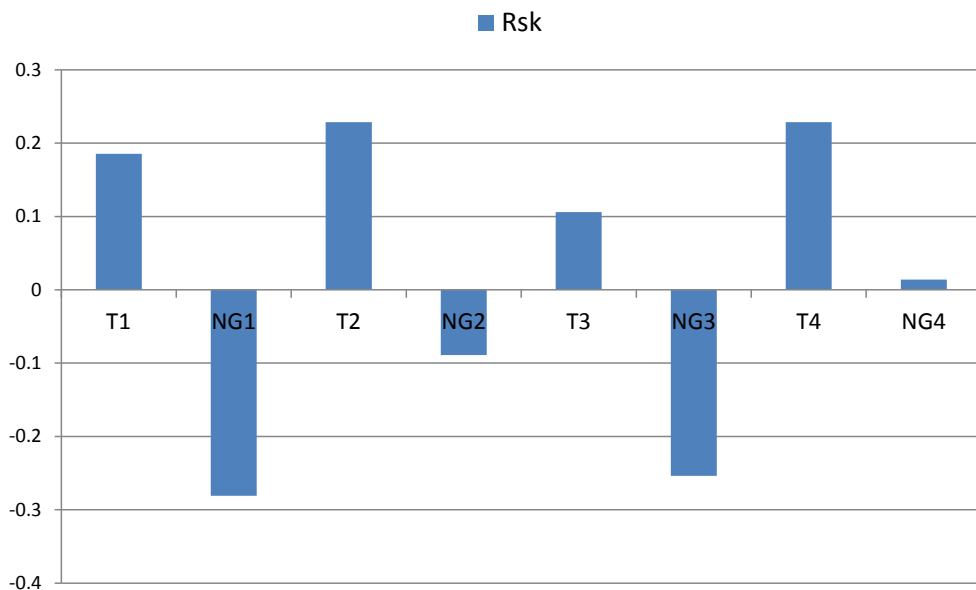


Rys. 9. Uzyskane wartości średnie parametrów chropowatości  $R_t$ ,  $R_z$ ,  $R_p$  i  $R_v$  po nagniataniu dla struktur NG1 do NG4

Wartości średnie hybrydowych parametrów chropowatości  $R_{pk}$ ,  $R_k$  i  $R_{vk}$  (parametrów krzywej udziału materiałowego) po toczeniu dla struktur od T1 do T4 i nagniataniu dla struktur od NG1 do NG4 przedstawiono na rysunku 10. Można zauważyć, że znacznie bardziej redukcji po nagniataniu uległ parametr  $R_{pk}$  (zredukowana wysokość wzniesień) niż parametr  $R_{vk}$  (zredukowana głębokość wgłębień) niezależnie od wstępnej struktury uzyskanej po toczeniu i wartości posuwu nagniatania. Potwierdza to wcześniejszą obserwację z której wynika, że po nagniataniu następuje redukcja wierzchołków chropowatości w wyniku wgniecenia lub/i wykruszenia materiału, zwłaszcza lokalnych wzniesień.



Rys. 10. Uzyskane wartości średnie hybrydowych parametrów chropowatości  $R_p$ ,  $R_k$  i  $R_{vk}$  po toczeniu dla struktur od T1 do T2 i nagniataniu dla struktur od NG1 do NG4



Rys. 11. Wartości średnie współczynnika asymetrii profilu  $R_{sk}$  po toczeniu dla struktur od T1 do T2 i nagniataniu dla struktur od NG1 do NG4

Stosunek wartości parametrów  $R_{pk}/R_{vk}$  po nagniataniu jest mniejszy od jedności tj. odwrotnie niż w przypadku struktur po toczeniu. Dla powierzchni uzyskanych po toczeniu stosunek ten kształtował się w przedziale  $1,04 \div 1,33$ , natomiast po nagniataniu wartość ta kształtowała się w przedziale  $0,35 \div 0,75$ . Największą wartość stosunku parametrów  $R_{pk}/R_{vk} = 1,33$  zarejestrowano dla struktury T4 po toczeniu z posuwem  $f = 0,18$  mm/obr, najmniejszą po nagniataniu struktury T2 z posuwem nagniatania  $f_n = 0,06$  mm/obr (struktura NG2). Taki wynik wpływa korzystnie na własności eksploatacyjne takich powierzchni. Potwierdza to także rys. 11 przedstawiający wartości średnie współczynnika asymetrii profilu  $R_{sk}$  po toczeniu i nagniataniu. Zmianie uległa wartość tego parametru z wartości dodatnich na ujemne lub zbliżone do zera.

## 4. WNIOSKI

Podsumowując, dla wszystkich analizowanych kształtów profili uzyskano zmniejszenie wartości parametrów chropowatości. Wyniki wskazują, że na wartości parametrów chropowatości powierzchni po procesie nagniatania większy wpływ mają zastosowane wartości posuwów (nagniatania i toczenia) niż kształt profilu uzyskany po toczeniu.

Ze względu na własności eksploatacyjne, korzystniejsze wydaje się uzyskiwanie powierzchni, których profile będą kształtem zbliżone do analizowanych profili T1 i T3, ze względu na uzyskane ujemne wartości współczynników asymetrii profili świadczących o dużym udziale nośnym tych powierzchni.

## LITERATURA

- [1] Dobrzyński M., Przybylski W., Waszczur P.: Ocena parametrów chropowatości powierzchni toczonej otworów w kołach zębatych obrabianych nagniataniem, *Tribologia* 6/2011.
- [2] Grzesik W., Żak K.: Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations, *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 2012, 315-322.
- [3] Grzesik W., Żak K.: Producing high quality hardened parts using sequential hard turning and ball burnishing operations, *Precision Engineering*, 37, 2013, 849-855.
- [4] Orłowski K., Dobrzyński M., Waszczur P.: Wpływ drogi skrawania i zużycia narzędzia na strukturę geometryczną powierzchni przedmiotu przy toczeniu na twardo, *Materiały V Szkoły Obróbki Skrawaniem*. Opole, 2011, 335-340.
- [5] Przybylski W., Waszczur P., Dobrzyński M.: Analiza doboru parametrów obróbkowych w toczeniu na twardo w kontekście nagniatania gładkościowego. *Materiały V Szkoły Obróbki Skrawaniem*. Opole, 2011, 327-334.
- [6] Ściborski B.: Wybrane problemy nagniatania tocznego stali twardych ceramiką na tokarce cnc, *Inżynieria maszyn*, R. 18, z. 2, 2013.
- [7] Świrad S.: The surface texture analysis after sliding burnishing with cylindrical elements, *Wear*, 271, 2011, 576-581.
- [8] Rodriguez A., Lopez de Lacalle L.N., Celaya A., Lamikiz A., Albizuri J.: Surface improvement of shafts by the deep ball-burnishing technique, *Surface and Coatings Technology*, 206, 2012, 2817-2824.
- [9] Żak K., Grzesik W.: Wpływ stereometrii ostrza z ceramiki mieszanej na strukturę geometryczną powierzchni części kształtowanych w stanie utwardzonym, *Analiza doboru parametrów obróbkowych w toczeniu na twardo w kontekście nagniatania gładkościowego*. *Materiały V Szkoły Obróbki Skrawaniem*. Opole, 2011, 341-347.

### **SOME ASPECTS OF THE STATE OF SURFACE STRUCTURE OF HARDENED STEEL FOR PROCESS BURNISHING**

#### **SUMMARY**

*The paper presents the results of studies assessing the impact of the obtained surface structure after turning of hardened steel on the results achieved after burnishing. The selected shape of the structure of differing profiles and the values roughness parameters were analyzed. The results after burnishing were compared and evaluated. The values of roughness parameters and parameters of the curve share of material were analyzed.*

**Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.**