

## LASER TREATMENT WITH PREHEATING OF CAST IRON ELEMENTS

### Summary

*The article presents an exemplary application of ductile cast iron as well as reports the results of a study of surface laser treatment (hardening with melting and boronizing) conducted on ductile cast iron. The study demonstrates that defects are possible to emerge and develops a method to avoid them in the laser treated surface structure. Finally, the article discusses the results of the study which allow to harden ductile cast iron surface layer so that melting is avoided.*

## OBRÓBKA LASEROWA ELEMENTÓW ŻELIWNYCH Z WSTĘPNYM PODGRZANIEM

### Streszczenie

*W publikacji przedstawiono przykładowe zastosowania żeliwa sferoidalnego oraz pokazano wyniki badań powierzchniowej obróbki laserowej (hartowania z przetopieniem i borowania) przeprowadzonej na tego rodzaju żeliwie. Badania pokazały możliwość powstawania pęknięć oraz sposób ich uniknięcia w strukturze warstwy powierzchniowej, tworzonej w wyniku obróbki laserowej. Zeprezentowano również wyniki badań pozwalające na utwardzanie warstwy powierzchniowej żeliwa sferoidalnego bez jego przetapiania.*

### 1. Wprowadzenie

Materiałem konstrukcyjnym szeroko stosowanym w różnych gałęziach przemysłu i charakteryzującym się między innymi łatwością kształtowania skomplikowanych elementów oraz niskim kosztem wytwarzania jest żeliwo. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż umiejętność wytwarzania różnych rodzajów żeliwa potrafiących sprostać coraz wyższym wymaganiom wytrzymałościowym, w połączeniu z jego innymi zaletami, pozwoliło znacznie zbliżyć ten materiał, pod względem własności mechanicznych, do stali.

Coraz więcej uwagi we współczesnej literaturze poświęca się dużemu postępowi w rozwoju zupełnie nowego żeliwa sferoidalnego i wermikularnego. Żeliwa te poddane hartowaniu z przemianą izotermiczną nazywane są odpowiednio żeliwami ADI (skrót z ang. *Austempered Ductile Iron*) i AVCI (skrót z ang. *Austempered Vermicular Cast Iron*) [1].

Zwykle żeliwo sferoidalne, jak i żeliwo ADI ciągle znajduje coraz szersze zastosowanie w budowie maszyn rolniczych, maszyn roboczych, kolejnictwie, przemyśle zbrojeniowym czy budowie pojazdów samochodowych. Przykładowe zastosowania żeliwa sferoidalnego w tym także żeliwa ADI przedstawiają się następująco. Najczęściej spotykane zastosowania w rolnictwie to elementy mechanizmu wiążącego wiązałek, maszyn żniwnych i kosiarek, elementy urządzeń do wysiewania nawozów, lemieszki pługów, haki do holowania, piasty kół, wały kierownicze czy drążki sterownicze. Przemysł budowy maszyn wykorzystuje ten materiał konstrukcyjny między innymi do produkcji zębów koparek, kół łańcuchowych, łopatek sortowników, kruszarek do nawierzchni drogowej, ogniów gąsienic, przewodnic i wałków, kół zębatach, czy różnych obudów. Biorąc pod uwagę dość dużą wytrzymałość i plastyczność w połączeniu z dobrymi wynikami nagłego obciążania części w warunkach tarcia suchego, na bębny i tarcze hamulcowe najlepiej stosować żeliwo sferoidalne o strukturze ferrytycznej. Okazuje się także, iż biorąc pod uwagę odporność na cykliczne zmiany temperatury jest to materiał

lepszy od żeliwa szarego z grafitem płatkowym [1, 2, 10, 11].

Jeszcze mało popularne w Polsce żeliwo wemikularne znajduje zastosowanie w motoryzacji do produkcji między innymi łączników przewodów olejowych, dźwigni hamulców, kół pasowych napędu wspomagania mechanizmu kierowniczego, obudów skrzyni biegów, obudów mechanizmu różnicowego, kół zamachowych, ale także tarcz i bębnow hamulcowych [7, 11].

W wielu przypadkach elementów pracujących w konkretnych węzłach tarciovych kształtowanie ich własności w procesie odlewania nie wystarcza i dlatego z pomocą przechodzą konwencjonalne sposoby kształtowania warstw powierzchniowych (dyfuzyjne wzbogacanie różnymi pierwiastkami czy hartowanie powierzchniowe lub objętościowe). Pozwala to na uzyskanie ciągłego rdzenia w danym elemencie przy przykładowo kilkukrotnie twardszej warstwie o określonych własnościach i grubości eksploatacyjnie uzasadnionej [8].

Konwencjonalne sposoby kształtowania warstw powierzchniowych są coraz częściej wspierane lub wypierane przez nowo tworzone technologie kształtowania takich warstw. Przykładem takich prac są próby kształtowania laserowego warstw powierzchniowych na różnych materiałach w tym także na żeliwie. Obróbka laserowa jest jedną z nowocześniejszych technologii z dziedziny inżynierii powierzchni, o której mówi się, iż pozwala oszczędzać czas i zmniejszać koszt. Ważniejsze zastosowania wiązki laserowej oprócz obróbki powierzchniowej to: grawerowanie, drażnienie, cięcie, spawanie, oraz kształtowanie.

W aspekcie powierzchniowej obróbki elementów z różnych materiałów, obróbka laserowa daje możliwość obniżenia kosztów wyprodukowania elementu, także przez brak konieczności dodawania w całej objętości materiału dużej ilości drogich pierwiastków stopowych. Wykonywanie całych elementów z takich drogich stopów podnosi bardzo koszty produkcji i tym samym powoduje zmniejszenie konkurencyjności wyrobu. Skutecznym

rozwiązaniem jest laserowa modyfikacja własności warstwy powierzchniowej elementu przez zmianę mikrostruktury oraz gdy zachodzi konieczność także składu chemicznego, ale tylko pewnej warstwy [5]. Nieliczne badania nad laserową obróbką żeliw ukazują pozytywne efekty takich prac. Autorzy zwracają uwagę na kilkukrotny wzrost twardości, uzyskanie odporności na korozję czy w końcu poprawę odporności na zużycie ścierne warstwy powierzchniowej żeliwa sferoidalnego [3, 6, 9, 12]. Kształtowanie warstwy powierzchniowej na elementach żeliwnych wydaje się stosunkowo mało zbadane i powoduje jednak także wiele trudności, na co wskazują między innymi badania własne [3] i publikacje innych autorów [4, 9].

W związku z powyższym sensownym wydaje się, więc podjęcie prac dotyczących tej problematyki.

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania wiązki lasera do modyfikacji warstwy powierzchniowej żeliwa poprzez hartowanie i borowanie laserowe.

## 2. Metodyka badań

Przeprowadzone badania wykonano wykorzystując żeliwo sferoidalne o osnowie ferrytyczno-perlitycznej, którego skład chemiczny przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Skład chemiczny badanego żeliwa sferoidalnego  
Table 1. Ductile cast iron chemical composition

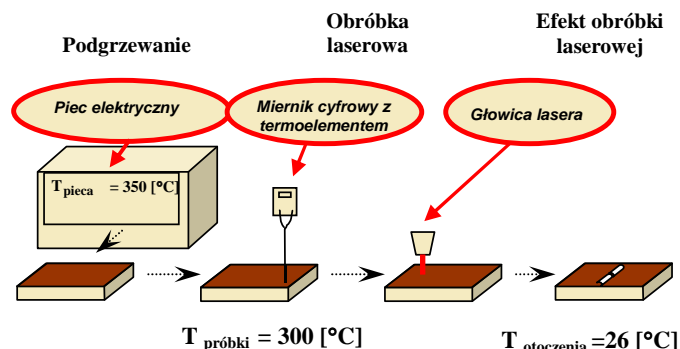
Skład chemiczny [%]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg
3,83	2,76	0,37	0,056	0,013	0,05	0,436	0,062

Żeliwo wykorzystywane w badaniach otrzymano dzięki współpracy, jaką podjęto z Odlewnią Żeliwa „ŚREM” S.A. Z otrzymanego materiału wykonano prostopadłościenne próbki, których powierzchnie przeszlifowano na szlifierce do płaszczyzn. Planując badania postanowiono obróbkę laserową przeprowadzić bez oraz z wstępnym podgrzaniem próbek (elementów) przed taką obróbką. Przeprowadzono obróbkę laserową poprzez hartowanie i stopowanie borem (borowanie). W tym celu na powierzchni próbek borowanych laserowo wytworzono pokrycie zawierające amorficzny bor (mieszanka amorficznego boru i szkła wodnego). Grubość nakładanych pokryć wyniosła około 40  $\mu\text{m}$ . Na próbki przeznaczone do hartowania bez podgrzania nałożono pokrycie absorpcyjne (mieszanka szkła wodnego i kwasu) natomiast dla próbek hartowanych z podgrzaniem wstępnym przed obróbką nie stosowano pokrycia absorpcyjnego (parametry według wariantu 3 i 4 tab. 2).

W czasie obróbki laserowej z podgrzaniem próbek temperaturę podgrzania ustalono na około 300°C. Sposób przeprowadzenia obróbki laserowej zakładający podgrzanie próbek przedstawiono na rys. 1. Prostopadłościenne próbki umieszczono w piecu elektrycznym i nagrzewano tak długo, aż w całej objętości osiągnęły temperaturę około 350°C. Następnie próbki pojedynczo wyjmowano z pieca układano na stole lasera i gdy stwierdzono na powierzchni próbki temperaturę 300°C przeprowadzano obróbkę laserową. Pomiar temperatury na powierzchni próbki, bezpośrednio przed obróbką laserową, wykonywano metodą stykową za pomocą miernika cyfrowego z termoparą. Po przeprowadzonej obróbce laserowej próbki

chłodzono w otoczeniu (temperatura otoczenia około 26°C).

Obróbkę laserową przeprowadzono wykorzystując w tym celu lasera molekularny CO<sub>2</sub> TRUMPF TLF 2600t (moc maksymalna lasera 2600 W, rozkład gęstości mocy TEM<sub>01</sub>). Zastosowane parametry obróbki laserowej z i bez podgrzania elementów żeliwnych przedstawiono w tabeli 2. Urządzenie laserowe wykorzystywane w badaniach znajduje się w Laboratorium Technik Laserowych Zakładu Obróbki Skrawaniem Politechniki Poznańskiej.



Rys.1 Sposób przeprowadzenia obróbki laserowej z wstępnym podgrzaniem (około 300°C) żeliwa sferoidalnego

Fig. 1. A method of conducting laser treatment with preheating (about 300°C) of ductile cast iron

Tab. 2. Zastosowane w badaniach parametry obróbki laserowej

Table 2. Laser treatment conditions

Nr wariantu obróbki	Moc wiązki lasera P [W]	Prędkość wiązki względem próbki v [mm/s]	Średnica wiązki lasera d [mm]	Czas nagrzewania $\tau_n$ [s]	Energia jednostkowa E <sub>j</sub> [J/mm <sup>2</sup> ]
1	300	8	4	0,5	12
2	400				16
3	600				24
4	800				32
5	1000				40
6	1200				48
7	1400				56
8	1600				64
9	1800				72
10	2000				80

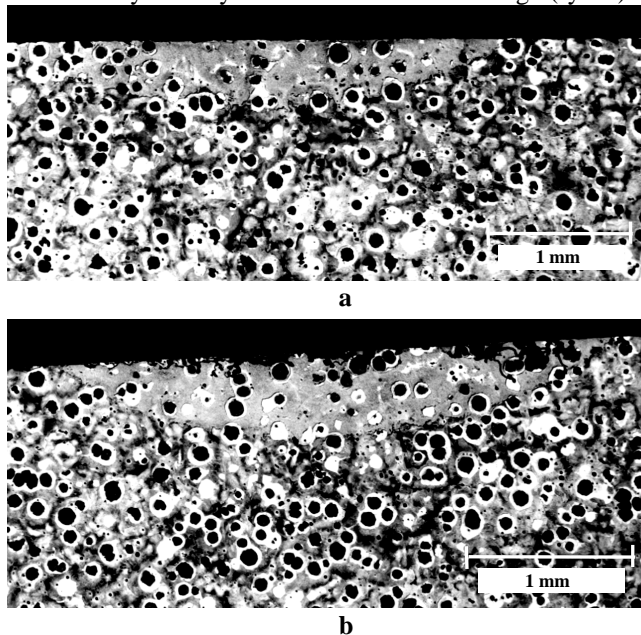
Obserwacje mikroskopowe struktury oraz pomiary mikrotwardości wykonano wykorzystując urządzenia Laboratorium Warstwy Wierzchniej Instytutu Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej. Badania przeprowadzono na mikroskopie metalograficznym typu Epiquant i twardościomierzu Zwick 3212.

## 3. Laserowa obróbka powierzchniowa żeliwa sferoidalnego

Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe poprzecznych złądów metalograficznych pozwoliły ujawnić budowę strefową tworzonej laserowo warstwy

powierzchniowej. Zastosowane parametry obróbki laserowej umożliwiły uzyskanie przetopienia lub jego brak.

Na podstawie obserwacji mikrostruktury dla zastosowanych parametrów obróbki laserowej stwierdzono powstanie obszaru przetopionego (strefa przetopiona), oraz zahartowanego (strefa zahartowana). Warstwa tworzona laserowo, jak wykazały obserwacje, może składać się z obszaru przetopionego połączonego z obszarem zahartowanym lub tylko z obszaru zahartowanego (rys. 2).



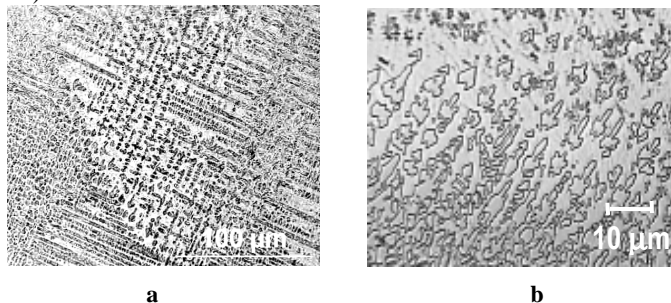
Rys 2. Obszar zahartowany ze stanu stałego powstały w strukturze żeliwa sferoidalnego poddanego obróbce laserowej bez podgrzania (a) oraz z podgrzaniem elementu żeliwnego (b) (moc wiązki  $P = 300$  W, prędkość wiązki względem próbki  $v = 8$  mm/s i średnica wiązki lasera  $d = 4$  mm)

*Fig. 2. The hardened zone of ductile cast iron formed after laser treatment without preheating (a) and with preheating (b) (Laser treatment conditions: beam power  $P = 300$  W, beam speed in relation to the sample  $v = 8$  mm/s and laser beam diameter  $d = 4$  mm)*

Strefa zahartowana to strefa, w której materiał uległ zahartowaniu ze stanu stałego. W strukturze takiej strefy występuje kulkowy grafit, obszary ferrytu oraz twardy martenzyt. Wykonane rozkłady mikrotwardości od powierzchni w głąb takiej strefy dla wariantu 1 obróbki laserowej wskazały na brak różnicy średniej mikrotwardości tej strefy w stosunku do materiału rdzenia. Różnica w mikrotwardości wspomnianej strefy w stosunku do materiału rdzenia daje się zauważyć jednak dla wariantu 2. Powstały martenzyt pozwolił na osiągnięcie w strefie zahartowanej ze stanu stałego średniej mikrotwardości  $444 \pm 139$  HV<sub>sr</sub> 0,1 (wariant nr 1) i  $486 \pm 74$  HV<sub>sr</sub> 0,1 (wariant 2). Wyższa mikrotwardość dla wariantu drugiego z zastosowanych parametrów wynika z większego udziału martenzytu w strukturze lub nawet może częściowej dyfuzji boru (na powierzchni próbki znajdowało się pokrycie zawierające bor). Należy podkreślić, iż zarówno dla obróbki laserowej prowadzonej, „z” jak i „bez” podgrzania nie zaobserwowano w powstałej strefie zahartowanej jakichkolwiek wad na przykład w postaci pęknięć (rys. 2).

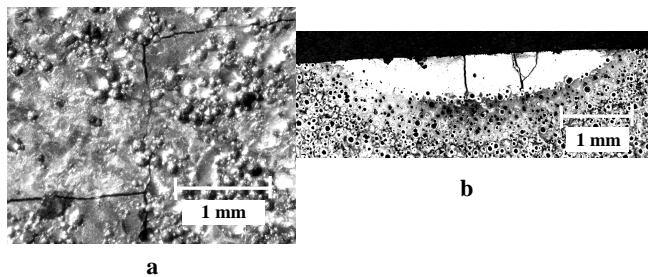
Strefa przetopiona powstająca po obróbce laserowej to obszar materiału, który został w wyniku oddziaływania

wiązki lasera doprowadzony do stanu topnienia i następnie uległ bardzo szybkiemu krzepnięciu. W takiej strefie powstałej przez tak zwane hartowanie laserowe z przetopieniem zaobserwowano strukturę dendrytyczną, a w strefie przetopionej powstałej w wyniku borowania laserowego powstanie dendrytów i prawdopodobnie bardziej miękkich borków Fe<sub>2</sub>B. Powyższe struktury obserwowano dla obu sposobów realizacji obróbki laserowej (z i bez podgrzania elementu przed obróbką) (rys. 3).



Rys. 3. Struktura strefy przetopionej z widocznymi (a) dendrytami oraz (b) borkami

*Fig. 3. Microstructure of melted zone with dendrites (a) and borides (b)*

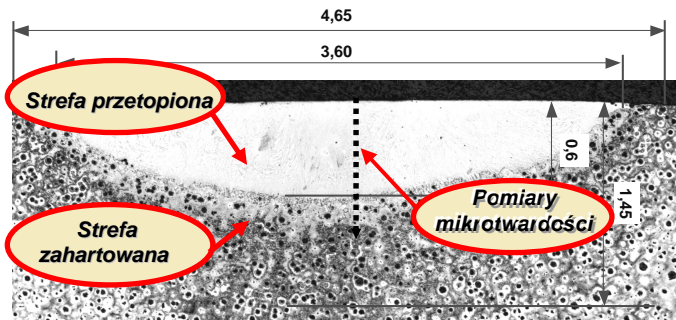


Rys. 4. Wady w postaci pęknięć widoczne na powierzchni (a) i pod powierzchnią (b) próbki z żeliwa EN-GJS-600 poddanego borowaniu laserowemu bez wstępnego podgrzania (parametry obróbki wg wariantu nr 6 tab. 2)

*Fig. 4 The structural defects on the surface (a) and under the surface (b) of the EN-GJS-600 cast iron after laser treatment without preheating (treatment conditions: var.6 tab. 2)*

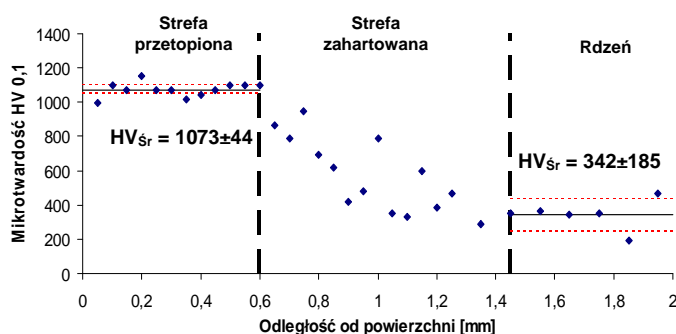
Obserwacje mikroskopowe tworzonych laserowo warstw, w których dochodziło do przetopienia wykazały jednak powstawanie, także wad w tworzonej strefie przetopionej w postaci licznych pęknięć widocznych na powierzchni oraz pod nią. Pęknięcia widoczne na powierzchni układały się wzdłuż i w poprzek śladu powstałego po obróbce laserowej (rys. 4a). Można było obserwować wyraźne łączenie się pęknięć poprzecznych z podłużnymi. Obserwacje poprzecznych zglądów metalograficznych wykazały, że pęknięcia miały swój początek na granicy strefy przetopionej z zahartowaną (rys. 4b). Tego typu wady powstawały wyłącznie przy obróbce prowadzonej bez wstępnego podgrzania elementu żeliwnego tak przy hartowaniu jak i przy borowaniu laserowym. Wad w postaci pęknięć nie obserwowano dla wszystkich zastosowanych parametrów (warianty 3-10) i rodzajów zabiegów obróbki laserowej prowadzonej przy wstępnym podgrzaniu elementów przed obróbką do temperatury około 300°C (rys. 5). Jako prawdopodobną przyczyną nie wystąpienia pęknięć po obróbce laserowej z podgrzaniem elementu przed obróbką uznano zmniejszenie naprężeń

termicznych wynikających z dużej różnicy temperatur źródła ciepła (wiązki lasera) i materiału obrabianego wrażliwego na tego rodzaju naprężenia. Należy zwrócić uwagę, że podgrzanie materiału powoduje zmniejszenie szybkości nagrzewania i chłodzenia przetopionej warstwy, a tym samym zmniejszenie naprężeń wywołanych obróbką laserową powodujących pęknięcia. Ponieważ obserwacje mikroskopowe wykazały brak nieciągłości w postaci pęknięć w przypadku obróbki laserowej prowadzonej z podgrzaniem, postanowiono przeprowadzić pomiary geometryczne i mikrotwardości obszarów powstałych w ten sposób. Pomiary mikrotwardości prowadzono od powierzchni w głąb obszarów powstałych podczas hartowania z przetopieniem i borowania (rys. 5).



Rys. 5. Strefowa budowa tworzonej laserowo warstwy oraz sposób wykonania pomiarów geometrii stref i pomiarów mikrotwardości

Fig. 5. The zone structure of laser treated layer and method of taking geometrical zone measurements as well as taking microhardness measurements



Rys. 6. Rozkład mikrotwardości w głąb warstwy powierzchniowej wytworzonej w wyniku borowania laserowego żeliwa EN-GJS-600 (parametry obróbki wg wariantu nr 10 tab. 2). Granice przedziałów ufności dla wartości średniej podano na poziomie istotności 0,1

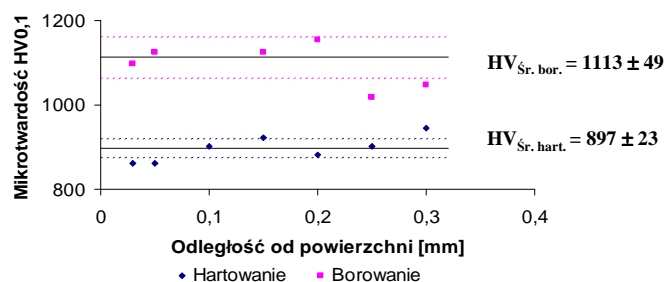
Fig. 6. Microhardness distribution on the section of zones formed after EN-GJS-600 cast iron laser boronizing (laser treatment conditions: var. 10, tab.2). Confidence intervals borders for average value on significance level 0,1

Przeprowadzone pomiary wykazały wyraźnie wyższą i stałą mikrotwardość strefy przetopionej powstającej w wyniku hartowania i borowania w stosunku do materiału rdzenia. Przykładowy rozkład mikrotwardości przedstawiono na rys. 6.

Hartownie z przetopieniem warstwy powierzchniowej pozwoliło na uzyskanie mikrotwardości wynoszącej ponad 800 HV<sub>0,1</sub>. W przypadku borowania średnia mikrotwardość strefy przetopionej zmieniała się w granicach od ponad 900 HV<sub>0,1</sub> do 1165 HV<sub>0,1</sub> – dla

parametrów wg wariantu 8. Uzyskane głębokości strefy przetopionej podczas borowania zmieniały się w granicach od 0,25 mm do 0,6 mm rosnąc wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera od 600 W do 2000 W. Ponadto po zestawieniu pomiarów mikrotwardości stref przetopionych uzyskanych poprzez hartowanie i borowanie dla tych samych parametrów obróbki stwierdzono wyższą mikrotwardość takiej strefy uzyskanej przez wprowadzenie pierwiastka stopującego (boru) (rys. 7).

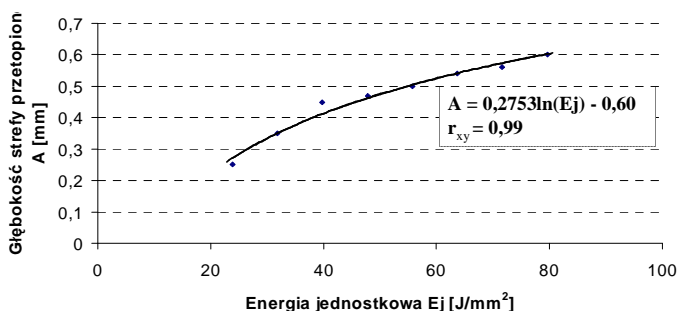
Dysponując wynikami pomiarów wymiarów stref przetopionych powstałych przez borowanie laserowe postanowiono sprawdzić, jaki wpływ na wartości tych wymiarów mają przyjęte parametry obróbki laserowej. Zaobserwowano wzrost wymiarów poszczególnych stref (maksymalnej szerokości i głębokości) wraz ze wzrostem mocy wiązki lasera, zarówno dla strefy przetopionej jak i znajdującej się pod nią strefy zahartowanej.



Rys. 7. Rozkłady mikrotwardości w głąb stref przetopionych żeliwa EN-GJS-600 przy tych samych parametrach obróbki laserowej (parametry obróbki wg wariantu nr 3 tab. 2). Granice przedziałów ufności dla wartości średniej podano na poziomie istotności 0,1

Fig. 7. Microhardness distribution on the section of melted zone formed after EN-GJS-600 cast iron laser hardening and boronizing (the same laser treatment conditions). Confidence intervals borders for average value on significance level 0,1

Przykładowy wykres (rys. 8) pokazuje wyraźny wzrost wielkości strefy przetopionej przy wzroście energii dostarczonej do jednostki powierzchni, która zależy od mocy wiązki lasera.



Rys. 8. Wpływ energii jednostkowej na maksymalną głębokość strefy przetopionej próbki borowanej laserowo

Fig. 8. The influence of unit energy on maximum depth of the melted zone of laser boronized sample

Potwierdzeniem zależności wymiarów strefy przetopionej od energii jednostkowej jest wartość współczynnika korelacji, który wyniósł przy badaniu głębokości stref przetopionych  $r_{xy} = 0,99$ . Wartość współczynnika wskazuje na ścisłą korelację między

badanymi wielkościami, dlatego można sądzić, iż zależność analizowanych wielkości jest wysoce prawdopodobna. Uzyskana krzywa może posłużyć (dla określonego materiału i warunków obróbki laserowej) do określenia w przybliżeniu (jeszcze przed obróbką) efektów borowania laserowego w postaci maksymalnych głębokości i szerokości strefy przetopionej, jaką chcemy uzyskać.

#### 4. Podsumowanie

W efekcie przeprowadzonych badań laserowej obróbki powierzchniowej elementów żeliwnych wykazano, że:

- obróbka laserowa elementów żeliwnych może wprowadzać wady w tworzonych warstwach powierzchniowych,
- żeliwo sferoidalne EN-GJS-600, po uprzednim podgrzaniu (około 300°C), można laserowo borować i hartować z przetopieniem, kształtując warstwy pozbawione wad,
- laserowe borowanie i hartowanie z przetopieniem wywołuje zmiany w strukturze materiału powodując powstanie strefy przetopionej (dla borowania zawierającej bor) oraz strefy zahartowanej,
- strefa po borowaniu laserowym charakteryzuje się wyraźnie wyższą mikrotwardością, w stosunku do strefy po hartowaniu laserowym z przetopieniem warstwy powierzchniowej, przy tych samych parametrach obróbki laserowej,
- warstwy powierzchniowe, po hartowaniu z przetopieniem i borowaniu, charakteryzują się stałą mikrotwardością strefy przetopionej,
- grubość strefy naborowanej laserowo zależy między innymi od ilości energii doprowadzonej do jednostki powierzchni.

#### 5. Literatura

- [1] Binczyk F.: Konstrukcyjne stopy odlewnicze. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [2] Jeznacki J.: Materiałoznawstwo samochodowe. WKiŁ, Warszawa 1982, s. 49-53.

- [3] Kinal G.: Możliwość wykorzystania borowania laserowego żeliw w budowie maszyn rolniczych, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 49 (3), Poznań 2004, s. 38-42.
- [4] Klimpel A., Kobic J., Janicki D., Burdek M., Marczak Z.: Przetopienie laserowe warstwy wierzchniej walców z żeliwa sferoidalnego stopowego, *Inżynieria materiałowa*, nr 2-2003.
- [5] Kusiński J.: Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej. Wydawnictwo Naukowe "Akapit", Kraków 2000.
- [6] Kusiński J., Przybyłowicz K.: Strukturalne aspekty laserowego przetapiania stopów żelaza. I Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt: Nowoczesne technologie w inżynierii powierzchni. Łódź 1994.
- [7] Manierski G.: Właściwości technologiczne i eksploatacyjne warstwy wierzchniej odlewów z żeliwa wermikularnego. Mat. komf. V International Scientific-Technical Conference for PhD Students, Giewartow 2004 (Poland), s.144-149.
- [8] Nakonieczny A.: Powierzchniowe obróbki cieplne wyrobów metalowych. Stan techniki i rynek. Referat wprowadzający na seminarium w ramach targów inżynierii powierzchni, Gdańsk 1998.
- [9] Napadłek W., Przetakiewicz W., Raczkowski D., Bojar Z.: Utwardzanie laserowe żeliwa szarego niskostopowego. I Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt: Nowoczesne technologie w inżynierii powierzchni. Łódź 1994.
- [10] Reński A.: Budowa samochodów. Układy hamulcowe i kierownicze oraz zawieszania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [11] Wojciechowski A., Sobczak J.: Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych. Wydawnictwo Instytutu Transportu Samochodowego, Warszawa 2001.
- [12] Xiao R., Li Z.: Formation of diamond-clusters within a surface layer of carbon steel/cast iron induced by excimer laser irradiation, *Applied Surface Science* 127-129 (1998), 826-830.