

**Aneta BARTKOWSKA\***

## **WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE LASEROWO STOPOWANYCH MOLIBDENEM WARSTW POWIERZCHNIOWYCH STOPÓW ŻELAZA O RÓŻNEJ ZAWARTOŚCI WĘGLA**

### **TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MOLYBDENUM LASER ALLOYED SURFACE LAYERS OF IRON ALLOYS OF VARYING CARBON CONTENT**

#### **Słowa kluczowe:**

stopowanie laserowe, molibden, mikrotwardość, odporność na zużycie przez tarcie, chropowatość

#### **Key words:**

laser alloying, molybdenum, microhardness, wear resistance, roughness

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wpływ zawartości węgla na proces laserowego stopowania molibdenem. Analizowano mikrostrukturę, chropowatość powierzchni, mikrotwardość oraz odporność na zużycie przez tarcie. W wyniku laserowego molibdenowania stali C45 i CT90 otrzymano mikrostrukturę złożoną

---

\* Instytut Inżynierii Materiałowej, Politechnika Poznańska, pl. M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań, Polska, tel. 61 665 3572, e-mail: aneta.bartkowska@put.poznan.pl.

z trzech obszarów: strefy przetopionej, strefy wpływu ciepła i podłoża. Przeprowadzono badania odporności na zużycie przez tarcie, w którym stwierdzono, że stal narzędziowa po laserowym stopowaniu molibdenem charakteryzuje się mniejszym wskaźnikiem intensywności zużycia niż stal konstrukcyjna po laserowym stopowaniu molibdenem.

## WPROWADZENIE

W zastosowaniach eksploatacyjnych ważną rolę odgrywają współpracujące ze sobą materiały, dlatego dużym zainteresowaniem cieszą się wszelkiego rodzaju obróbki powierzchniowe zapewniające korzystne połączenie wybranych właściwości, m.in. twardości czy odporności na zużycie przez tarcie [L. 1÷4].

Do tej pory wiodącymi na rynku są obróbki dyfuzyjne, tj. azotowanie czy nawęglanie, jednakże w ostatnich kilkudziesięciu latach naukowcy skupiają się nad doskonaleniem metod i technik wykorzystujących wysokowydajne źródła energii takie jak plazma czy laser [L. 5]. Dzięki takim procesom w krótkim czasie możemy znacznie zwiększyć twardość i odporność na zużycie przez tarcie, obrabiając wybraną powierzchnię elementu [L. 5÷7]. Do pierwiastków, które w istotny sposób wpływają na poprawę tych właściwości zalicza się między innymi bor [L. 6, 7], chrom [L. 8], węgiel [L. 8] czy molibden [L. 10÷13].

Molibden jest istotnym pierwiastkiem stosowanym w celu zwiększenia przyczepności oraz odporności na zużycie powierzchni części maszyn i elementów narażonych na zużycie przez tarcie.

Znajduje on zastosowanie między innymi na:

- materiał powłokowy na pierścieniu synchronizatorów i widełki zmiany biegów w przekładniowych skrzyniach samochodowych,
- powierzchnie nośne sprzęgieł stożkowych,
- łopatki wentylatorów,
- dziobowe części kadłubów statków,
- powierzchnie śrub okrętowych,
- elementy maszyn drukarskich [L. 10].

Procesy dyfuzyjne stosowane dotychczas są stosunkowo energochłonne i w związku z tym dobrą alternatywą do modyfikacji warstwy powierzchniowej wybranymi pierwiastkami może być laserowe stopowanie [L. 8]. Proces ten polega na przetapianiu warstwy z naniesioną powłoką na materiał pod postacią pierwiastka lub fazy. W wyniku oddziaływania wiązki lasera zmienia się skład chemiczny i struktura materiału, a co za tym idzie również właściwości warstwy powierzchniowej [L. 5÷9].

Intensywne chłodzenie przetopionej warstwy materiału wzbogaconego w pierwiastek modyfikujący pozwala otrzymać drobnokrystaliczne, silnie przesycone roztwory, jak również roztwory złożone z pierwiastków trudno tworzących stopy w warunkach równowagowych. Istnieją publikacje, w których

przedstawiono wpływ pierwiastków takich jak: B, Cr, C, Mo na właściwości warstwy powierzchniowej [L. 5 ÷ 13].

W artykule [L. 11] autorzy nanosili pastę molibdenu o grubości 0,1 mm i tlenku cyrkonu o grubości 0,3 mm na podłoże NiTi (Ni-55%, Ti-45%), a następnie przetapiali ją wiązką lasera Nd-YAG o mocy mieszczącej się w zakresie P: 600÷1100 W, prędkości skanowania v: 10 ÷25 mm/s oraz dla średnicy wiązki lasera d: 3÷5 mm. Stwierdzono, że w wyniku laserowej obróbki cieplnej nastąpił 3-krotny wzrost mikrotwardości w stosunku do materiału podłoża o mikrotwardości 220 HV. Strefa przetopiona po stopowaniu molibdenem wynosiła 600 HV, natomiast po stopowaniu tlenkiem cyrkonu ZrO<sub>2</sub> 720 HV. Powstałe warstwy powierzchniowe pozbawione były pęknięć i porowatości.

Natomiast w pracy [L. 12] zastosowano metodę LISI<sup>TM</sup> (*Laser Induced Surface Improvement*), gdzie za pomocą pistoletu rozpylano spoiwo tiksotropowe, a następnie suszono w temperaturze 70°C i przetapiano wiązką lasera naniesioną powłokę. Powłoki na bazie Mo zapewniają niski współczynnik tarcia i dobrą odporność zużycie ślizgowe, ale czysty molibden ma niską twardość. Również powłoki wytwarzane za pomocą technik natryskiwania cieplnego są porowate i mają słabą przyczepność powłoki do podłoża. Dlatego nagrzewanie za pomocą wiązki lasera przeprowadzono powyżej T<sub>top</sub>. Stali AISI 4130, ale poniżej T<sub>top</sub>. Mo. Takie postępowanie pozwoliło na to, że stal topi się i miesza, jednocześnie przy tym wypełniając pory między cząstkami molibdenu. W pracy zastosowano dwie powłoki o składzie eutektycznym: Cr-CrB<sub>2</sub> (10,5% CrB<sub>2</sub>) o grubości: 200–225 μm oraz Mo-MoB (30% MoB) o grubość: 125–150 μm. W badaniach został wykorzystany laser diodowy o mocy wiązki lasera P: 150–250 W, prędkości skanowania wiązki lasera v: 15–30 mm/s oraz średnicy wiązki lasera d: 0,1–0,25 mm. W wyniku tak przeprowadzonej laserowej obróbki cieplnej w strefie przetopionej dla powłoki Cr-CrB<sub>2</sub> mikrotwardość wynosiła 1050 HV, natomiast dla powłoki Mo-MoB 1100 HV przy strefie wpływu ciepła o wartości 400 HV i rdzeniu 250 HV.

W pracy [L. 13] autorzy porównują procesy natryskiwania plazmowego i laserowego stopowania. Stwierdzają, że laserowe stopowanie zapewnia dobrą przyczepność warstwy powierzchniowej do podłoża.

Celem badań niniejszej pracy jest ocena możliwości zwiększenia odporności na zużycie przez tarcie warstw po laserowym stopowaniu molibdenem na elementach z różnych gatunków stali (o różnej zawartości węgla).

## METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono na próbkach ze stali konstrukcyjnej średniowęglowej C45 i narzędziowej niestopowej CT90 o składzie chemicznym przedstawionym w **Tabeli 1**.

Badania mikrostruktury, mikrotwardości i odporności na zużycie przez tarcie stali C45 i CT90 przeprowadzono na próbkach w postaci tulei o wymiarach  $D = 20$  mm,  $d = 12$  mm oraz  $h = 12$  mm.

Przed procesem laserowej obróbki cieplnej (LOC) próbki były ulepszone cieplnie. Dla stali C45 przeprowadzono operacje hartowania z temperatury  $850^{\circ}\text{C}$  w wodzie, a następnie odpuszczania w temperaturze  $560^{\circ}\text{C}$  w czasie 1 h. Natomiast stal CT90 hartowano z temperatury  $780^{\circ}\text{C}$  w wodzie, a następnie odpuszczano w temperaturze  $560^{\circ}\text{C}$  w czasie 1 h.

W obu przypadkach przed obróbką laserową nałożono pokrycie z molibdenem, które składało się z proszku molibdenu, szkła wodnego i wody destylowanej, po czym przetopiono je wiązką lasera. Całkowita grubość naniesionego pokrycia wynosiła średnio 100  $\mu\text{m}$ . Pomiary grubości pokrycia dokonano z użyciem ultrametru A2002M.

**Tabela 1. Skład chemiczny stali C45 i CT90 [% wag.]**

Table 1. Chemical composition of C45 and CT90 steels [wt %]

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
C45	0,46	0,71	0,21	0,011	0,009	0,07	0,08	0,24
CT90	0,89	0,30	0,26	0,008	0,009	0,13	0,03	0,04

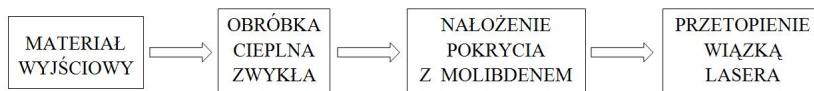
Laserową obróbkę cieplną prowadzono z wykorzystaniem lasera molekularnego  $\text{CO}_2$  firmy TRUMPF (typ TLF 2600 Turbo) o rozkładzie gęstości mocy promieniowania  $\text{TEM}_{01}$ . Podczas LOC stali zastosowano moc wiązki lasera  $P = 1,04$  kW, wraz z nią gęstość mocy wiązki lasera  $q = 33,12$  kW/cm<sup>2</sup>, prędkość skanowania wiązką lasera  $v = 2,88$  m/min dla średnicy wiązki o przekroju kołowym równym 2 mm.

Zachowano odległość między osiami ścieżek laserowych równą 0,50 mm, która zapewnia nakładanie się ścieżek w 75%, co w efekcie wpływa na ich rozłożenie na powierzchni obrabianej (ścieżki wielokrotne).

Na **Rysunku 1** przedstawiono schemat etapów wytwarzania warstwy stopowanej laserowo molibdenem na stali.

Parametry laserowej obróbki cieplnej zastosowane podczas tworzenia warstwy powierzchniowej na próbkach ze stali ustalono na podstawie badań wstępnych, które pozwoliły na wytypowanie takich parametrów, aby uzyskać warstwę ciągłą o odpowiedniej grubości w stosunku do grubości zastosowanego pokrycia, mikrotwardości, odporności na zużycie czy chropowatości powierzchni. Dobór parametrów był istotny z punktu zastosowań eksploatacyj-

nych, tak aby w krótszym czasie wytworzyć jednolitą warstwę zbliżoną grubością i właściwościami do warstw po procesach dyfuzyjnych.



**Rys. 1. Schemat laserowego stopowania molibdenem stali**

Fig. 1. Scheme of laser alloying with molybdenum steel

Po laserowym stopowaniu otrzymano warstwę powierzchniową, która składa się z: strefy przetopionej (SP), strefy wpływu ciepła (SWC) oraz podłoża, na które nie oddziaływała wiązka lasera. Badania odporności na zużycie przez tarcie przeprowadzono dla próbek stalowych na maszynie tarciowej typu Amsler MBT – 01, gdzie parą trącą był układ: próbka – obracający się pierścień / przeciwpróbka – płytką z węgla spiekane S20S o twardości 1430 HV. Badania przeprowadzono w warunkach tarcia suchego przy stałym obciążeniu  $F = 147$  N i prędkości obrotowej próbki  $v = 0,26$  m/s. Odporność na zużycie określano na podstawie ubytku masy próbki ( $\Delta m$  [mg]), odniesionej do powierzchni tarcia ( $S$  [cm<sup>2</sup>]) w jednostce czasu ( $t$  [h]), przyjmując jako wskaźnik intensywności zużycia  $I_z$ . Pomiary ubytku masy dokonano z użyciem wagi analitycznej RADWAG AS60/220/C/2 z dokładnością 0,00001 g w odstępach co 0,5 h. Obserwacje mikrostruktury stali konstrukcyjnej i narzędziowej przeprowadzono na zglądach metalograficznych trawionych 2% roztworem alkoholowym kwasu azotowego. Badania mikrostruktury przeprowadzono na mikroskopie świetlnym Metaval produkcji Carl Zeiss Jena wyposażonym w kamerę MotiCam 2300 3.0 MP Live. Badania mikrotwardości przeprowadzono z użyciem mikrotwardościomierza typu Zwick 3212B, stosując obciążenie HV 0,1. Profilogramy powierzchni próbek po laserowym stopowaniu i po badaniach odporności na zużycie przez tarcie wykonano na profilografometrze Carl Zeiss Jena współpracującym z komputerem i oprogramowaniem firmy SAJD.

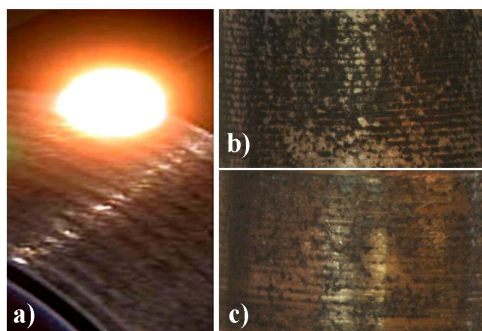
## WYNIKI BADAŃ

Na **Rysunku 2** przedstawiono powierzchnię próbki stalowej po laserowym stopowaniu molibdenem oraz po badaniach odporności na zużycie przez tarcie.

W wyniku laserowego stopowania molibdenem stali otrzymano ścieżki laserowe, które nakładają się na siebie w 75%. Powstanie ścieżek laserowych w wyniku oddziaływania wiązki lasera przedstawiono na **Rysunku 2a**. Otrzymana geometria powierzchni jest charakterystyczna dla procesów laserowej obróbki cieplnej (**Rys. 2b**). **Rysunek 2c** przedstawia powierzchnię po badaniach odporności na zużycie przez tarcie, gdzie nierówności powierzchni uległy

wyrównaniu i wygładzeniu. **Rysunek 3** przedstawia mikrostrukturę stali C45 po laserowym stopowaniu molibdenem. Otrzymana mikrostruktura składa się ze strefy przetopionej (SP), strefy wpływu ciepła (SWC) oraz podłoża. Grubość otrzymanej strefy przetopionej wynosi 184  $\mu\text{m}$  w osi wytworzonych ścieżek laserowych. Na granicy ścieżek przetopienie jest mniejsze i wynosi ok. 80  $\mu\text{m}$ .

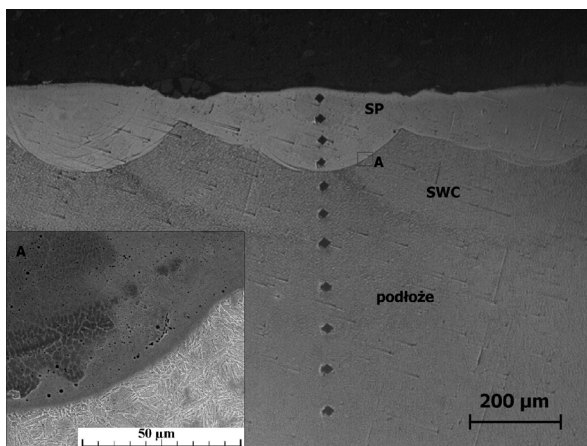
Strefa przetopiona ma mikrostrukturę martenzytu przesyconego molibdenem, pod nią znajduje się martenzytyczna strefa wpływu ciepła, a następnie sorbityczne podłoże. Całkowita grubość ścieżki laserowej w jej osi wynosi 320  $\mu\text{m}$ . Różnica w głębokości powstałych ścieżek laserowych, tzn. w osi ścieżki i na jej granicach uzależniona jest od dostarczonej w danym momencie ilości energii w trakcie oddziaływania wiązki lasera, która powoduje głębsze przetopienie w osi ścieżki ze względu na gaussowski rozkład gęstości mocy, którym ten typ lasera się charakteryzuje. Również na **Rysunku 3** zamieszczono w lewym dolnym rogu powiększony obszar oznaczony literą A. Obszar obejmuje granicę przejścia między strefą przetopioną a strefą wpływu ciepła. Oddalając się od SWC oraz płaskiego frontu krzepnięcia, widoczna jest struktura komórkowa. W niecce strefy przetopionej obserwuje się drobne porowatości rozmieszczone równomiernie w całym jej obszarze.



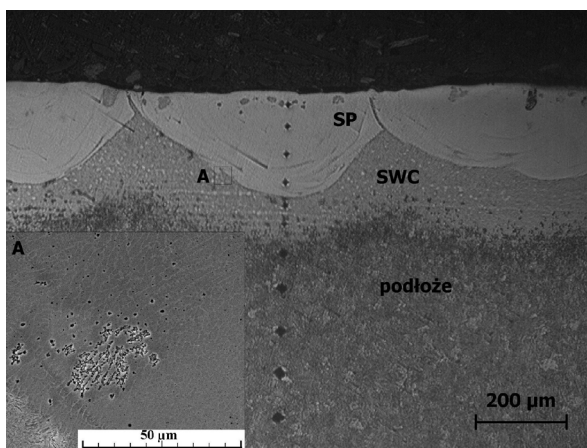
**Rys. 2. Widok powierzchni próbki stopowanej laserowo molibdenem: a) w czasie nagrzewania wiązką lasera b) bezpośrednio po stopowaniu laserowym, c) po badaniach odporności na zużycie przez tarcie**

Fig. 2. View of steel sample surface laser alloying with molybdenum: a) during the heating of laser beam, b) immediately after the laser alloying, c) after wear resistance test

Na **Rysunku 4** przedstawiono mikrostrukturę stali narzędziowej niestopowej CT90 po laserowym stopowaniu molibdenem. Mikrostruktura ścieżek laserowych składała się z takich samych obszarów, tj. strefy przetopionej, strefy wpływu ciepła oraz podłoża. Na **Rysunku 4** zaznaczono powiększony obszar granicy przejścia między strefą przetopioną a strefą wpływu ciepła oznaczony literą A.



**Rys. 3. Mikrostruktura stali C45 po laserowym stopowaniu molibdenem**  
Fig. 3. Microstructure of C45 steel after laser alloying with molybdenum

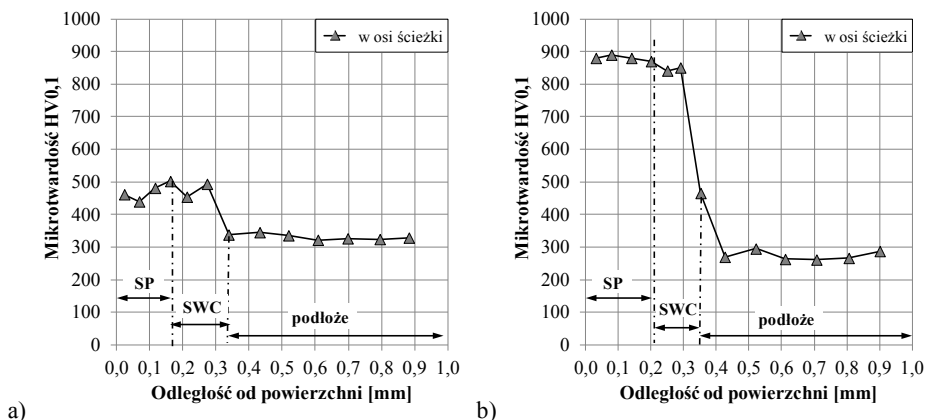


**Rys. 4. Mikrostruktura stali CT90 po laserowym stopowaniu molibdenem**  
Fig. 4. Microstructure of CT90 steel after laser alloying with molybdenum

Również w strukturze obecna jest porowatość, która prawdopodobnie związana jest z szybkością odprowadzania ciepła, gdzie cząsteczki azotu bądź tlenu nie zdołały się uwolnić z pokrycia stopującego. Głębokość strefy przetopionej wynosi ok. 230 μm, natomiast całkowita głębokość ścieżek laserowych w ich osiach wynosi ok. 330 μm. W wyniku oddziaływania wiązki lasera powstała strefa przetopiona jest wzbogacona w molibden i węgiel pochodzący z podłoża, dlatego w materiale powstają węgliki molibdenu, których obecność potwierdziły badania rentgenowskie w prowadzonych wcześniej badaniach własnych. Również otrzymane ścieżki laserowe w obszarze strefy przetopionej

są głębsze, co prawdopodobnie związane jest z większym wpływem węgla z materiału rodzimego. W strefie przetopionej można zauważyć powstałą siatkę węglików spowodowaną segregacją węgla i molibden, gdzie wewnętrzną strukturę stanowi martenzyt. Również na granicy przejścia między SP a SWC powyżej płaskiego frontu krzepnięcia można zaobserwować kierunek odprowadzania ciepła poprzez powstałe kryształy kolumnowe i dendrytyczne.

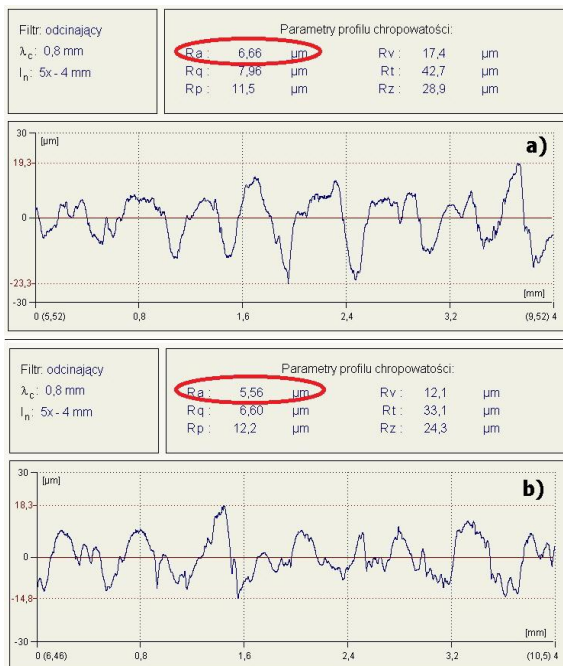
Na **Rysunku 5a** przedstawiono mikrotwardość w osi ścieżki laserowej stali C45 po laserowym stopowaniu molibdenem. Warstwa laserowo stopowana molibdenem na stali C45 w strefie przetopionej ma mikrotwardość rzędu 500 HV<sub>0,1</sub>, podobne wartości przyjmuje strefa wpływu ciepła, po czym spada do mikrotwardości 300 HV<sub>0,1</sub> w rdzeniu. **Rysunek 5b** przedstawia mikrotwardość w osi ścieżki laserowej, która w strefie przetopionej wynosi ok. 900 HV<sub>0,1</sub>, po czym spada do 850 HV<sub>0,1</sub>, a następnie do sorbitycznego rdzenia o wartości 300 HV<sub>0,1</sub>. Większa mikrotwardość dla stali narzędziowej stopowanej molibdenem wynika z jej większej procentowej zawartości węgla.



**Rys. 5. Mikrotwardość stali C45 (a) i CT90 (b) po laserowym stopowaniu molibdenem**  
 Fig. 5. Microhardness of C45 (a) and CT90 (b) steels after laser alloying with molybdenum

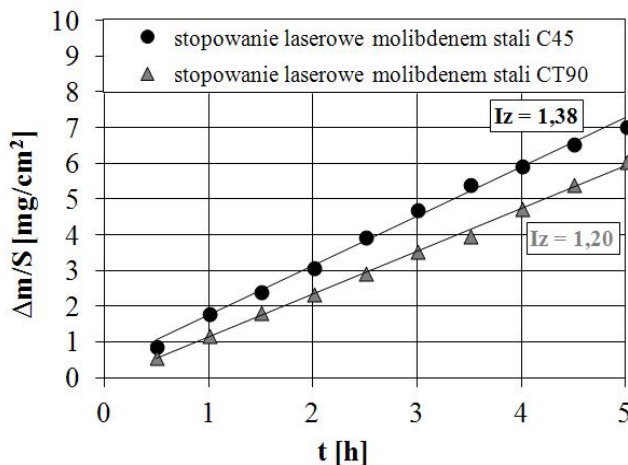
Potwierdzeniem pofalowania powierzchni widocznych podczas obserwacji makroskopowych są profilogramy badanych próbek przedstawione na **Rysunku 6**. Przebiegi profilogramów wskazują na powtarzające się zagłębienia i wzniesienia, które obrazują nakładanie się ścieżek laserowych. Średnia mierzona wartość parametru Ra w miejscu oddziaływania wiązki lasera, przyjmuje wartość 6,54  $\mu\text{m}$  dla stali C45 po stopowaniu laserowym oraz 5,41  $\mu\text{m}$  dla laserowo stopowanej stali CT90. Przykładowy profil chropowatości powierzchni po procesie laserowego stopowania molibdenem dla próbek stalowych C45 i CT90 przedstawiono na **Rysunku** odpowiednio **6a** i **6b**.





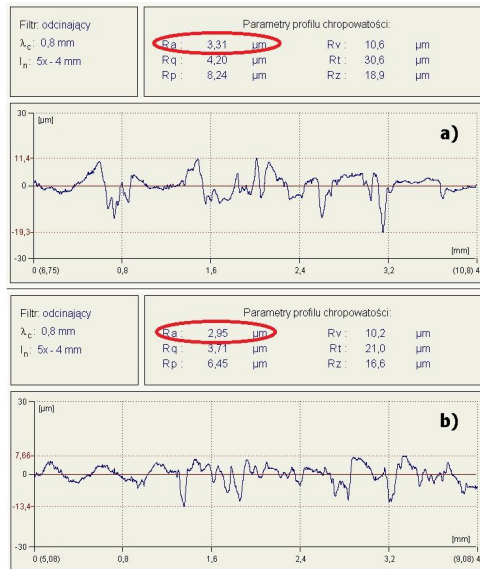
Rys. 6. Przykładowy profil chropowatości powierzchni po procesie laserowego stopowania molibdenem: a) stal C45, b) stal CT90

Fig. 6. An exemplary surface roughness profile of the laser alloying molybdenum process: a) C45 steel, b) CT90 steel



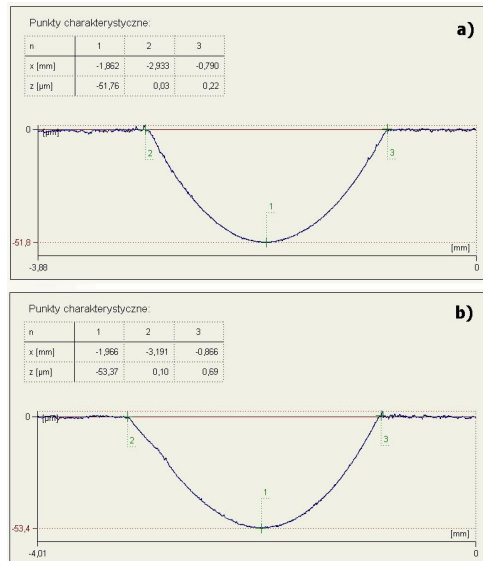
Rys. 7. Odporność na zużycie przez tarcie warstw laserowo stopowanych molibdenem na stalach C45 i CT90

Fig. 7. Wear resistance of laser alloyed with molybdenum layer on C45 and CT90 steels



**Rys. 8. Przykładowy profil chropowatości powierzchni po procesie laserowego stopowania molibdenem i badania odporności na zużycie przez tarcie: a) stal C45, b) stal CT90**

Fig. 8. An exemplary surface roughness profile of the laser alloying process of molybdenum and of resistance to frictional wear: a) C45 steel, b) a steel CT90



**Rys. 9. Głębokość śladu zużycia węgla spiekającego współpracującego z próbką laserowo stopowaną na stali: a) C45, b) CT90**

Fig. 9. Depth of track wear of sintered carbide cooperating with the sample laser-steel alloys: a) C45, b) CT90

Na **Rysunku 7** porównano wyniki odporności na zużycie przez tarcie stali C45 i CT90 laserowo stopowanych molibdenem, które wcześniej ulepszano cieplnie. Stwierdzono, że warstwy laserowo stopowane na stali CT90 charakteryzowały się mniejszym wskaźnikiem intensywności zużycia. Wskaźnik intensywności zużycia dla stali CT90 po laserowym stopowaniu molibdenem wynosił  $I_z = 1,20$  [mg/(cm<sup>2</sup>·h)], natomiast dla stali C45 po laserowym stopowaniu molibdenem wynosił  $I_z = 1,38$  [mg/(cm<sup>2</sup>·h)].

Na **Rysunku 8** przedstawiono przykładowy profil chropowatości powierzchni po badaniach odporności na zużycie przez tarcie. Średnia wartość mierzonego parametru Ra przyjmuje wartości 3,04 μm dla stopowanej powierzchni na stali C45 oraz 2,81 μm na stali CT90.

Dodatkowo wykonano pomiar głębokości śladu zużycia przeciwpróbki z węgla spiekanego po badaniach odporności na zużycie przez tarcie. Większa głębokość śladu zużycia w parze trącej był dla przeciw próbki współpracującej z próbką CT90 laserowo stopowaną molibdenem. Dokonano pomiaru przypadkowego miejsca na przeciw próbce z węgla spiekanego po badaniach odporności na zużycie przez tarcie, których wyniki przedstawiono na **Rysunku 9**.

Głębokość śladu zużycia przeciw próbki, gdzie próbkę stanowiła stal CT90 laserowo stopowana wynosiła 53,4 μm, natomiast gdy próbką była laserowo stopowana stal C45 wynosiła 51,8 μm.

## PODSUMOWANIE

- W wyniku procesu laserowego stopowania otrzymano ścieżki wielokrotne o budowie strefowej, które składały się ze strefy przetopionej wzbogaconej w molibden, martenzytycznej strefy wpływu ciepła oraz sorbitycznego rdzenia.
- Warstwy laserowo stopowane wytworzone na stali mają mikrotwardość w obszarze strefy przetopionej od 500 HV<sub>0,1</sub> do 900 HV<sub>0,1</sub>, która jest uzależniona od gatunku materiału – zawartości procentowej węgla.
- Stwierdzono, że odporność na procesy zużyciowe zwiększa się po zastosowaniu stali o większej zawartości procentowej węgla.

## LITERATURA

1. Wierchoń T., Szawłowski J.: Inżynieria powierzchni a potrzeby materiałowe przemysłu. Nowoczesne trendy w obróbce cieplnej, XIII Seminarium grupy SECO/WARWICK Polska, 22–23.09.2010, s. 5÷19.
2. Małdziński L., Tacikowski J.: Regulowane azotowanie gazowe z oszczędnym wykorzystaniem amoniaku. Inżynieria Powierzchni, 4 (2006) s. 3÷12.
3. Kula P.: Inżynieria warstwy wierzchniej. Monografie. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.
4. Burakowski T., Michalski J., Senatorski J., Tacikowski J.: Zużycie tribologiczne przy różnych naciskach powierzchniowych wybranych stali po typowych obróbkach dyfuzyjnych. Inżynieria Powierzchni, 2 (2011) s. 3÷11.

5. Kusiński J.: Technologie laserowe. Problemy Eksploatacji, 3 (2004), s. 33÷47.
6. Bartkowska A., Pertek-Owsianna A., Przystacki D.: Hartowanie i borowanie laserowe stali konstrukcyjnej C45. Inżynieria Materiałowa, 6 (2013), s. 610÷614.
7. Morimoto J., Ozaki T., Kubohori T., Morimoto S., Abe N., Tsukamoto M.: Some properties of boronized layers on steels with direct diode laser. Vacuum, 83 (2009), s. 185÷189.
8. Kusiński J.: Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej. Wydawnictwo Akapit (2000).
9. Kinal G., Bartkowska A.: Możliwości kształtowania odporności na procesy zużyciowe laserowo borowanych warstw powierzchniowych elementów stalowych oraz żeliwnych. Tribologia 3 (2014), s. 97÷107.
10. Milewski W.: Praktyczne uwagi o natryskiwaniu powłok molibdenowych. Przegląd Spawalnictwa 9 (2009), s. 11–13.
11. Ng K.W., Man H.C., Yue T.M.: Corrosion and wear properties of laser surface modified NiTi with Mo and ZrO<sub>2</sub>. Applied Surface Science 254 (2008), s. 6725÷6730.
12. Rajput D., Lansford K., Costa L., Hofmeister W.: Molybdenum-on-chromium dual coating on steel. Surface & Coatings Technology 203 (2009), s. 1281÷1287.
13. Khedkar J., Khanna A.S., Gupta K.M.: Tribological behaviour of plasma and laser coated steels. Wear 205 (1997), s. 220÷227.

## Podziękowania

*Prezentowane wyniki badań zrealizowanych w ramach zadania badawczego nr 02/24/DSMK/4432 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

*Serdecznie dziękuję Panu dr. inż. Grzegorzowi Kinalowi za wykonanie profilografów powierzchni próbek.*

## Summary

**The influence of carbon content on the molybdenum laser alloying process was presented. Microstructure, surface roughness, microhardness, and wear resistance were analysed. As a result of laser molybdenizing of C45 and CT90 steels, a microstructure comprised of three areas (a remelted zone, a heat affected zone, and a substrate) was obtained. The wear resistance tests indicated that the tool steel after laser alloying with molybdenum was characterized by a lower intensity factor than constructional steel after laser alloying with molybdenum.**