

# Badania wybranych właściwości warstwy wierzchniej elementów ze stali C45 po cięciu laserem, frezowaniu wykończeniowym oraz nagniataniu odśrodkowym

A study on selected properties of the surface layer of C45 steel objects after laser cutting, finishing milling and centrifugal burnishing

AGNIESZKA SKOCZYLAS  
KAZIMIERZ ZALESKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.261

Przedstawiono wyniki badań chropowatości powierzchni oraz mikrotwardości warstwy wierzchniej elementów ze stali C45 po cięciu laserem, a następnie poddanej obróbce frezowaniem wykończeniowym oraz nagniataniem odśrodkowym. Celem frezowania było usunięcie prążków po cięciu laserem, natomiast nagniatanie umożliwiło umocnienie warstwy wierzchniej oraz zmniejszenie chropowatości powierzchni.

**SŁOWA KLUCZOWE:** cięcie laserem, frezowanie wykończeniowe, nagniatanie odśrodkowe

*The article presents the results of surface roughness and microhardness surface layer of C45 steel objects after laser cutting and then treated by finishing milling and centrifugal burnishing. The aim of the milling was to remove "striae" after laser cutting, while centrifugal burnishing allows to strengthen the surface layer and improve surface roughness.*

**KEYWORDS:** laser cutting, finishing milling, centrifugal burnishing

Cięcie laserem, coraz częściej stosowane w warunkach przemysłowych, jest zaliczane do erozyjnych sposobów rozdzielania materiału.

Zastosowanie wiązki lasera do podziału materiału wpływa na strukturę geometryczną powierzchni, mikrostrukturę i mikrotwardość, dokładność geometryczną oraz naprężenia własne, co przekłada się na przydatność półfabrykatu na kolejnym etapie produkcyjnym.

Chropowatość powierzchni po cięciu laserem jest skutkiem nakładania się procesów termicznych i hydrodynamicznych oraz występowaniem drgań przedmiotu podczas cięcia [6]. Pojawienie się na powierzchni przecinanej charakterystycznych prążków spowodowane jest nieciągłością procesu cięcia oraz świadczy o tym, że materiał „ucieka” ze szczeliny cięcia [4].

Ograniczeniem zastosowania przedmiotów bezpośrednio po wycinananiu laserem jest także występowanie niezgodności na krawędziach i powierzchniach przecinanego materiału [8] oraz brak prostopadłości konturu cięcia do powierzchni przecinanej płyty [1].

Ciepło dostarczone do materiału podczas cięcia powoduje przemiany strukturalne w otoczeniu szczeliny, a co za tym idzie, następuje przyrost twardości w obszarach przykrawędziowych [2]. Nieuniknione podczas cięcia laserem jest również występowanie mikropęknięć na powierzchni oraz utlenianie się tej powierzchni podczas podziału stali węglowej [3, 4].

Obecność niepożądanych zjawisk na powierzchniach elementów wycinanych laserem jest przesłanką do prze-

prowadzenia obróbki wykończeniowej tych powierzchni. W warunkach przemysłowych eliminacja negatywnych skutków cięcia laserem odbywa się za pomocą szlifierek taśmowych, szczotek drucianych, frezowania. Wcześniej-sze prace własne [7] oraz możliwość zastosowania obróbki nagniataniem do zmiany właściwości warstwy wierzchniej po obróbce elektroerozyjnej [5] skłaniają do podjęcia badań nad wykorzystaniem obróbki nagniataniem do przebudowy warstwy wierzchniej elementów wycinanych laserem.

Celem badań była ocena wpływu wytypowanych sposobów obróbki wykończeniowej – obróbki frezowaniem oraz obróbki nagniataniem odśrodkowym – na chropowatość powierzchni i mikrotwardość przedmiotów wycinanych laserem.

## Metodyka

W badaniach wykorzystano próbki ze stali C45 o wymiarach 5×8×100 mm wykonane z użyciem wycinarki laserowej LASER Amada 3000 W; zastosowano standardowe parametry. Frezowanie obwodowe i nagniatanie odśrodkowe przeprowadzono na pionowym centrum frezarskim FV – 580a. Frezowanie zrealizowano z wykorzystaniem dwuostrzowego frezu firmy Sandvik o średnicy 20 mm z płytkami 215880 APKT10 pokrytymi powłoką TiN; przyjęto następujące parametry technologiczne:  $a_p = 0,12$  mm,  $v_c = 102$  mm/min,  $f_z = 0,067$  mm/ostrze. Nagniatanie odśrodkowe przeprowadzono specjalną głowicą nagniatającą; przyjęto następujące parametry: prędkość obwodowa  $v_g = 1143$  m/min, prędkość posuwu  $v_f = 3648$  mm/min, przesuw poprzeczny  $f_p = 0,08$  mm. Pomiar chropowatości powierzchni wykonano za pomocą urządzenia T8000RC 120-140 firmy Hommel – Etamic, które pozwala na wyznaczenie parametrów amplitudowych, wysokościowych i krzywej Abbotta–Firestone’a. Mikrotwardość mierzono metodą Vickersa; użyto mikrotwardościomierza LM 700AT firmy Leco i zastosowano wgłębnik o masie 50 g.

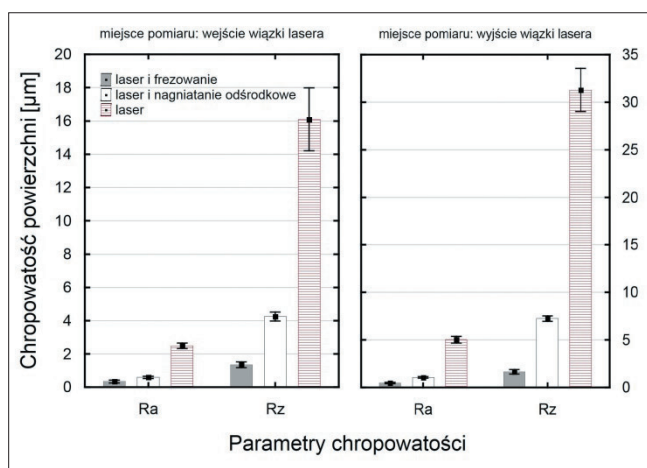
## Wyniki badań

Na skutek obróbki nastąpiły zmiany właściwości stereometrycznych i fizycznych warstwy wierzchniej po cięciu laserem.

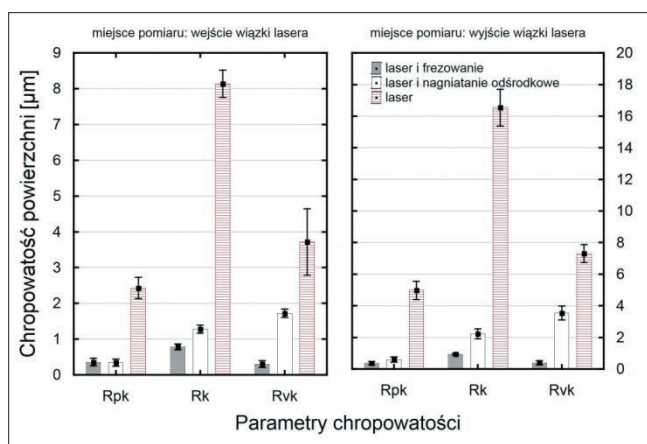
Na rys. 1 i 2 przedstawiono chropowatość powierzchni w zależności od przeprowadzonej obróbki. Powierzchnia po cięciu laserem charakteryzuje się dwiema strefami o zróżnicowanej chropowatości. Parametry  $R_a$ ,  $R_z$  oraz parametry krzywej Abbotta–Firestone’a są ok. dwukrotnie większe w strefie wyjścia niż wejścia. Przeprowadzone nagniatanie odśrodkowe powoduje, że parametry amplitudowe i wysokościowe próbek zmniejszają się ok. czte-

\* Mgr inż. Agnieszka Skoczyłas (a.skoczyłas@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski prof. PL (k.zaleski@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

rozkrośnie w odniesieniu do powierzchni po cięciu laserem. Następuje poprawa odporności na zużycie ścierne (parametr  $Rpk$ ) oraz wzrasta tzw. obciążalność powierzchni (parametr  $Rk$ ). Frezowanie wykończeniowe powierzchni po cięciu laserem pozwala na usunięcie charakterystycznej prążkowanej struktury, co przekłada się na prawie całkowitą eliminację strefy wejścia i strefy wyjścia. Parametry  $Ra$  i  $Rz$  w odniesieniu do powierzchni po cięciu laserem zmniejszają swoją wartość ok. 10-krotnie. Zmianie ulegają także parametry z grupy  $Rk$ , które opisują funkcjonalne zachowanie się powierzchni. Parametr  $Rpk$  zmniejsza się o ok. 90%, natomiast  $Rk$  – o ok. 92% w odniesieniu do obróbki poprzedzającej. Oznacza to, że powierzchnia obrobiona frezowaniem wykończeniowym będzie się charakteryzowała mniejszym zużyciem w kontakcie ruchomym dwóch elementów. Zarówno nagniatanie odśrodkowe, jak i frezowanie wykończeniowe powodują obniżenie zdolności retencji środka smarnego, następuje spadek wartości parametru  $Rvk$ .



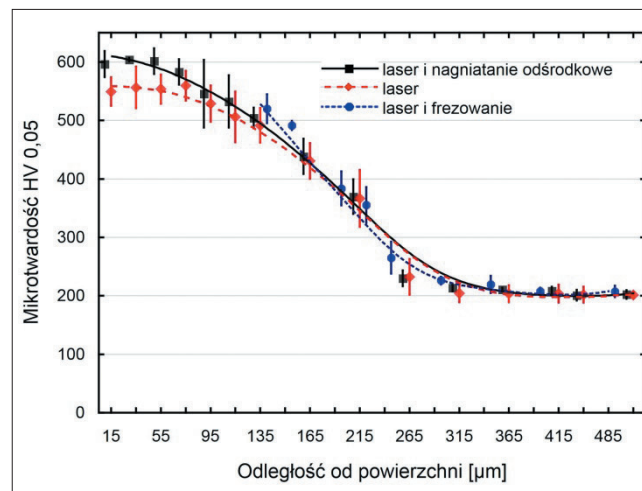
Rys. 1. Wpływ sposobu obróbki na parametry chropowatości powierzchni  $Ra$  i  $Rz$



Rys. 2. Wpływ sposobu obróbki na parametry krzywej Abbotta–Firestone'a

Podczas obróbki dochodzi do zmian właściwości fizycznych warstwy wierzchniej (rys. 3). Ciepło dostarczone do materiału podczas cięcia laserem powoduje zahartowanie obszaru przykrawędziowego, co przekłada się na zmiany mikrostruktury oraz przyrost mikrotwardości. Szerokość strefy wpływu ciepła (SWC) wynosi ok. 0,3 mm. Mikrotwardość w obszarze krawędzi cięcia wzrasta prawie trzykrotnie, a ze wzrostem odległości od powierzchni zmniejsza się do mikrotwardości rdzenia. Nagniatanie odśrodkowe powoduje wzrost gęstości dyslokacji, co prowadzi do

umocnienia warstwy wierzchniej. Przyrost twardości wynosi ok. 8%, a grubość warstwy utwardzonej – ok. 60  $\mu\text{m}$ . Frezowanie wykończeniowe przedmiotów wycinanych laserem powoduje usunięcie części warstwy wierzchniej o największej mikrotwardości, lecz sam proces frezowania przyczynia się do umocnienia niewielkiego obszaru tuż przy krawędzi. Jest to spowodowane mechanicznym oddziaływaniem ostrzy skrawających.



Rys. 3. Rozkład mikrotwardości warstwy wierzchniej stali C45 po cięciu laserem, cięciu laserem i nagniataniu odśrodkowym oraz cięciu laserem i frezowaniu wykończeniowym

## Podsumowanie

Badano wpływ rodzaju obróbki wykończeniowej powierzchni po cięciu laserem na wybrane właściwości warstwy wierzchniej stali C45. Wyciągnięto następujące wnioski:

- nagniatanie odśrodkowe powierzchni po cięciu laserem pozwala na poprawę parametrów chropowatości  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rpk$ ,  $Rk$ , równocześnie następuje umocnienie obszaru przykrawędziowego, co jest korzystnym zjawiskiem,
- frezowanie wykończeniowe powierzchni po cięciu laserem eliminuje strefy o zróżnicowanej chropowatości, następstwem obróbki jest również usunięcie warstwy wierzchniej o największej mikrotwardości, a tym samym zmniejszenie grubości warstwy utwardzonej.

## LITERATURA

1. Czupryn M., Szul T. „Wpływ wybranych parametrów cięcia laserowego na jego wynik”. *Przegląd Spawalnictwa*. Nr 10 (2004): s. 9–12.
2. Iordanova I., Antonov V., Gurkovsky S. „Changes of microstructure and mechanical properties of cold-rolled low carbon steel due to its surface treatment by Nd: glass pulsed laser”. *Surface & Coatings Technology*. 153 (2002): pp. 267–276.
3. Keles O., Oner U. „A study of laser cutting process: influence of laser power and cutting speed on cut quality”. *Lasers in Engineering*. 20 (2010): pp. 319–327.
4. Leszczyńska-Madej B., Richert M., Sak T. „Effect of unconventional methods of cutting on microstructure, topography and microhardness changes in steel”. *Metallurgy and Foundry Engineering*. Vol. 38, No. 2 (2012): pp. 109–115.
5. Nowicki B., Podolak-Lejtas A. „Investigations of the effect of combined EDM machining with burnishing process on the condition of the surface layer”. *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 32, No. 4 (2008): pp. 5–17.
6. Powell J. „*Laser Cutting*”. London: Springer Verlag, 1993.
7. Zaleski K., Skoczylas A. „Struktura geometryczna powierzchni stali po cięciu laserowym i nagniataniu odśrodkowym”. *Przegląd Mechaniczny*. Nr 6 (2015): s. 32–36.
8. PN-EN ISO 12584: 2004. Niezgodności w procesach cięcia płomieniowego tlenowo-gazowego, cięcia wiązką laserową i cięcia plazmowego. Terminologia. ■