

# Właściwości fizyczne warstwy wierzchniej po toczeniu zahartowanej laserowo stali

## Physical properties of surface layer after turning of laser hardened steel

ZBIGNIEW NOWAKOWSKI \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.395

Prezentowano wyniki badań toczenia zahartowanej laserowo stali 100Cr6 z użyciem ostrzy skrawających wykonanych z azotku boru (PCBN) oraz ceramiki mieszanej  $Al_2O_3+TiC$ . Dokonano oceny mikrostruktury i mikrotwardości warstwy wierzchniej (WW). Omówiono czynniki wpływające na grubość białej warstwy oraz rozkład mikrotwardości WW.

**SŁOWA KLUCZOWE:** toczenie na twardo, warstwa wierzchnia, hartowanie laserowe stali

*The research results regarding turning of laser hardened 100Cr6 steel, with the application of cubic boron nitride (PCBN) and mixed ceramics  $Al_2O_3+TiC$  tools were presented. The evaluation of surface's layer microstructure and microhardness was carried out. The factors influencing the thickness of white layer and microhardness distribution of surface layer were presented.*  
**KEYWORDS:** hard turning, surface layer, laser hardening of steel

Proces hartowania laserowego pozwala na selektywne hartowanie wybranych powierzchni elementu i nie nakłada żadnych ograniczeń co do jego gabarytów i kształtu. Stąd też operacje hartowania laserowego mogą zostać w pełni zautomatyzowane lub zintegrowane z innymi metodami obróbki. Jednym ze sposobów obróbki integrowanych z hartowaniem laserowym jest skrawanie [4-6]. Zasadne staje się więc pytanie, jakie skutki technologiczne i eksploatacyjne uzyskamy w operacjach skrawania zintegrowanych z techniką laserową. W pracach [5, 10] zwraca się uwagę na różne przebiegi zmian mikrotwardości zahartowanych laserowo warstw wierzchnich (WW) położonych blisko powierzchni obrobionej. Połączenie skutków oddziaływania energii lasera na materiał i obciążeń w obróbce mechanicznej (nagniataniu, skrawaniu [8]) zmienia istotnie właściwości fizyczne kształtowanej warstwy wierzchniej, co ma znaczenie praktyczne w procesie eksploatacji WW. Celowe zatem są poszukiwania teoretyczne i doświadczalne wpływu różnych czynników technologicznych na stan technologicznej warstwy wierzchniej kształtowanych wyrobów.

### Warunki i metodyka badań

Badania hartowania i toczenia przeprowadzono dla stali stopowej narzędziowej 100Cr6 (ŁH15). W narzędziach skrawających zastosowano płytki wieloostrowe: z azotku boru (PCBN) KB9610 z powłokami  $Al_2O_3+TiN$  oraz z ceramiki narzędziowej mieszanej NB100C z powłoką  $TiN/AlN$  nano.

Hartowanie laserowe oraz toczenie przeprowadzono na stanowisku składającym się z lasera technologicznego  $CO_2$  firmy Trumpf (TLF 2600t) o mocy  $P = 2600$  W, połączonego z tokarką TUM35D1. Laser rozbudowano o zewnętrzny układ optyki, umożliwiający doprowadzenie

wiązki światła laserowego do strefy nagrzewania oraz skupienie promienia do zadanej średnicy. Głowica laserowa została sprzężona z suportem narzędziowym tokarki, dzięki czemu mogła wykonywać ruch prostoliniowy równoległy do osi wrzeciono-konik.

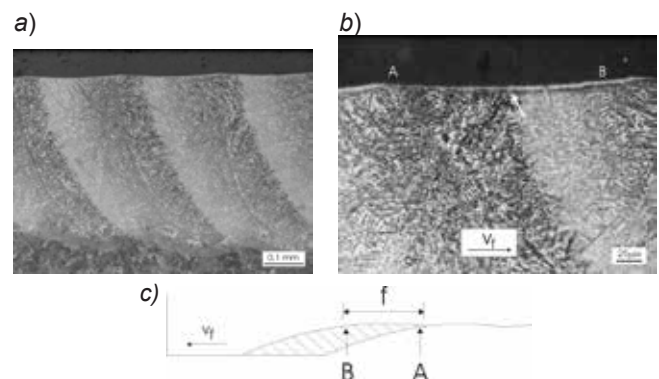
Hartowanie laserowe przeprowadzono przy stałej wartości mocy  $P = 1000$  W promienia laserowego zogniskowanego na powierzchni próbek do średnicy  $d_f = 1$  mm. W badaniach stosowano następujące wartości parametrów:  $f_t = f = 0,25$  mm/obr,  $a_p = 0,1$  mm,  $v_t = 5$  m/min,  $v_c = 120$  m/min.

Analizę mikrostruktury przeprowadzono za pomocą mikroskopu świetlnego NEOPHOT 32 oraz skaningowego mikroskopu elektronowego VEGA TESCAN.

Mikrotwardość  $HV_{0,01}$  warstw wierzchnich badano za pomocą mikrotwardościomierza Buehler Micromet II, stosując obciążenie 10 g. Pomiar wielkości odcisków przeprowadzono przy powiększeniu obrazu 1000x. Głównym celem badań było określenie zmian mikrotwardości warstwy wierzchniej spowodowanych przeprowadzoną obróbką skrawaniem (toczeniem). W tym celu pomiary mikrotwardości wykonano jak najbliżej powierzchni próbek. Dla próbek toczonej po hartowaniu laserowym wykonano pomiary w odległości  $h = 15; 115$  i  $215$   $\mu m$  od powierzchni. Na każdej głębokości dokonano po 30 pomiarów oddalonych od siebie o  $25$   $\mu m$ , co pozwoliło objąć obszar trzech przebiegów (posuwów  $f$ ) wiązki lasera. Wybrane próbki poddano także badaniom mikrotwardości na zglądach ukośnych w celu określenia mikrotwardości w odległości  $h$  mniejszej niż  $15$   $\mu m$  od powierzchni.

### Wyniki badań i ich analiza

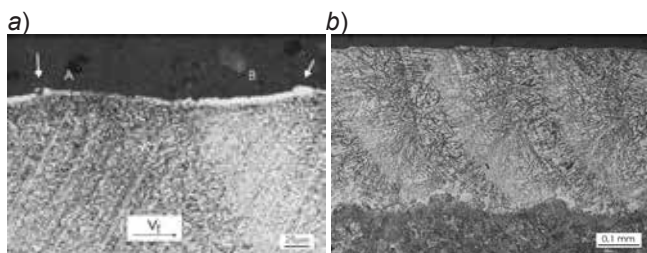
Mikrostrukturę warstwy wierzchniej otrzymanej po toczeniu zahartowanej laserowo stali ostrzami o początkowych cechach stereometrycznych ( $VB_c = 0,0$  mm) przedstawiono na rys. 1, natomiast na rys. 2 – mikrostrukturę warstwy wierzchniej po toczeniu ostrzami o wskaźniku zużycia  $VB_c = 0,25$  mm.



Rys. 1. Warstwa wierzchnia po toczeniu zahartowanej laserowo stali 100Cr6 ostrzem NB100C (a) i ostrzem KB9610 o początkowych cechach stereometrycznych ( $VB_c = 0$  mm) (b) oraz przekrój poprzeczny warstwy skrawanej (c)

\* Dr inż. Zbigniew Nowakowski (zbigniew.nowakowski@pwt.poznan.pl) – Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej

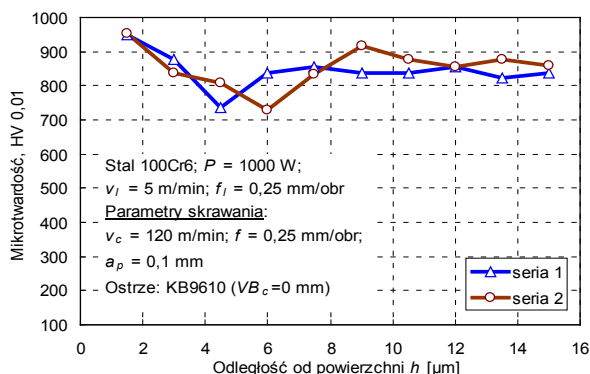
Analiza próbek ze stali 100Cr6 wykazała istnienie białej warstwy oraz strefy odpuszczonej w warstwie wierzchniej. W materiale toczonym ostrzami o początkowych cechach stereometrycznych biała warstwa miała zmienną grubość wzdłuż powierzchni, przy czym zmienność ta miała charakter cykliczny i zbliżoną geometrię w zakresie każdego pojedynczego zarysu odwzorowanego kinematycznie posuwem ostrza skrawającego. Zmienność ta związana jest z geometrią warstwy skrawanej (rys. 1c). Najmniejszą grubość obserwuje się w obszarze kształtowanym przez pomocniczą krawędź skrawającą (obszar A – rys. 1b), a największą w obszarze kształtowanym przez główną krawędź skrawającą ostrza (obszar B – rys. 1b).



Rys. 2. Warstwa wierzchnia po toczeniu zahartowanej laserowo stali 100Cr6 ostrzem zużytym ( $VB_c = 0,25$  mm) NB100C (a) i KB9610 (b)

Podobny wynik w postaci zmiennej grubości białej warstwy uzyskali autorzy prac [2, 11]. Chou [2] tłumaczy, że im większa grubość warstwy skrawanej, tym większe siły skrawania, a tym samym większa grubość białej warstwy.

W materiale toczonym ostrzami zużytymi ( $VB_c = 0,25$  mm) uzyskano mikrostrukturę zbliżoną do tej po toczeniu ostrzami o początkowych cechach stereometrycznych, z wyjątkiem obszaru utworzonego przez końcową czynną część krawędzi skrawającej. W punkcie tym powstaje charakterystyczna wypływka (obszary A i B – rys. 2a), będąca efektem wypchnięcia materiału w kolejnym przejściu ostrza skrawającego. Efekt ten nazywany jest bocznym płynięciem (ang. *side flow*) i był badany m.in. przez Kishawy i Elbestawi [7] oraz Pekelharringa [9]. Jest to silnie związane z pojęciem minimalnej grubości warstwy skrawanej. W obszarze, gdzie grubość warstwy skrawanej jest mniejsza niż minimalna, wymagana do zainicjowania skrawania, materiał jest tylko poddany zgmiotowi oraz przemieszczeniu w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu posuwowego narzędzia.



Rys. 3. Rozkład mikrotwardości (pomiar na zgładzie ukośnym) warstwy wierzchniej w próbce ze stali 100Cr6 toczonej ostrzem KB9610 o początkowych cechach stereometrycznych (dwie serie pomiarów oddalone od siebie o  $l = 50$   $\mu$ m)

Rozkład mikrotwardości na zgładzie ukośnym wykonano w linii prostej prostopadłej do osi próbki toczonej ostrzem KB9610 o początkowych cechach stereometrycznych (rys. 3). Do pomiaru wybrano obszar B (rys. 1b), a zatem

obejmujący białą warstwę, strefę odpuszczoną oraz martenzyt nieodpuszczony. Przeprowadzono dwie serie pomiarów oddalone od siebie o 50  $\mu$ m. Na przedstawionym wykresie (rys. 3) zaobserwować można dużą twardość warstwy wierzchniej w odległości  $h = 1,5$   $\mu$ m od powierzchni, a następnie spadek twardości do 730 HV<sub>0,01</sub> w obszarze istnienia strefy odpuszczonej ciepłem procesu skrawania. W odległości  $h = 6\text{--}7$   $\mu$ m uzyskano wynik typowy dla strefy martenzytu nieodpuszczonego – czyli ok. 850 HV<sub>0,01</sub>. Uzyskany rozkład mikrotwardości jest zbliżony do rozkładów przedstawianych przez innych autorów [1, 3, 12].

Średnia twardość białej warstwy zmierzona na zgładzie prostopadłym w miejscu największej grubości wynosi 1307 HV<sub>0,01</sub>, a moduł Younga  $E = 243$  GPa.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- analiza próbek ze stali 100Cr6 toczonych po hartowaniu laserowym wykazała istnienie białej warstwy oraz strefy odpuszczonej w warstwie wierzchniej,
- grubość białej warstwy zmienia się wraz ze zmianą grubości warstwy skrawanej; im większa grubość warstwy skrawanej, tym większa grubość powstałej białej warstwy; największą grubość białej warstwy obserwuje się w próbkach toczonych ostrzami zużytymi w miejscu wypływki wytworzonej na styku zarysów wytworzonych przez ostrze skrawające,
- rozkład mikrotwardości na zgładzie ukośnym wykazał, że zmiany twardości warstwy wierzchniej wprowadzone przez stosowaną obróbkę skrawaniem występują do głębokości ok. 8  $\mu$ m; największą twardość 950 HV<sub>0,01</sub> obserwuje się przy powierzchni, w obszarze białej warstwy.

## LITERATURA

1. Barry J., Byrne G. "TEM study of the surface white layer in two turned hardened steels". *Materials Science and Engineering*. No. 325 (2002).
2. Chou Y.K., Song H. "Tool nose radius effects on finish hard turning". *Journal of Materials Processing Technology*. No. 148 (2004).
3. Guo Y.B., Sahni J. "A comparative study of hard turned and cylindrically ground white layers". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. No. 44 (2004).
4. Kawalec M., Barbacki A., Jankowiak M., Nowakowski Z. i inni. „Hybrydowy i sekwencyjny proces dokładnego toczenia zahartowanych laserowo stali stopowych”. Sprawozdanie z projektu badawczego MNISW nr 4T07D03928, IMT PP, Poznań 2008.
5. Kawalec M., Jankowiak M., Barbacki A. „Geometryczne i fizyczne właściwości technologicznej warstwy wierzchniej stali stopowych w warunkach hybrydowego procesu laserowego hartowania i skrawania”. *Problemy Eksploatacji*. 4(2005) nr 59, s. 171–180.
6. Kawalec M., Jankowiak M., Barbacki A. „Sekwencyjne i hybrydowe toczenie zahartowanej laserowo warstwy wierzchniej stali stopowych”. *Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Manufacturing – Współczesne Problemy Wytwarzania*, IMT PP, Poznań (2001), s. 389–396.
7. Kishawy H.A., Elbestawi M.A. "Effects of process parameters on material side flow during hard turning". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 39 (1999).
8. Oczko K.E. „Ubytkowa obróbka laserowa – stan obecny, zastosowania i perspektywy”. *Mechanik* nr 5–6(2005), s. 365–386.
9. Pekelharing A.J., Gieszen C.A. "Material side flow in finish turning". *Annals of the CIRP*. Vol. 20 (1971).
10. Rana J., Gaswami G.L., Iha S.K., Mishra P.K., Prasad B.V. S.S.S. "Experimental studies on the microstructure and hardness of laser treated steel specimens". *Optics & Laser Technology*. (2007) 39, pp. 385–393.
11. Smith S., Melkote S.N. „Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance”. *Materials Science and Engineering*. Vol. 459 (2007).
12. Tonshoff H.K., Wobker H.G., Brandt D. "Tool Wear and Surface Integrity in Hard Turning". *Production Engineering*. Vol. III/1, 1996.