

ZALEŻNOŚĆ STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI OD STOPNIA ZUŻYCIA KOŃCÓWKI ROBOCZEJ W PROCESIE NAGNIATANIA ŚLIZGOWEGO UTWARDZONEJ STALI NARZĘDZIOWEJ

**Daniel TOBOŁA, Aneta ŁĘTOCHA, Kazimierz CZECHOWSKI,
Piotr RUSEK, Tatiana MILLER**

Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

STRESZCZENIE

Przedstawiono zależność struktury geometrycznej powierzchni (SGP) nagniatanej ślizgowo wysokostopowej proszkowej stali narzędziowej Vanadis 6 od stopnia zużycia końcówek roboczych z kompozytu diamentowego z ceramiczną fazą wiążącą Ti_3SiC_2 ; zamieszczono także wyniki badań mające na celu określenie trwałości tych końcówek. Analizy zużycia końcówek roboczej dokonano w oparciu o pomiary kształtu oraz obserwacje mikroskopowe jej powierzchni. Uzyskane wyniki wskazują na wysoką trwałość elementu roboczego narzędzia nagniatającego wykonanego z ww. kompozytu diamentowego.

Słowa kluczowe: kompozyt diamentowy, nagniatanie ślizgowe, stal narzędziowa

1. WPROWADZENIE

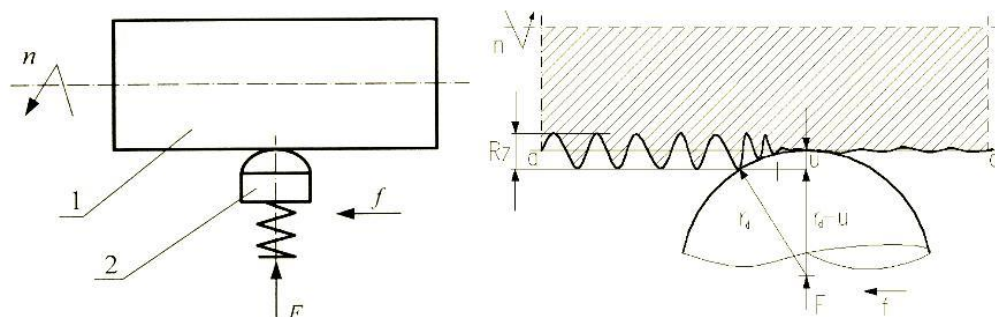
Obróbka nagniataniem jest jedną z metod obróbki wykańczającej metali, polegającą na wykorzystaniu miejscowego odkształcenia plastycznego, wytwarzanego w warstwie wierzchniej (WW) przedmiotu wskutek określonego, stykowego współdziałania twardego i gładkiego narzędzia (o kształcie kuli, krążka, wałka, lub innym) z powierzchnią obrabianą [15].

Nagniatanie jest bardzo prostą i skuteczną metodą poprawy jakości powierzchni i może być przeprowadzone z wykorzystaniem istniejących maszyn, takich jak tokarka lub frezarka, zarówno konwencjonalnych jak i sterowanych numerycznie. Ze względu na swoją wysoką wydajność, ale również nieznaczne koszty produkcji w stosunku do innych konwencjonalnych procesów, takich jak: honowanie i szlifowanie. Ponadto nagniatana powierzchnia ma wysoką odporność na ścieranie i lepszą odporność na zmęczenie [14].

Stosowanie narzędzi do nagniatania na obrabiarkach umożliwia koncentrację zabiegów obróbki kształtującej i wykończeniowej na jednym stanowisku roboczym. W wielu przypadkach niepotrzebna jest wówczas operacja szlifowania, wykonywana na innym stanowisku, co znacznie zmniejsza koszty produkcji. W ramach jednego zamocowania wykonuje się kolejno zabiegi toczenia i nagniatania narzędziami zamocowanymi w głowicy narzędziowej obrabiarki. Taki sposób realizacji zabiegu wykończeniowej obróbki przez nagniatanie jest korzystny ze względu na jej dokładność [16].

Spośród wielu odmian nagniatania możemy wyróżnić nagniatanie ślizgowe (rys. 1). Jest ono zaliczane do grupy metod statycznych, w których kontakt narzędzia (elementu nagniatającego) z materiałem obrabianym jest ciągły, a siła nagniatająca ma stałą wartość. Nagniatanie ślizgowe jest powierzchniową obróbką plastyczną, której zalety są typowe dla tych metod obróbki. Jednocześnie metoda ta zapewnia gładkość i dokładność wymiarową

właściwą dla wykończeniowej obróbki mechanicznej. Z uwagi na występujące odkształcenie plastyczne, tak jak w każdym procesie nagniatania również i w tym przypadku występują efekty umocnienia (wzrost twardości, powstawanie naprężeń ściskających w WW, itp.), lecz są one znacznie mniejsze [9,15].



Rys. 1. Schemat procesu nagniatania ślizgowego narzędziem kulistym: 1 – przedmiot obrabiany, 2 – narzędzie [9]

Istotną zaletą nagniatania ślizgowego jest nie tylko samo wygładzenie powierzchni (zmniejszenie chropowatości), ale również uzyskanie korzystnej z punktu widzenia np. właściwości tribologicznych SGP. Nagniatanie ślizgowe daje w efekcie nie tylko małą chropowatość powierzchni, ale również duże promienie zaokrągleń wierzchołków i wrębów nierówności oraz mały kąt ich pochylenia. Wspólnie z wytworzonym zgniotem, wewnętrznymi naprężeniami ściskającymi i zwiększeniem twardości powoduje to zwiększenie odporności na działanie czynników eksploatacyjnych jak: ścieranie, zmęczenie powierzchniowe, korozja. Metody nagniatania tocznego, ślizgowego diamentem oraz dynamiczne (*shot peening*) są ciągle rozwijane [1÷3,7÷13, 20, 21] – zwiększa się zakres ich zastosowań.

Ze względu na konieczność zminimalizowania zużycia i oporów tarcia występujących w procesie nagniatania ślizgowego (tarcia ślizgowe), końcówki narzędzi wykonuje się z materiałów zapewniających mały współczynnik tarcia. Elementy nagniatające do wygładzania ślizgowego twardych materiałów wytwarza się z diamentów naturalnych i diamentów syntetycznych. Najlepszym materiałem narzędziowym spełniającym warunek minimalnego tarcia jest monokrystaliczny diament naturalny. Elementy nagniatające z diamentów naturalnych są jednak drogie, kruche, mało odporne na uderzenia i mają ograniczone rozmiary. Ponadto narzędzia z diamentów monokrystalicznych nie są zbyt wygodne w użyciu ponieważ ze względu na silną anizotropię kryształów diamentu wymagają dokładnego ustawienia podczas obróbki. Zużywają się one nie tylko przez ścieranie, ale również poprzez wykruszanie, co niekorzystnie wpływa na jakość obrabianych powierzchni [15].

Obecnie szerokie zastosowanie na narzędzia do nagniatania ślizgowego znajdują głównie diamenty syntetyczne, tzw. spieki diamentowe (PCD) otrzymywane m.in. metodą spiekania wysokociśnieniowego HP – HT (*high pressure – high temperature*). Spieki te składają się na ogół z fazy zawierającej ziarna diamentu i fazy wiążącej np. Ti_3SiC_2 – węgiel tytanowo krzemowy, który posiada interesujące właściwości; łączy w sobie cechy wysokiej sztywności (*high stiffness*) charakterystycznej dla ceramiki z zachowaniem ciągliwości (*ductile behaviour*) charakterystycznej dla metali [4÷6].

Narzędzia z takiego kompozytu diamentowego są wygodniejsze w użyciu, tańsze a ich właściwości prawie dorównują narzędziom wykonanym z diamentów monokrystalicznych. Narzędzia te zużywają się najczęściej poprzez ścieranie [17]. Poprzez odpowiedni dobór fazy wiążącej można otrzymać kompozyty diamentowe o zaplanowanych właściwościach. Rozwój

narzędzi z polikrystalicznych diamentów syntetycznych (PCD) usuwa barierę ekonomiczną związaną z zastosowaniem diamentów naturalnych i stwarza nowe perspektywy rozwojowe obróbki nagniataniem ślizgowym.

Specjalny kształt końcówki z kompozytu diamentowego w postaci wycinka sfery posiada zalety w porównaniu z kulką, a mianowicie możliwość łatwiejszego szlifowania co wpływa na obniżenie kosztów wytwarzania [12]. Gdy część cylindryczna powierzchni narzędzia ulegnie zużyciu (wytarciu) istnieje możliwość łatwej regeneracji, dzięki czemu trwałość zastosowanego kompozytu diamentowego może ulec wydłużeniu.

Zakres zastosowań nagniatania ślizgowego ulega ciągłemu rozszerzaniu, a prace nad jego rozwojem prowadzi wiele ośrodków w tym również Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania (IZTW) w Krakowie.

2. CEL BADAŃ

Istnieje wiele prac poświęconych narzędziom nagniatającym, ich produkcji, właściwościom, możliwości ich zastosowania [1÷3, 7, 9÷11, 14÷16, 17, 18]. Brak natomiast szerszych analiz ważnych dla praktyki inżynierskiej poświęconych przebiegom zużycia i trwałości narzędzi nagniatających. Brak takich informacji utrudnia prowadzenie procesu nagniatania ślizgowego np. w zautomatyzowanym cyklu produkcyjnym.

Celem przeprowadzonych badań było określenie trwałości wytwarzanych w IZTW końcówek nagniatających zastosowanych w procesie nagniatania ślizgowego wysokostopowej stali narzędziowej Vanadis 6. Za podstawę dla określenia trwałości badanych końcówek przyjęto kryterium technologiczne – uzyskiwaną chropowatość powierzchni nagniatanego wałka. Jako kryteria zużycia przyjęto wartość parametru $Ra = 0,32 \mu\text{m}$ dla nagniatanego wałka oraz wskaźnik zmniejszenia chropowatości K_{Ra} nie mniejszy od 2. Założone wartości wynikają z typowych wymagań jakości powierzchni stosowanych m.in. w przemyśle narzędzi do obróbki plastycznej na zimno.

W świetle prowadzonych badań nad trwałością narzędzi nagniatających przy zastosowaniu kryterium technologicznego opartego na analizie jakości powierzchni (stanu geometrycznego) niezbędne jest więc ujęte w tytule poszukiwanie związków chropowatości powierzchni nagniatanego wałka ze stanem zużycia końcówki roboczej narzędzia.

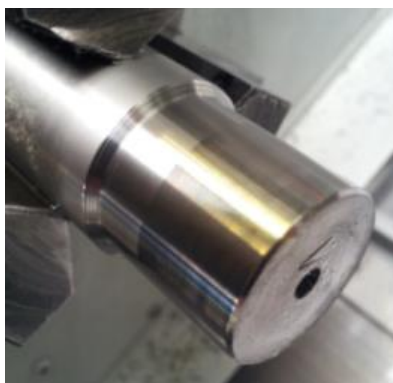
3. METODYKA BADAŃ

Do badań wybrano wytworzoną metalurgią proszków stal narzędziową do pracy na zimno Vanadis 6 [22] o składzie chemicznym zamieszczonym w tab. 1.

Tabela. 1. Skład chemiczny badanej stali.

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

Pręty z tej stali wstępnie toczono, a następnie obrabiano cieplnie (hartowano i odpuszczano zgodnie z zaleceniami producenta) do twardości około 60 HRC. Toczenie wykończeniowe, poprzedzające proces nagniatania oraz samo nagniatanie prowadzono na sterowanym numerycznie centrum tokarsko-frezarskim NL2000 SY firmy Mori Seiki stosując system mocowania wałka w jednym wrzecionie tokarskim (rys. 2). Taki sposób mocowania zapewnia większą sztywność układu narzędzie–przedmiot, a tym samym lepsze rezultaty nagniatania i większą powtarzalność uzyskiwanych wyników.



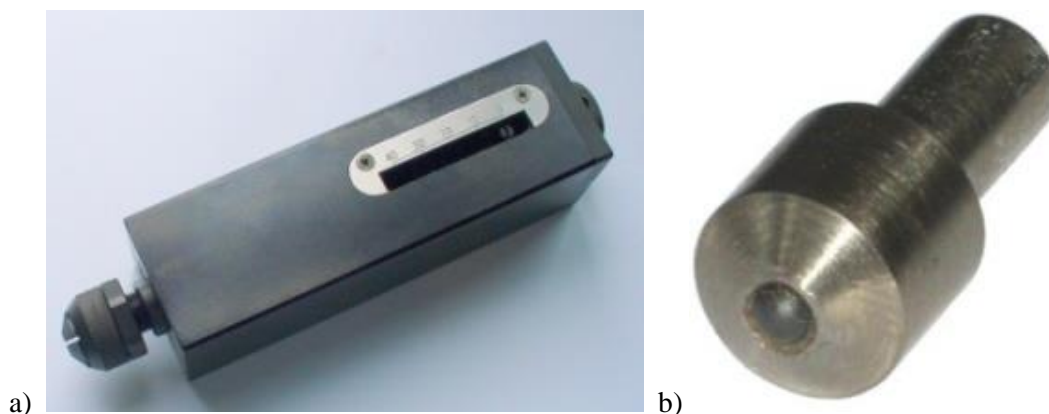
Rys. 2. Nagniatana powierzchnia wałka zamocowanego w jednym wrzecionie tokarskim

Proces toczenia prowadzono przy parametrach zamieszczonych w tab. 2 stosując płytki z ostrzami z PCBN firmy Mitsubishi oznaczone symbolem NP-SNGA 120412GS2 MB730.

Tabela. 2. Parametry toczenia wykończeniowego poprzedzającego nagniatanie ślizgowe

Prędkość skrawania v_c [m/min]	150
Posuw f [mm/obr.]	0,16 ÷ 0,18
Głębokość skrawania a_p [mm]	0,2

Nagniatanie ślizgowe kompozytem diamentowym produkcji IZTW (rys. 3) prowadzono zgodnie z parametrami zamieszczonymi w tab. 3. Kompozyt diamentowy stosowany na końcówki nagniatające o kształcie roboczym w postaci czaszy kulistej o promieniu $R=1,5$ mm został wzmocniony ceramiczną fazą wiążącą Ti_3SiC_2 . Parametry nagniatania dobrano w oparciu o przeprowadzoną wcześniej optymalizację warunków nagniatania [18] – podano w tab. 3.



Rys. 3. Narzędzie nagniatające konstrukcji IZTW (a) oraz wygląd końcówki nagniatającej (b)

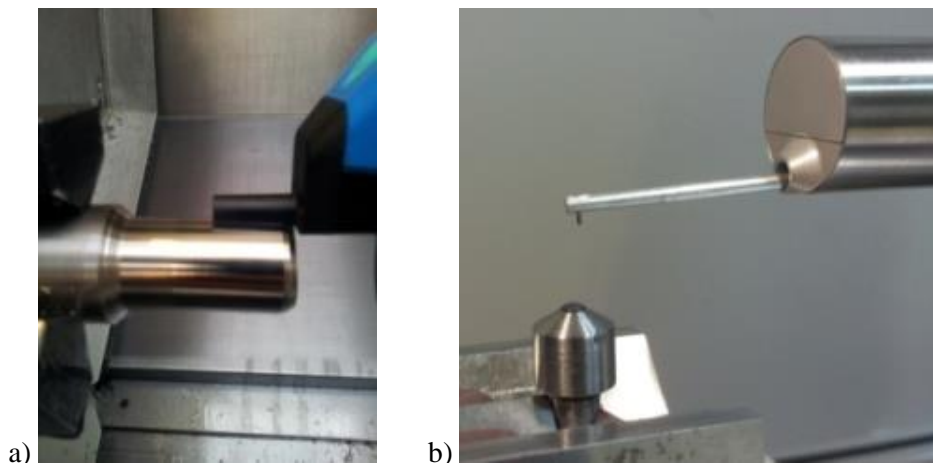
Tabela. 3. Parametry nagniatania ślizgowego stali narzędziowej Vanadis 6 [18]

Siła nagniatania F [N]	160
Posuw nagniatania f [mm/obr.]	0,02
Dosuw narzędzia do powierzchni nagniatanej u [mm]	0,2 (na stronę)

W celu zmniejszenia tarcia i zwiększenia trwałości nagniataków jako środek smarujący w procesie nagniatania stosowano mgłę olejową na bazie oleju Hysol firmy Castrol.

Stosowano jedno przejście nagniatające ($i=1$). Prędkość nagniatania była stała i wynosiła $v = 40$ m/min.

Chropowatość powierzchni wałka przed i po nagniataniu mierzono profilometrem Hommel – Tester T1000 (rys. 4a). Pomiary kształtu końcówek roboczych wykonano na profilometrze TOPO 01P (rys. 4b) – konstrukcji IZTW, diamentową końcówką pomiarową o promieniu $2\ \mu\text{m}$. Na każdym z wierzchołków końcówek nagniatających wykonano po dwa, prostopadłe do siebie pomiary. Dobrano obszar pomiarowy o wielkości $1,5 \times 1$ mm oraz gęstość skanowania równą $50\ \mu\text{m}$.



Rys. 4. Sposoby pomiaru: a) chropowatości powierzchni wałka, b) profilu powierzchni końcówki nagniatającej

Ślady zużycia powstałe na końcówkach nagniatających rejestrowano przy użyciu optycznego mikroskopu *Axiocvert 100A* firmy Carl Zeiss.

Stan powierzchni WW wałka określono przez pomiar parametrów SGP dla profilu R (tzn. chropowatość powierzchni w układzie 2D). Oprócz wielkości mierzonych bezpośrednio, określano również współczynnik zmniejszenia chropowatości K_{Ra}

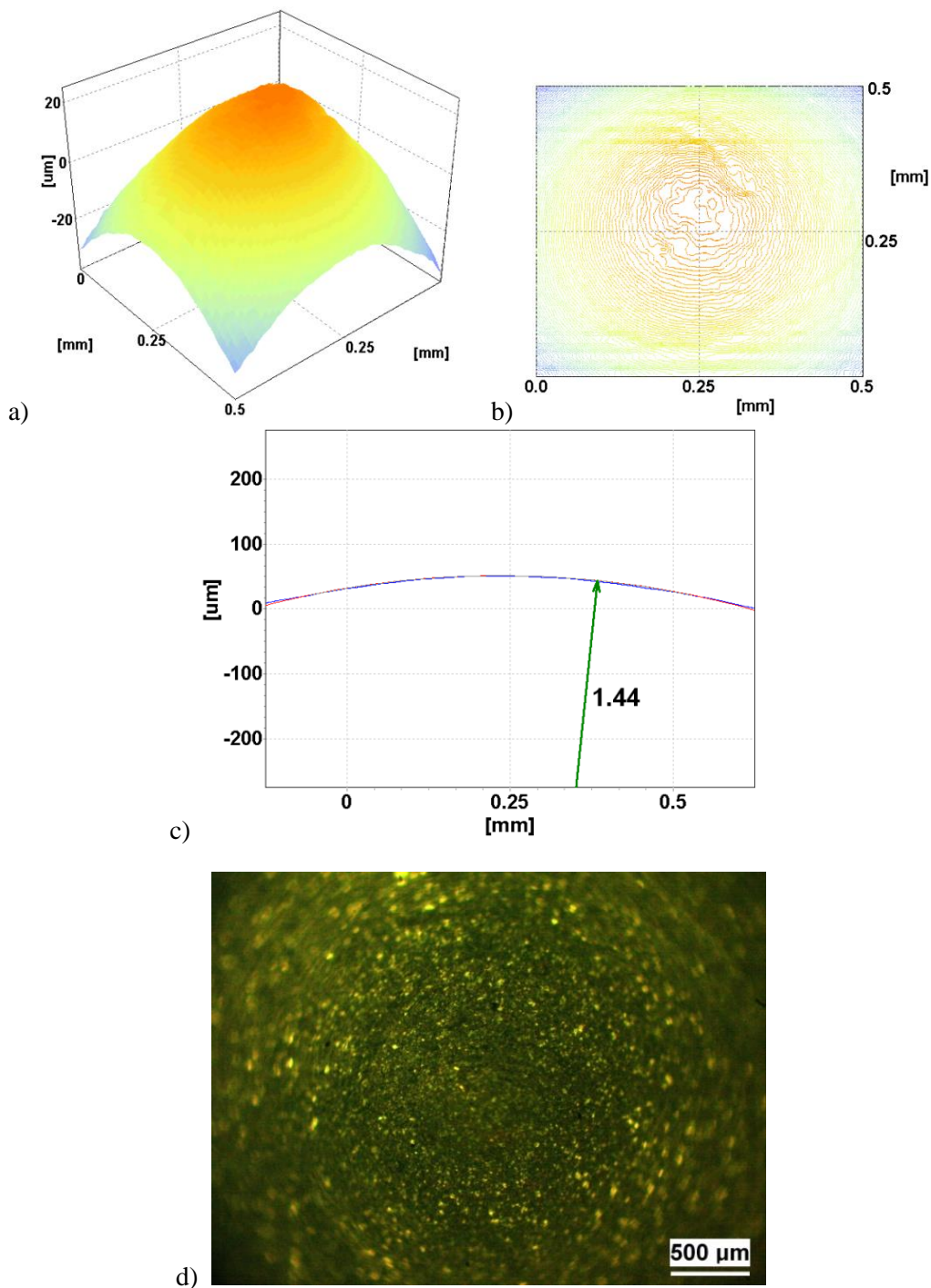
$$K_{Ra} = \frac{Ra'}{Ra},$$

gdzie:

Ra' – średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej (wartości przed nagniataniem),
 Ra – wartości po nagniataniu. Pomiarów parametrów SGP dokonywano po różnym czasie pracy końcówek nagniatających. Po każdym pomiarze narzędzie mocowano w uchwycie narzędziowym w tym samym położeniu jak poprzednio. Badaniom poddano trzy końcówki (oznaczone jako nr 1, 2 i 3) o zawartości fazy wiążącej Ti_3SiC_2 30%. Wszystkie pomiary wykonywano z trzykrotną powtarzalnością.

4. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 5 zamieszczono przykładowe wyniki analizy kształtu oraz jakości powierzchni końcówki nagniatającej nr 1 przed procesem nagniatania ślizgowego wysokostopowej proszkowej stali narzędziowej Vanadis 6.

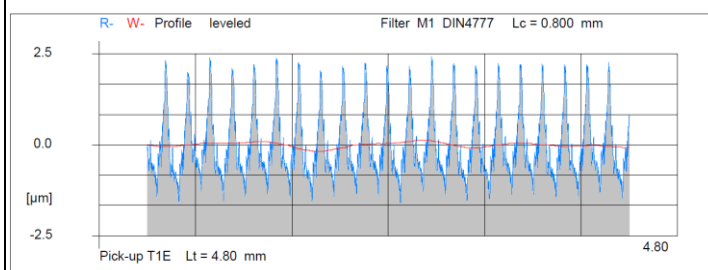


Rys. 5. Końcówka nr 1 przed nagniataniem ślizgowym: a) w układzie 3D, b) mapa warstwiczna, c) przekrój 2D, d) zdjęcie z mikroskopu optycznego

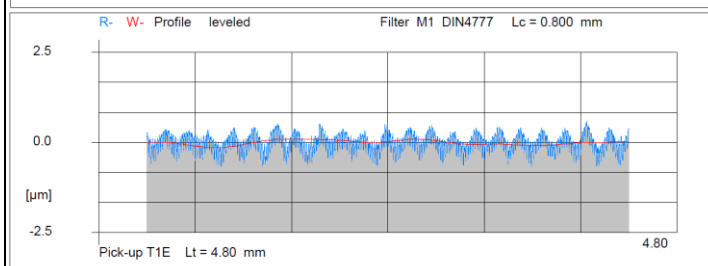
W tabelach 4÷6 zamieszczono wyniki pomiarów parametru Ra nagniatanych wałków oraz przedstawiono wartości współczynnika zmniejszenia chropowatości K_{Ra} . Jak widać z otrzymanych wyników zastosowanie procesu nagniatania ślizgowego wpływa korzystnie na SGP badanej stali. Z przykładowych profilogramów chropowatości zamieszczonych w tabelach 4÷6 można zaobserwować wyraźne zmniejszenie nierówności powierzchni istniejących po procesie toczenia.

Tabela 4. Wyniki badań SGP wałka ze stali narzędziowej Vanadis 6 w zależności od czasu pracy końcówki nagniatającej nr 1

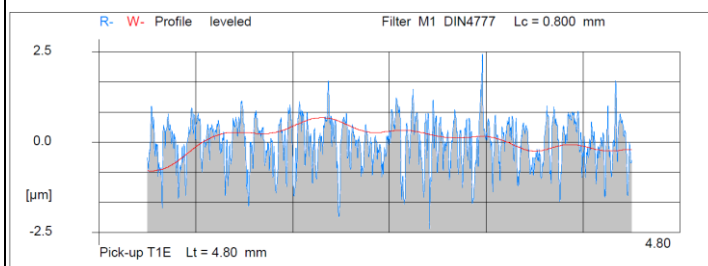
Czas pracy min	Parametr chropowości Ra , μm								K_{Ra}
	Toczenie			\overline{Ra}	Nagniatanie			\overline{Ra}	
2	0,75	0,76	0,76	0,76	0,27	0,28	0,28	0,28	2,7
4	0,78	0,77	0,77	0,77	0,22	0,22	0,24	0,23	3,4
6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,19	0,19	0,17	0,18	4,1
8	0,8	0,82	0,81	0,81	0,16	0,15	0,14	0,15	5,4
10	0,82	0,81	0,82	0,82	0,15	0,14	0,15	0,15	5,6
12	0,8	0,81	0,8	0,8	0,15	0,15	0,15	0,15	5,4
14	0,81	0,81	0,8	0,81	0,17	0,15	0,16	0,16	5,0
16	0,76	0,77	0,78	0,77	0,19	0,13	0,15	0,16	4,9
18	0,77	0,79	0,77	0,78	0,18	0,15	0,19	0,17	4,5
20	0,79	0,76	0,76	0,77	0,27	0,22	0,29	0,26	3,0
22	0,75	0,8	0,76	0,77	0,22	0,2	0,28	0,23	3,3
24	0,72	0,71	0,71	0,71	0,25	0,21	0,25	0,24	3,0
26	0,72	0,72	0,73	0,72	0,23	0,2	0,27	0,23	3,1
29	0,64	0,64	0,63	0,64	0,15	0,16	0,14	0,15	4,2
32	0,63	0,63	0,64	0,63	0,25	0,25	0,25	0,25	2,5
35	0,68	0,67	0,67	0,67	0,32	0,32	0,33	0,32	2,1
38	0,69	0,71	0,7	0,70	0,25	0,29	0,25	0,26	2,7
41	0,78	0,81	0,86	0,82	0,51	0,49	0,46	0,49	1,7



← Profilogram powierzchni toczonej, $Ra = 0,75 \mu\text{m}$



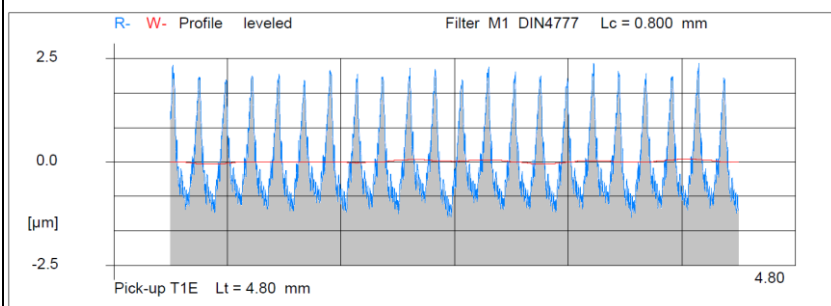
← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 6 min, $Ra = 0,19 \mu\text{m}$



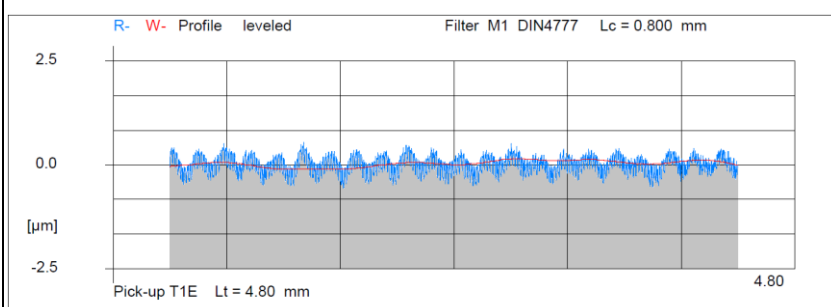
← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 41 min, $Ra = 0,51 \mu\text{m}$

Tabela 5. Wyniki badań SGP wałka ze stali narzędziowej Vanadis 6 w zależności od czasu pracy końcówki nagniatającej nr 2

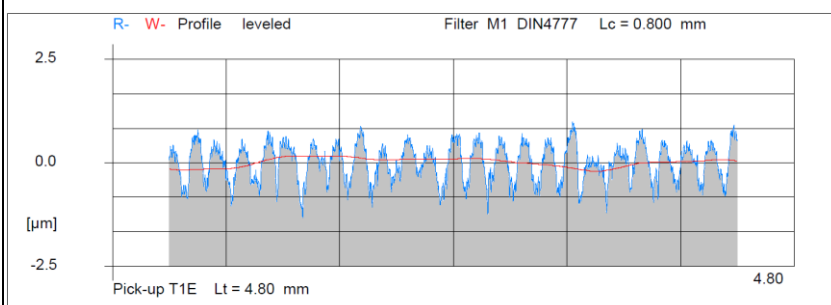
Czas pracy min	Parametr chropowatości Ra μm								K_{Ra}
	Toczenie			\overline{Ra}	Nagniatanie			\overline{Ra}	
2	0,77	0,76	0,76	0,76	0,17	0,17	0,16	0,17	4,6
4	0,78	0,76	0,76	0,77	0,21	0,19	0,18	0,19	4,0
6	0,76	0,76	0,76	0,76	0,31	0,3	0,3	0,30	2,5
8	0,78	0,78	0,78	0,78	0,22	0,22	0,21	0,22	3,6
10	0,77	0,77	0,77	0,77	0,19	0,17	0,17	0,18	4,4
12	0,78	0,78	0,78	0,78	0,25	0,21	0,22	0,23	3,4
14	0,77	0,78	0,77	0,77	0,25	0,21	0,2	0,22	3,5
18	0,7	0,7	0,7	0,70	0,25	0,29	0,27	0,27	2,6
22	0,7	0,7	0,7	0,70	0,27	0,24	0,28	0,26	2,7
26	0,67	0,68	0,68	0,68	0,19	0,23	0,25	0,22	3,0
29	0,78	0,77	0,77	0,77	0,27	0,27	0,26	0,27	2,9
32	0,77	0,77	0,77	0,77	0,3	0,34	0,37	0,34	2,3
35	0,77	0,77	0,77	0,77	0,31	0,35	0,35	0,34	2,3
38	0,77	0,76	0,77	0,77	0,38	0,41	0,43	0,41	1,9



← Profilogram powierzchni toczonej, $Ra = 0,77 \mu\text{m}$



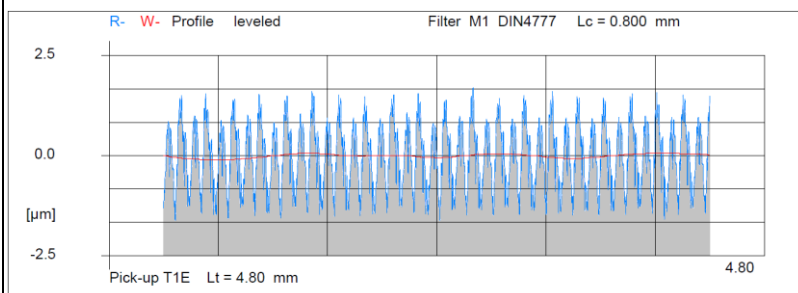
← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 2 min, $Ra = 0,17 \mu\text{m}$



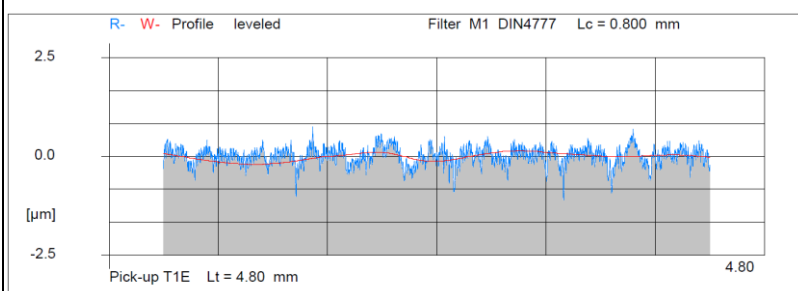
← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 38 min, $Ra = 0,38 \mu\text{m}$

Tabela 6. Wyniki badań SGP wałka ze stali narzędziowej Vanadis 6 w zależności od czasu pracy końcówki nagniatającej nr 3

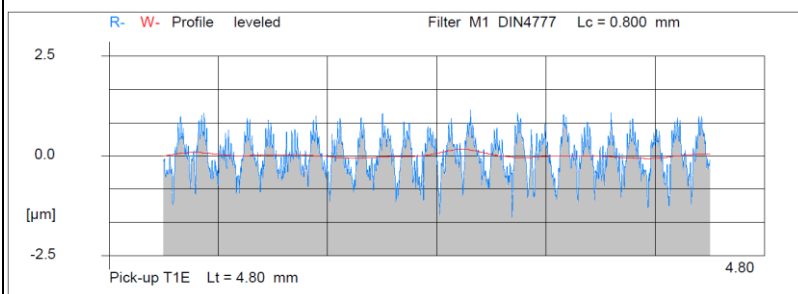
Czas pracy min	Parametr chropowatości Ra μm								K_{Ra}
	Toczenie			\overline{Ra}	Nagniatanie			\overline{Ra}	
2	0,76	0,76	0,76	0,76	0,21	0,2	0,2	0,20	3,7
4	0,76	0,76	0,77	0,76	0,23	0,21	0,21	0,22	3,5
6	0,75	0,76	0,76	0,76	0,22	0,22	0,21	0,22	3,5
8	0,75	0,77	0,79	0,77	0,19	0,19	0,2	0,19	4,0
10	0,77	0,77	0,78	0,77	0,21	0,17	0,2	0,19	4,0
12	0,76	0,76	0,77	0,76	0,3	0,24	0,26	0,27	2,9
14	0,77	0,75	0,75	0,76	0,31	0,23	0,27	0,27	2,8
18	0,67	0,68	0,68	0,68	0,24	0,23	0,25	0,24	2,8
22	0,68	0,68	0,68	0,68	0,25	0,25	0,27	0,26	2,6
26	0,68	0,7	0,69	0,69	0,18	0,17	0,19	0,18	3,9
29	0,74	0,76	0,76	0,75	0,18	0,18	0,19	0,18	4,1
32	0,77	0,77	0,76	0,77	0,26	0,26	0,28	0,27	2,9
35	0,75	0,75	0,76	0,75	0,26	0,31	0,28	0,28	2,7
38	0,74	0,74	0,75	0,74	0,4	0,41	0,4	0,40	1,8



← Profilogram powierzchni toczonej, $Ra = 0,68 \mu\text{m}$

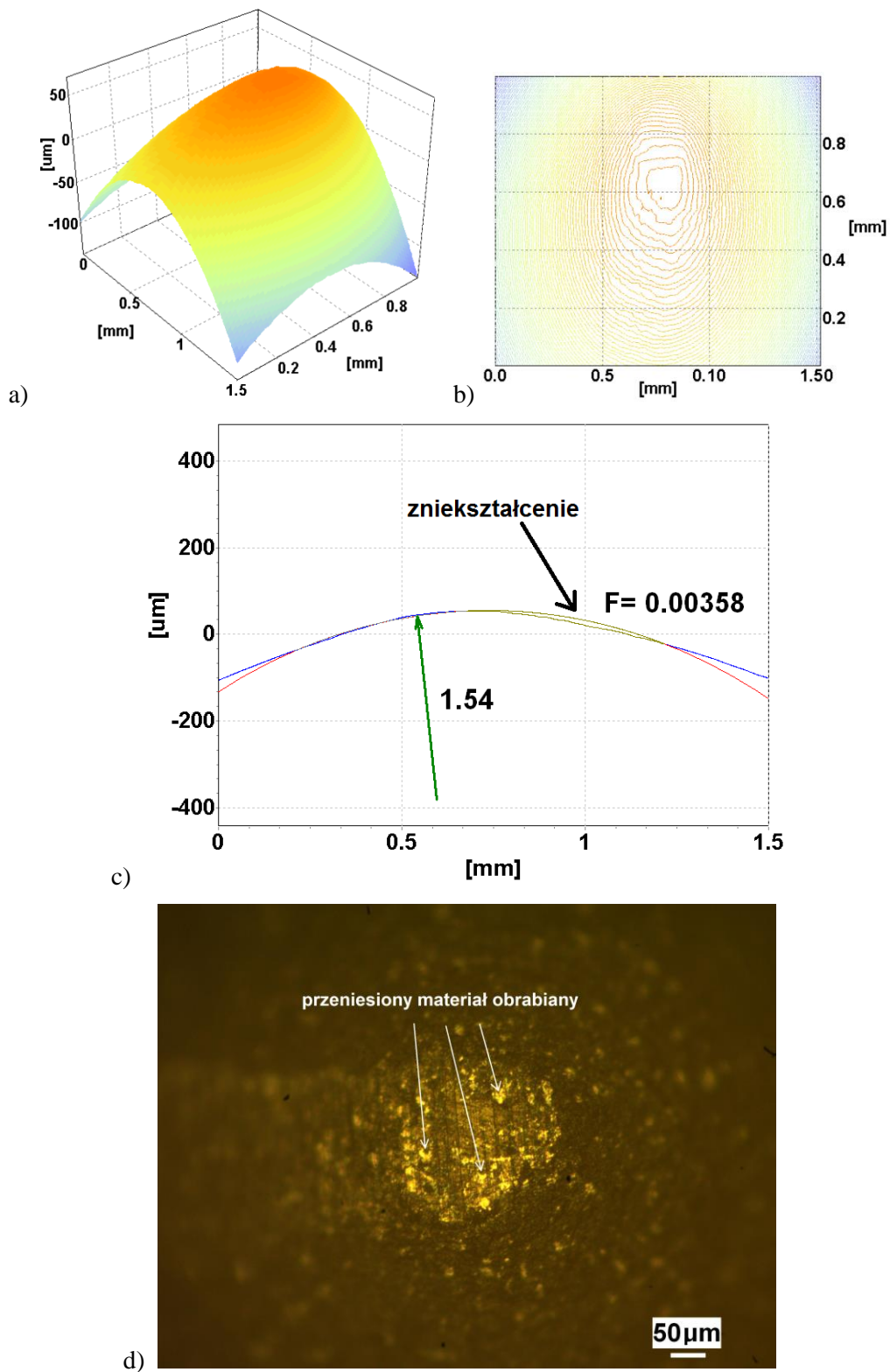


← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 26 min, $Ra = 0,18 \mu\text{m}$

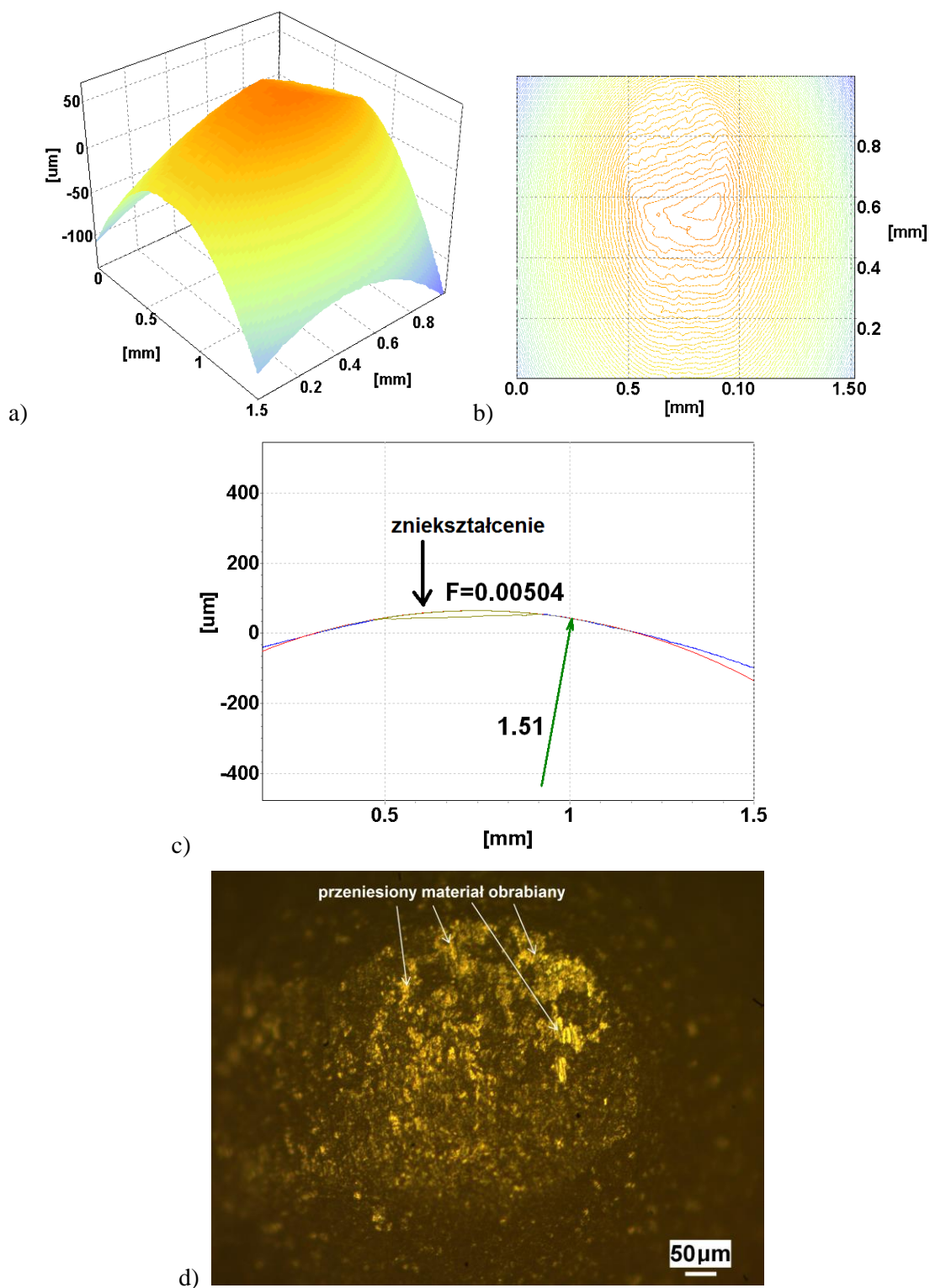


← Profilogram powierzchni nagniatanej po czasie pracy końcówki roboczej 38 min, $Ra = 0,39 \mu\text{m}$

Na rysunkach 6 i 7, na przykładzie końcówki nr 1, przedstawiono wygląd powierzchni roboczej z kompozytu diamentowego po okresie pracy 6 minut i po 41 minutach pracy w okresie już zaawansowanego zużycia; widać osadzony metal (materiał obrabiany) oraz zniekształcenie powierzchni narzędzia.



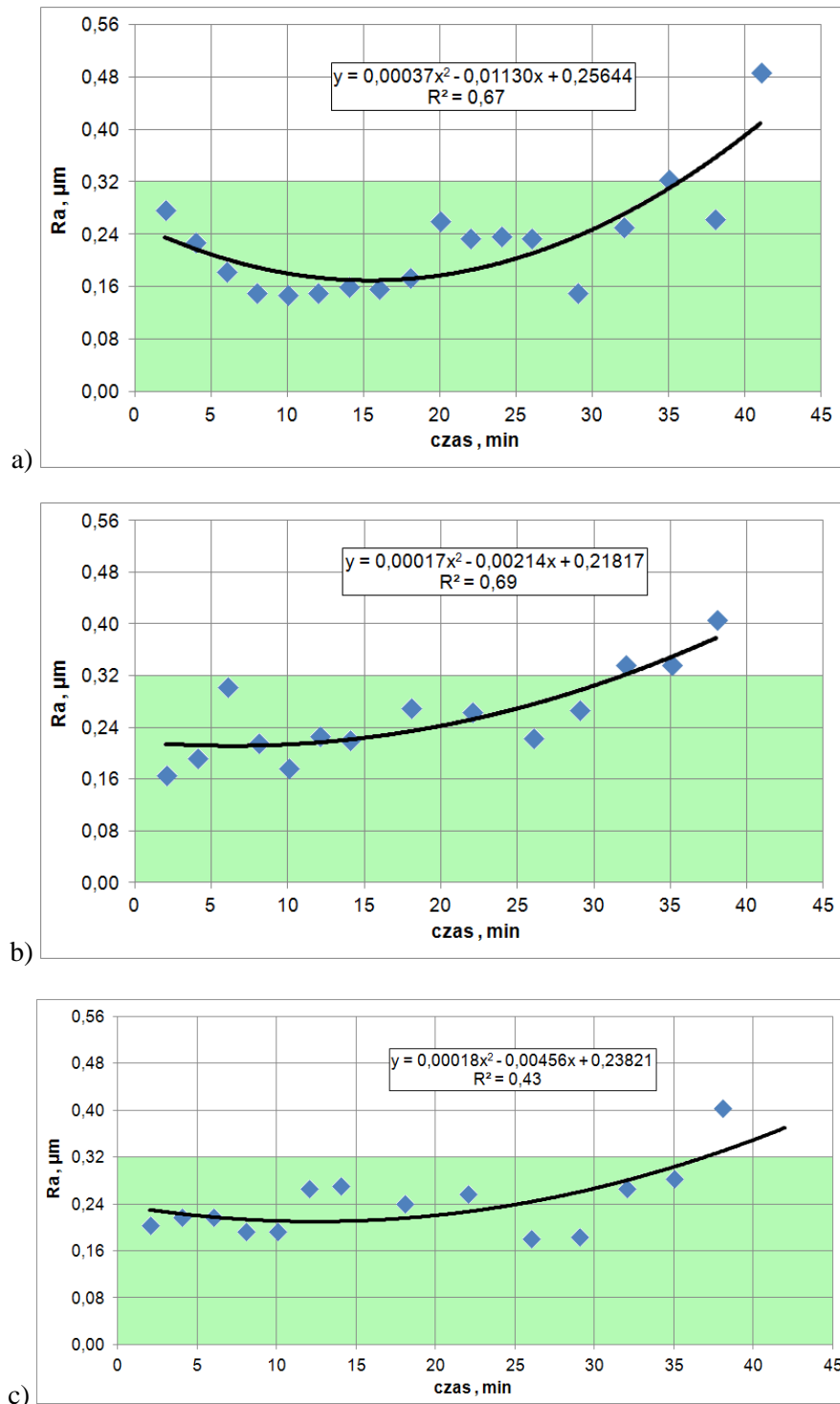
Rys. 6. Końcówka z kompozytu diamentowego nr 1 po 6 min. pracy: a) w układzie 3D, b) mapa warstwowa, c) przekrój 2D, d) zdjęcie z mikroskopu optycznego



Rys. 7. Końcówka z kompozytu diamentowego nr 1 po 41 min. pracy: a) w układzie 3D, b) mapa warstwiczna, c) przekrój 2D, d) zdjęcie z mikroskopu optycznego

Na rysunku 8 pokazano natomiast wpływ postępującego procesu zużywania się końcówek narzędzia nagniatającego na chropowatość powierzchni określoną parametrem Ra . Po pierwszym okresie pracy końcówki, w którym następowało jej docieranie uzyskiwano widoczną poprawę gładkości powierzchni; w dalszym okresie jej użytkowania następuje

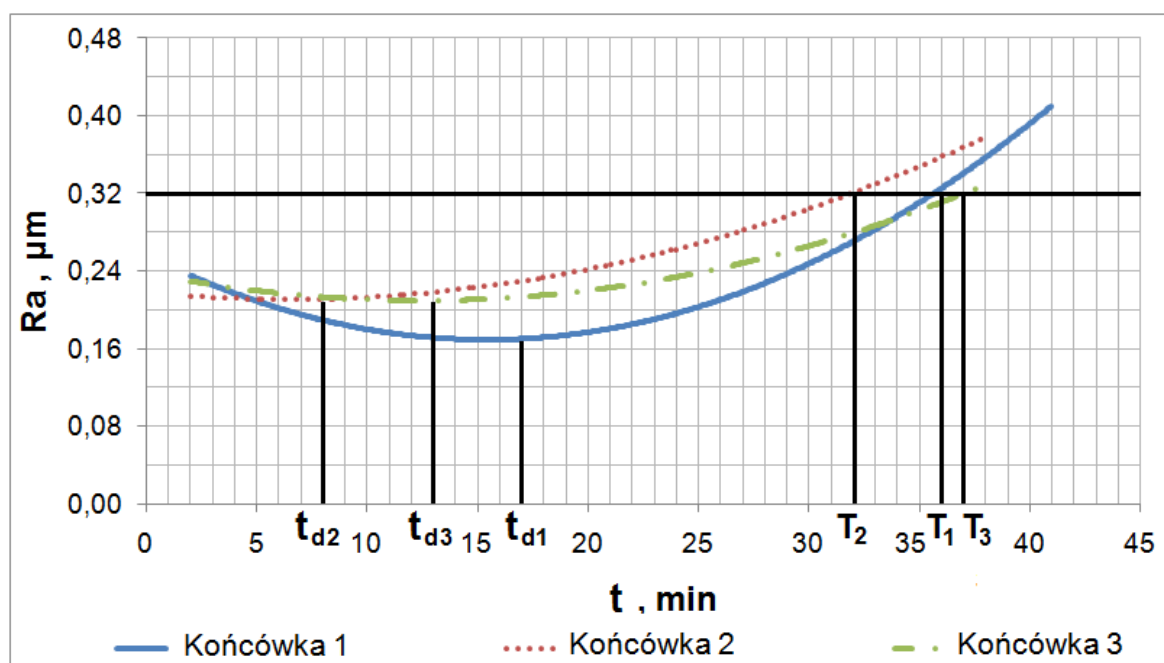
zwiększanie się zniekształcenia wierzchołka narzędzia nagniatającego i rośnie pole jego kontaktu z materiałem nagniatanym. Ponadto, obserwuje się przenoszenie materiału obrabianego na zużywające się powierzchnie końcówek. Towarzyszy temu postępujące pogorszenie chropowatości powierzchni nagniatanej. Na wykresach (rys. 8a–c) umieszczono wyniki pomiarów parametru Ra w funkcji czasu pracy narzędzia. Zależności przybliżono w sposób analityczny krzywymi regresji typu: $y = ax^2 + bx + c$ korzystając z programu Microsoft Office Excel 2007 przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.



Rys. 8. Zależność SGP wałka ze stali narzędziowej Vanadis 6 od czasu pracy (zużycia) końcówek nagniatających: a) końcówka nr 1, b) końcówka nr 2, końcówka nr 3

Na rysunku 9 zamieszczono zależności $Ra = f(t)$ wskazujące na istotne zmiany chropowatości powierzchni obrobionej w zależności od czasu pracy; wartość parametru Ra zmniejszała się w miarę docierania końcówki roboczej (t_{d1} , t_{d2} , t_{d3} – od 8 do 17 minut), a następnie ulegała pogorszeniu. Na podstawie uzyskanych zależności można stwierdzić, że czas docierania nie wpływa jednoznacznie na okres trwałości narzędzia T_i (i – numer końcówki). Trwałość badanych narzędzi wyznaczono przy zastosowaniu kryterium granicznej dopuszczalnej chropowatości powierzchni $Ra = 0,32 \mu\text{m}$ i wartości współczynnika $K_{Ra} > 2$. Wynosiły one odpowiednio:

Końcówka	t_d [min]	T
1	17	36
2	8	32
3	13	37



Rys. 9. Zestawienie zbiorcze krzywych regresji $Ra = f(t)$ dla badanych końcówek z kompozytu diamentowego wraz z określeniem ich okresu docierania oraz trwałości

5. PODSUMOWANIE

- 1) Analiza procesu zużywania się narzędzia nagniatającego z kompozytu diamentowego w procesie obróbki powierzchni utwardzonej stali narzędziowej Vanadis 6 w świetle przyjętego kryterium technologicznego $Ra = 0,32 \mu\text{m}$ oraz $K_{Ra} > 2$ wskazuje na wystarczająco długie okresy trwałości narzędzia ($32 \div 37$ min) oraz możliwość przemysłowego wykorzystania stosowanego przy próbach kompozytu diamentowego produkcji IZTW.
- 2) Zaobserwowano wyraźne występowanie okresu docierania końcówek diamentowych, którego efektem była kilkudziesięcio-procentowa poprawa chropowatości powierzchni nagniatanej.
- 3) Wraz z upływem czasu pracy końcówek nagniatających została zaobserwowana tendencja do zniekształcenia ich wierzchołka i przenoszenia materiału obrabianego na zużywające się powierzchnie końcówek, co w konsekwencji prowadziło do pogorszenia jakości powierzchni.

LITERATURA

- [1] Bednarski P., Biało D., Brostow W., Czechowski K., Polowski W., Rusek P., Toboła D.: Improvement of Tribological Properties of Metal Matrix Composite by Means of Slide Burnishing. *Materials Science (Medžiagotyra)* 19, 2013, 367-372.
- [2] Brostow W., Czechowski K., Polowski K., Rusek P., Toboła D., Wronska I.: Slide diamond burnishing of tool steel with adhesive coatings and diffusion layers. *Materials Research Innovations* 4 (17), 2013, 269-277.
- [3] 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.
- [4] Jaworska L., Stobierski L., Twardowska A., Królicka D. Preparation of materials based on Ti–Si–C systems using high temperature–high pressure method. *Journal of Materials Processing Technology* (162–163) 2005, 184–189.
- [5] Jaworska L., Szutkowska M., Morgiel J., Stobierski L., Lis J. Ti_3SiC_2 as a bonding phase in diamond composites. *Journal of Materials Science Letters* (20), 2001, 1783-1786.
- [6] Jaworska L., Szutkowska M., Smuk B., Klimczyk P., Królicka B.: Ceramiczne tworzywa narzędziowe z udziałem faz manometrycznych. *Mechanik* 4, 2010, 275-279.
- [7] Kaczmarek J., Przybylski W.: The surface characteristic after sliding and rolling burnishing, *Advanced in Manufacturing Science and Technology*, Vol. 26, Nr 1, KBN PAN Rzeszów 2002.
- [8] Kikuchi S., Komotori J.: Effect of Fine Peening Treatment prior to Nitriding on Fatigue Properties of AISI 4135 Steel. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* vol. 2, No. 11, 2008.
- [9] Korzyński M.: Nagniatanie ślizgowe. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2007.
- [10] Korzyński M., Lubas J., Świrad S., Dubek K.: Surface layer characteristic due to slide diamond burnishing with a cylindrical-ended tool. *Journal of Materials Processing Technology* 211 (2011) 84-94.
- [11] Korzyński M., Pacyna A., Cwanek J.: Fatigue strength of chromium coated elements and possibility of its improvement with slide diamond burnishing. *Surface & Coatings Technology* 203 (2009) 1670-1676.
- [12] Luo H., Liu J., Wang L., Zhong Q.: Study of the mechanism of the burnishing process with cylindrical polycrystalline diamond tools. *Journal of Materials Processing Technology* 180 (2006) 9–16.
- [13] Łupicka O., Kukielka L., Ratajski J.: Wpływ warstwy wierzchniej, ukształtowanej w procesie kulowania, na budowę fazową i kinetykę wzrostu warstwy azotowanej. *Inżynieria Materiałowa* 5, 2005.
- [14] Mahajan D., Tajane R.: A Review on Ball Burnishing Process. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, issue 4, 2013.
- [15] Przybylski W.: Technologia obróbki nagniataniem. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1987.
- [16] Przybylski W.: Zintegrowana obróbka toczeniem i nagniataniem. *Mechanik* 12/2011.
- [17] Świrad S.: Kompozyty diamentowe – materiały supertwarde do obróbki nagniataniem. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Mechanika* z.66. Rzeszów 2006.
- [18] Toboła D., Rusek P., Polowski W., Czechowski K.: Badania nad doбором warunków gładkościowego nagniatania ślizgowego stali narzędziowych konwencjonalnej i proszkowej. [W:] *Obróbka skrawaniem interakcja proces-*

- obrabiarka; Szkoła Obróbki Skrawaniem nr 7, Mierzęcin, 11-13 września, 2013, s. 257-263. [dysk CD - Mechanik, 2013, R. 86, nr 8-9] [Monografia]. Poznań : Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2013.
- [19] Tobała 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.
- [20] Tubielewicz K., Zaborowski A.: Przebieg procesu zużywania nagniatanych warstw wierzchnich. *Tribologia* 4, 2008, 165-174.
- [21] Wróblewski G., Skalski K.: Properties of surface layer generated by new combined process of burnishing and nitriding. *Surface Engineering* vol. 22, No. 2, 2006, 138-146.
- [22] Materiały informacyjne firmy Uddeholm: Uddehol, Vanadis® 6 Brochure, Edition 4, 05.2011, s.1-10.

**DEPENDENCE OF THE SURFACE GEOMETRIC STRUCTURE OF THE
WORKING TIP WEAR IN THE SLIDE DIAMOND BURNISHING
PROCESS OF HARDENED TOOL STEEL**

SUMMARY

Dependence of the surface geometric structure (SGS) of the burnished P/M high alloyed tool steel Vanadis 6 on a degree of wear of the working tips of diamond composite with ceramic bonding phase Ti_3SiC_2 is shown; the research results aiming for the determination of these tips durability are also presented. The analysis of the working tip wear was performed basing on measurements of the shape and surface microscopic observations. Obtained results indicate the high durability of the burnishing tool working tip made of a diamond composite mentioned above.