

Analiza topografii powierzchni stali narzędziowej Vanadis 6 po wybranych sekwencyjnych procesach obróbki powierzchniowej

Surface topography analysis of Vanadis 6 tool steel after selected sequential surface treatment processes

ANETA ŁĘTOCHA
DANIEL TOBOŁA
TATIANA MILLER *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.12.200>

W artykule podjęto problematykę wpływu wybranych sekwencyjnych procesów obróbki powierzchniowej na stereometryczne cechy kształtowanej warstwy wierzchniej (WW) stali Vanadis 6. Przyjęte warianty obróbki obejmowały: toczenie (T), toczenie–nagiatanie (TN), toczenie–nagiatanie–azotowanie (TNA), toczenie–nagiatanie–azotonasiarczanie (TNAS) oraz toczenie–nagiatanie–powlekanie PVD (TNPVD). Badania wykonano metodą profilowania stykowego z zastosowaniem przyrządu TOPO 01P, opracowanego w Instytucie Zaawansowanych Technologii Wytwarzania. Przeanalizowano zmiany jakościowe wykresów badanych powierzchni, a także zmiany parametrów chropowatości powierzchni oraz profilu.

SŁOWA KLUCZOWE: struktura geometryczna powierzchni, metody stykowe pomiaru chropowatości, obróbka mechaniczna, obróbka sekwencyjna, stal narzędziowa

Issues related with an influence of selected sequential surface treatment processes on the stereometric features of the formed surface layer (SL) of Vanadis 6 steel are presented. Some variants of machining include: turning (T), turning–burnishing (TN), turning–burnishing–nitriding (TNA), turning–burnishing–sulfonitriding (TNAS) and turning–burnishing–PVD coating (TNPVD). Studies were carried out by contact profiling method with use TOPO 01P device – produced by The Institute of Advanced Manufacturing Technology. Qualitative changes in the graphs of examined surfaces and also changes in the results of surface roughness parameters and profile were analyzed.

KEYWORDS: surface geometrical structure, contact methods of roughness measurement, mechanical machining, sequential treatment, tool steel

Ze względu na różnorodność warunków pracy narzędzi do obróbki plastycznej na zimno i stawianych im wymogów opracowano liczne gatunki stali narzędziowych. Bardzo istotną cechą narzędzi wykorzystywanych do tego rodzaju obróbki jest chropowatość powierzchni ich części roboczych – może ona mieć duży wpływ na jakość wytwarzanych przedmiotów.

Jednym z materiałów o korzystnej mikrostrukturze jest stal narzędziowa Vanadis 6, uzyskiwana drogą metalurgii proszków. Jej obróbkę cieplną przeprowadzono w piecu próżniowym z hartowaniem gazowym – uzyskano twar-

dość 62 ± 1 HRC. Ta stal cechuje się wysoką odpornością na zużycie ściernie, a jednocześnie dobrą ciągliwością, którą zawdzięcza postaci i rozmieszczeniu węglików stopowych.

Takie procesy, jak toczenie czy nagiatanie, zmieniają właściwości fizyczne WW, natomiast azotowanie próżniowe i azotonasiarczanie powodują zmiany chemiczne WW w stosunku do materiału rdzenia. Metoda fizycznego osadzania gazowego PVD (*physical vapour deposition*) pozwala z kolei na trwałe naniesienie powłoki na powierzchnię detalu. Stosowanie wymienionych procesów prowadzi do wzmocnienia powierzchni – dzięki temu elementy maszyn oraz narzędzia mogą być używane dłużej, co przekłada się na zmniejszenie kosztów produkcji.

Wspomniane rodzaje mechanicznej obróbki wykończeniowej umożliwiają kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni (SGP). Nie zawsze jednak obróbka wiórowa spełnia wymagania dotyczące jakości powierzchni. Metodą pozwalającą przezwyciężyć te bariery technologiczne jest nagiatanie, które służy głównie do gładkościowej obróbki materiałów twardych i zapewnia uzyskanie powierzchni o małej chropowatości ($Ra \approx 0,1 \mu\text{m}$).

Powierzchnie elementów po azotowaniu cechują się dużą twardością oraz odpornością na ścieranie [1–4]. Podobnym procesem jest azotonasiarczanie, które nadaje powierzchni wysoką odporność na zużycie, obniża współczynnik tarcia oraz podwyższa wytrzymałość zmęczeniową, twardość i odporność na korozję. Azotonasiarczanie wykonuje się w atmosferze amoniaku i par siarki, dlatego wynikiem tego procesu jest warstwa azotowana (jak w klasycznym azotowaniu) wzbogacona siarczkami żelaza [5].

Elementy zabezpieczone powłokami naniesionymi metodą PVD charakteryzują się dużą twardością, a także odpornością na wysoką temperaturę i oddziaływanie chemiczne oraz na zużycie [6–7].

W ramach badań podjęto problematykę wpływu wybranych sekwencyjnych procesów obróbki powierzchniowej na stereometryczne cechy kształtowanej WW.

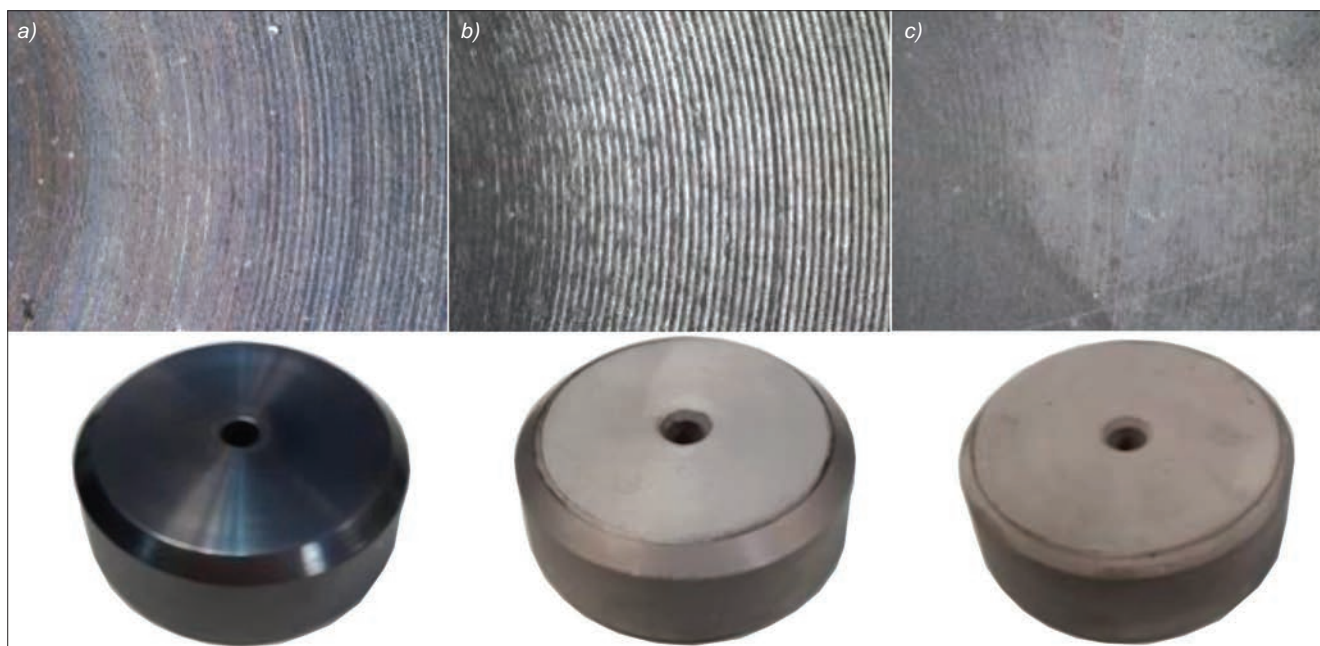
Metodyka badań

Próbki do badań wykonano ze stali narzędziowej Vanadis 6, o składzie chemicznym podanym w tabl. I.

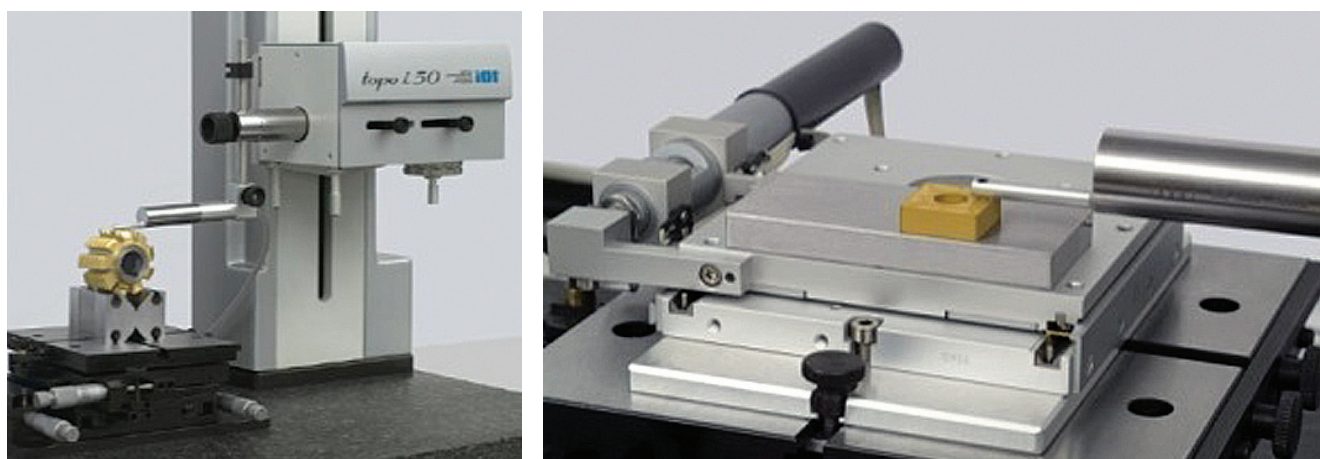
TABLICA I. Skład chemiczny stali Vanadis 6

Pierwiastek	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
% masowy	2,1	1,0	0,4	6,8	1,5	5,4

* Mgr inż. Aneta Łętocha (aneta.letocha@ios.krakow.pl), dr inż. Daniel Toboła (daniel.tobola@ios.krakow.pl), mgr inż. Tatiana Miller (tatiana.miller@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania



Rys. 1. Zdjęcia wybranych próbek wraz z ich powierzchniami po obróbce: a) TPVD, b) TNA, c) TNAS (obrazy powierzchni zarejestrowano kamerą CCD dołączoną do systemu pomiarowego Altimet 520)



Rys. 2. System pomiarowy TOPO 01P

Zastosowano wybrane warianty obróbki (rys. 1) z następującymi parametrami:

- toczenie (T): prędkość skrawania $v_c = 100$ m/min, posuw $f = 0,07$ mm/obr;
- toczenie–nagniatanie (TN):
 - parametry toczenia jak wyżej,
 - nagniatanie: siła $F = 180$ N, posuw $f = 0,02$ mm/obr;
- toczenie–nagniatanie–azotowanie próżniowe (TNA):
 - toczenie i nagniatanie jak wyżej,
 - azotowanie: etap I – $540^\circ\text{C}/8\text{h}$, etap II – $540^\circ\text{C}/4\text{h}$;
- toczenie–nagniatanie–azotonasiarczenie gazowe (TNAS):
 - toczenie i nagniatanie jak wyżej,
 - azotonasiarczenie: etap I – $450^\circ\text{C}/1\text{h}$, etap II – $540^\circ\text{C}/10\text{h}$;
- toczenie–nagniatanie–powłoka PVD AlCrN (TNPVD):
 - toczenie i nagniatanie jak wyżej,
 - powłoka: temperatura procesu 500°C .

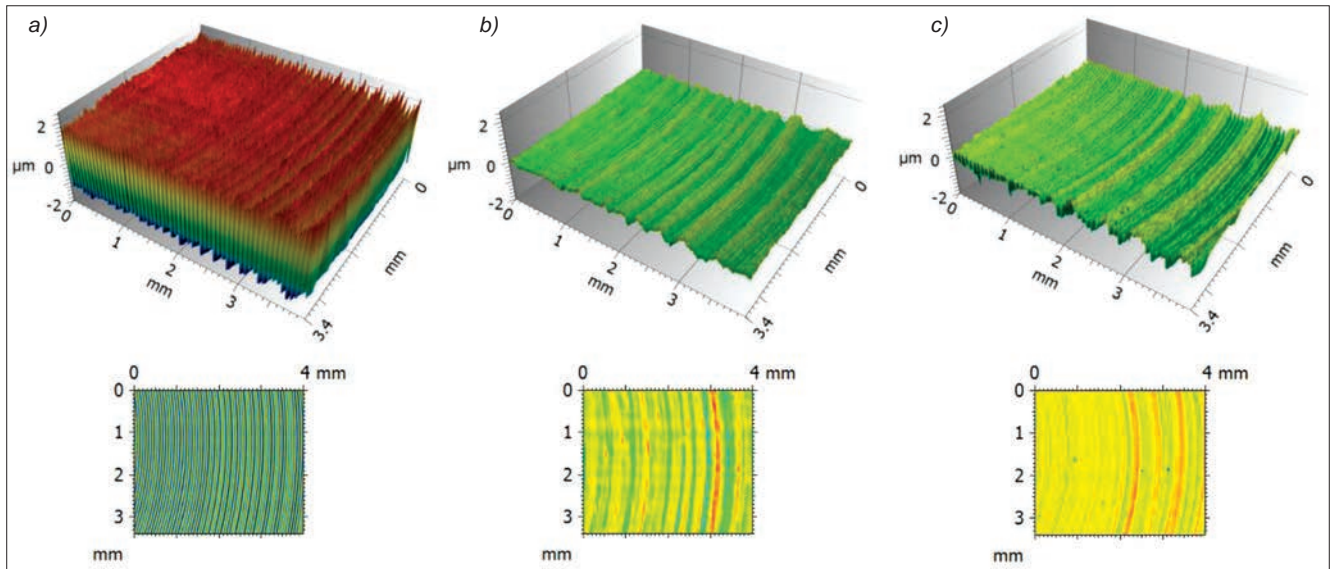
Badania wykonano za pomocą przyrządu stykowego TOPO 01P do pomiaru struktury geometrycznej powierzchni (SGP), wyprodukowanego przez Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania (rys. 2), wyposażonego w głowicę pomiarową o promieniu końcówki diamentowej $2\ \mu\text{m}$ i kącie stożka 60° .

Zmierzono obszary $4 \times 3,4$ mm, z gęstością skanowania: $0,5\ \mu\text{m}$ w osi pomiaru i $10\ \mu\text{m}$ w kierunku prostopadłym do osi pomiaru. Podczas obróbki zmierzonych danych zastosowano filtrację Gaussa, zgodną z ISO 16610-21. Przeanalizowano zmiany jakościowe badanych powierzchni, związane z wykresami stereometrycznymi, mapami warstwicowymi oraz wykresami udziału materiałowego z oznaczonym rdzeniem chropowatości. Wykonano analizę statystyczną wysokościowych parametrów chropowatości (Sq , Sp , Sv , Sz , Sa , Rp , Rv , Rz , Ra , Rq) oraz parametrów rdzenia chropowatości (Sk , Spk , Svk , Rk , Rpk , Rvk).

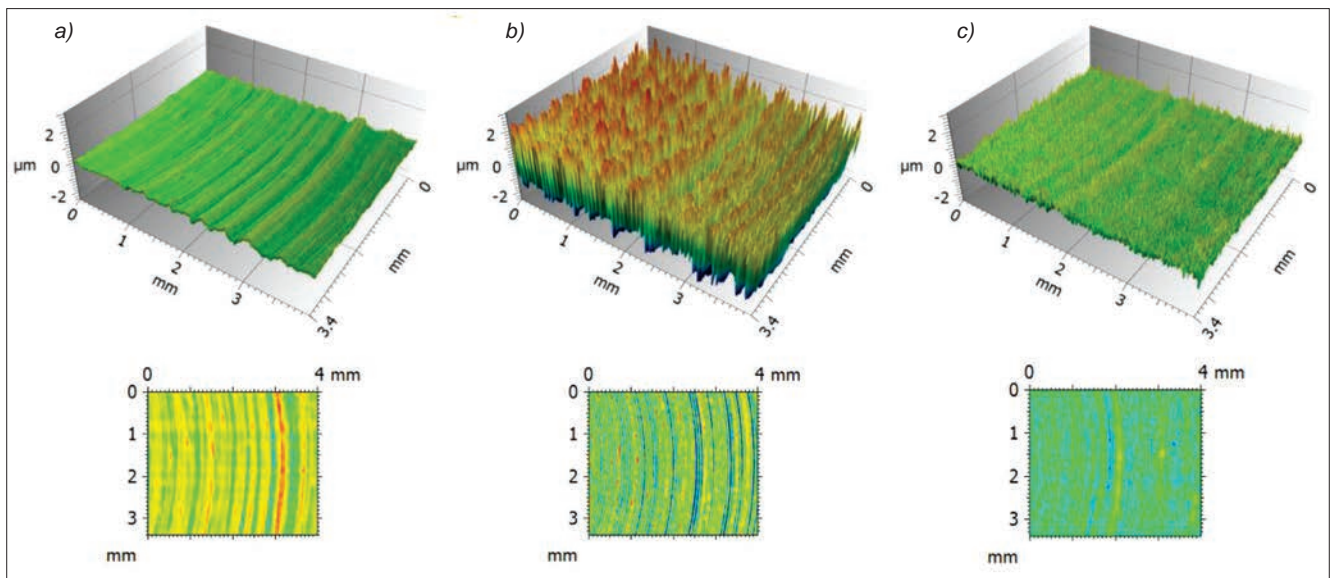
Wyniki

Wyniki badań analizowano z podziałem na dwie grupy. Pierwsza (oznaczona G1) objęła analizę zmian SGP po procesach T, TN i TNPVD, a druga (oznaczona G2) – po procesach TN, TNA i TNAS.

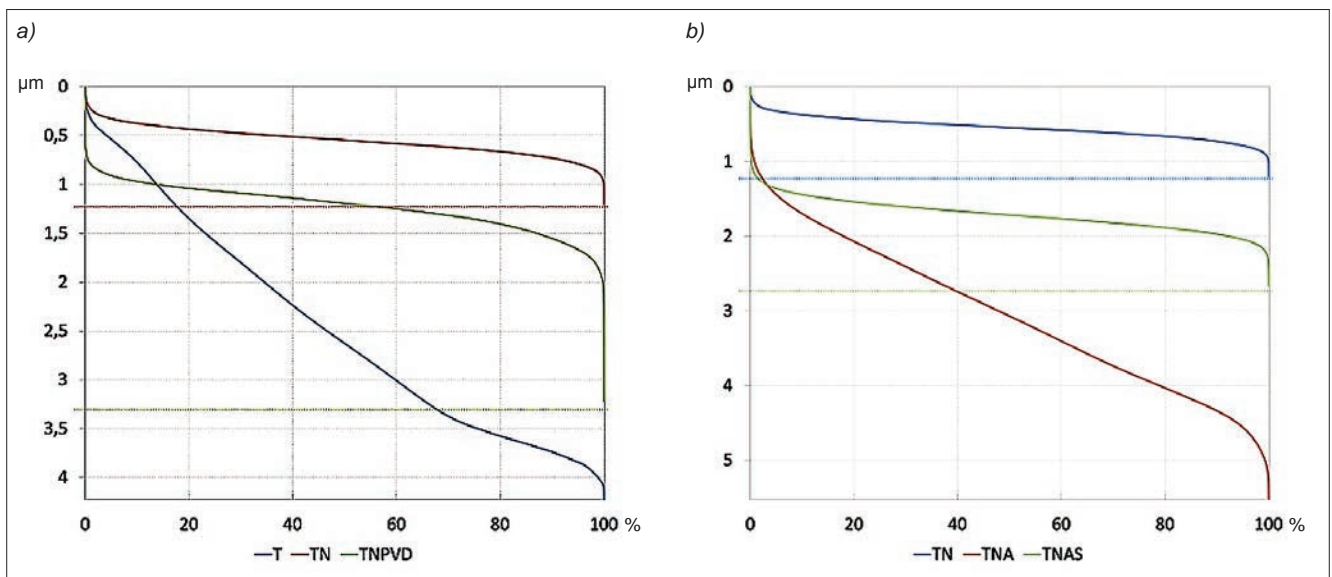
Na rys. 3 i 4 zamieszczono wykresy topografii powierzchni oraz mapy warstwicowe próbek dla grupy G1 i G2. Na rys. 5 pokazano natomiast zmiany krzywych udziału materiałowego w zależności od zastosowanej metody obróbki powierzchniowej, a na rys. 6 – zmiany profilu chropowatości.



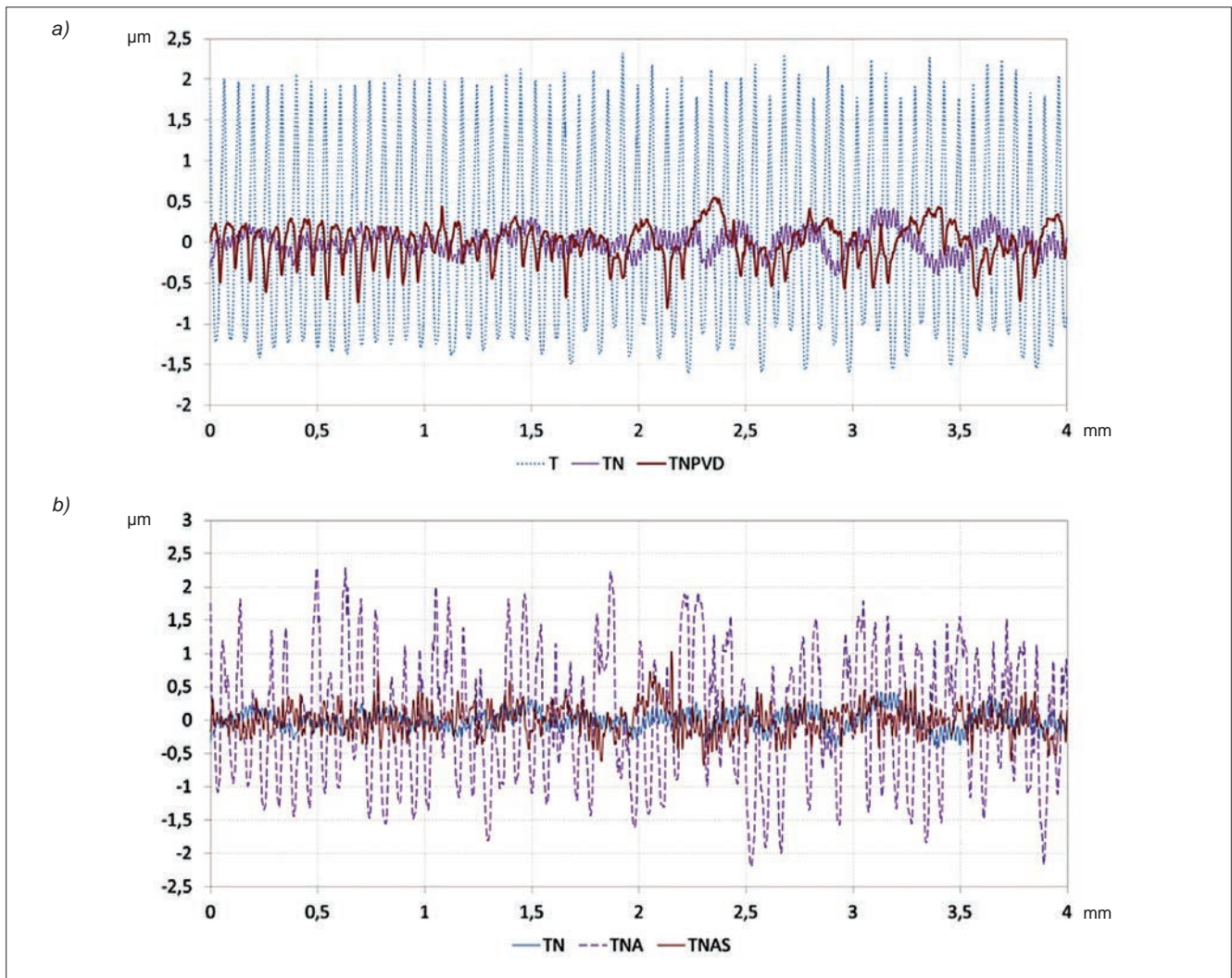
Rys. 3. Wykresy topografii powierzchni oraz mapy warstwowe dla próbek z grupy G1, odpowiednio po procesach: a) T, b) TN, c) TNPVD



Rys. 4. Wykresy topografii powierzchni oraz mapy warstwowe dla próbek z grupy G2, odpowiednio po procesach: a) TN, b) TNA, c) TNAS



Rys. 5. Porównanie krzywych udziału materiałowego w zależności od zastosowanej metody obróbki powierzchniowej: a) grupa G1, b) grupa G2



Rys. 6. Zmiany profilu chropowatości dla próbek z grupy: a) G1, b) G2

Wynikowe parametry chropowatości powierzchni dla badanych wariantów obróbki zestawiono w tabl. II, natomiast w tabl. III i IV podano wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla zarejestrowanych parametrów profilu chropowatości. Wyniki dotyczą próbek z grup G1 i G2.

Poziom izotropii powierzchni badanych próbek po kolejnych etapach obróbki wskazuje na niewielkie zmiany okresowości:

- T – 9,18%
- TN – 3,49%
- TNPVD – 4,46%
- TNA – 11,54%
- TNAS – 5,73%

TABLICA II. Parametry chropowatości powierzchni próbek z grup G1 i G2

	T	TN	TNPVD	TNA	TNAS
$Sq, \mu\text{m}$	1,090	0,140	0,276	0,903	0,198
$Sp, \mu\text{m}$	2,470	0,551	1,064	2,589	1,548
$Sv, \mu\text{m}$	1,750	0,653	2,326	2,251	1,750
$Sz, \mu\text{m}$	4,220	1,204	3,390	4,840	3,298
$Sa, \mu\text{m}$	0,945	0,111	0,212	0,771	0,154
$Sk, \mu\text{m}$	2,523	0,355	0,552	2,559	0,491
$Spk, \mu\text{m}$	1,185	0,125	0,143	0,392	0,219
$Svk, \mu\text{m}$	0,121	0,151	0,478	0,581	0,201

TABLICA III. Parametry chropowatości profilu dla próbek z grupy G1

	T	TN	TNPVD	T	TN	TNPVD
	wartość średnia			odchylenie standardowe		
$Rp, \mu\text{m}$	2,253	0,314	0,448	0,036	0,014	0,052
$Rv, \mu\text{m}$	1,528	0,340	0,926	0,015	0,020	0,094
$Rz, \mu\text{m}$	3,781	0,655	1,373	0,037	0,031	0,116
$Ra, \mu\text{m}$	0,947	0,110	0,210	0,004	0,005	0,012
$Rq, \mu\text{m}$	1,093	0,135	0,270	0,006	0,006	0,017
$Rk, \mu\text{m}$	2,510	0,351	0,543	0,034	0,015	0,031
$Rpk, \mu\text{m}$	1,213	0,122	0,146	0,036	0,010	0,028
$Rvk, \mu\text{m}$	0,104	0,146	0,470	0,019	0,010	0,039

TABLICA IV. Parametry chropowatości profilu dla próbek z grupy G2

	TN	TNA	TNAS	TN	TNA	TNAS
	wartość średnia			odchylenie standardowe		
$Rp, \mu\text{m}$	0,314	1,692	0,627	0,014	0,106	0,108
$Rv, \mu\text{m}$	0,340	1,778	0,486	0,020	0,086	0,095
$Rz, \mu\text{m}$	0,655	3,471	1,114	0,031	0,126	0,172
$Ra, \mu\text{m}$	0,110	0,774	0,155	0,005	0,033	0,017
$Rq, \mu\text{m}$	0,135	0,902	0,196	0,006	0,035	0,026
$Rk, \mu\text{m}$	0,351	2,508	0,499	0,015	0,134	0,033
$Rpk, \mu\text{m}$	0,122	0,391	0,229	0,010	0,102	0,038
$Rvk, \mu\text{m}$	0,146	0,594	0,179	0,010	0,104	0,092

Podsumowanie

Po procesie nagniatania wyraźnie zmniejsza się chropowatość powierzchni (rys. 3b, tabl. II–IV), a maksymalna wysokość powierzchni maleje o ponad dwie trzecie w stosunku do powierzchni toczonej. Wykres udziału materiałowego staje się symetryczny (rys. 5a). Również poziom izotropii powierzchni zmniejsza się o ponad połowę.

Podobne wyniki uzyskano dla powierzchni po naniesieniu powłoki PVD oraz po azotonasiarczaniu. W obu przypadkach parametry chropowatości są większe niż dla powierzchni nagniatanej, ale nie przekraczają wartości uzyskanych dla powierzchni toczonej (tabl. II–IV). Próbki, na których naniesiono powłokę PVD, charakteryzują się losowymi, głębokimi wgłębieniami, co nieznacznie wpływa na symetryczność wykresu udziału materiałowego (rys. 5a). Powierzchnie po azotonasiarczaniu charakteryzują się natomiast większą liczbą wzniesień w stosunku do wgłębień, czego przyczyną mogą być siarczki osadzające się na powierzchni podczas procesu obróbki (rys. 5c i 6b). W obu przypadkach izotropia powierzchni nieznacznie wzrasta w stosunku do nagniatania.

Pod względem chropowatości powierzchni zdecydowanie najgorsze wyniki otrzymano dla azotowania próżniowego (rys. 4b). Można zauważyć znaczny wzrost parametrów chropowatości, zbliżony do wyników uzyskanych dla samego toczenia (tabl. II i IV). Mimo zwiększenia chropowatości powierzchni krzywa udziału materiałowego zachowała symetryczny charakter (rys. 5b). Wzrósł również poziom izotropii powierzchni, nawet w stosunku do próbek toczonej. W celu poprawy parametrów chropowatości powierzchni próbek azotowanych wskazana jest dodatkowa obróbka, np. szlifowanie lub polerowanie.

Wszystkie badane powierzchnie po przeprowadzeniu dodatkowych procesów stają się mniej jednorodne, a odchylenie standardowe obliczanych parametrów chropowatości profilu zwiększa się – największy wzrost zarejestrowano dla powierzchni azotowanej. Prawie wszystkie powierzchnie (z wyjątkiem tej po azotonasiarczaniu) zachowują podobną kierunkowość.

Pod względem jakości i chropowatości powierzchni najlepsze wyniki uzyskano dla procesu nagniatania, jednak pozostałe metody obróbki nadają powierzchni inne korzystne właściwości, niemożliwe do osiągnięcia tylko za pomocą nagniatania.

Badania zrealizowano w ramach projektu nr LIDER/13/0075/L-7/15/NCBR/2016 „Opracowanie innowacyjnej technologii kształtowania właściwości użytkowych narzędzi do obróbki plastycznej na zimno”, finansowanego przez NCBR.

LITERATURA

1. Kula P. „Inżynieria warstwy wierzchniej”. Łódź: Politechnika Łódzka, Łódź, 2000.
2. Małdziński L. „Termodynamiczne, kinetyczne i technologiczne aspekty wytwarzania warstwy azotowanej na żelazie i stalach w procesach azotowania gazowego”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2002.
3. Zysk J. „Rozwój azotowania gazowego stopów żelaza”. Warszawa: Instytut Mechaniki Precyzyjnej, 2008.
4. Toboła D., Rusek P., Polowski W., Czechowski K. „Możliwość poprawy efektów azotowania stali narzędziowej Vanadis 6 poprzez nagniatanie ślizgowe”. *Mechanik*. 8–9 (2012): s. 700–703.
5. Binienda M., Just P., Komorowski J., Pokrzywa M., Wołowicz E. „Wpływ procesu azotonasiarczania na zmianę wymiarów czopa wału korbowego odlanego metodą *lost foam* ze sferoidyzacją INMOLD”. *Czasopismo Techniczne*. 9-M (2012): s. 33–39.
6. Brostow W., Czechowski K., Polowski W., Rusek P., Toboła D., Wronska I. „Slide diamond burnishing of tool steels with adhesive coatings and diffusion layers”. *Materials Research Innovations*. 17, 4 (2013): s. 269–277.
7. Dobrzański L.A. „Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo: materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego”. Warszawa: WNT, 2002. ■