

**Marek SZKODO**  
Politechnika Gdańska

## **CHARAKTERYSTYKA KAWITACYJNA LASEROWO OBRABIANYCH NAPOIN Fe-Cr-Mn**

### **Słowa kluczowe**

Erozja kawitacyjna, napoiny FE-CR-MN, obróbka laserowa.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono badania odporności kawitacyjnej napoin chromo-manganowych w dwóch przypadkach: bez dodatkowej obróbki powierzchniowej oraz po przetapianiu powierzchni napoiny wiązką lasera CO<sub>2</sub> o mocy 1000 W. Stwierdzono, że obróbka laserowa zmniejszyła zdolność do umacniania warstwy wierzchniej pod wpływem obciążeń kawitacyjnych w porównaniu z nieobrobionym laserowo materiałem. Przeprowadzone badania wskazują również na to, że laserowe przetapianie zmniejsza głębokość umocnionej warstwy pod wpływem działania obciążeń kawitacyjnych.

### **Wprowadzenie**

Lasero-we nagrzewanie warstwy wierzchniej i następne szybkie jej chłodzenie masą nagrzewanego elementu prowadzi do rozdrobnienia struktury i powstania pola naprężeń własnych w obrabianym materiale. Skład chemiczny materiału, a także sposób laserowego nagrzewania wpływają na typ i rodzaj otrzymywanych faz, ilość i rozkład wydzieleni, wielkość ziarna, gęstość dyslokacji, energie ziaren oraz wielkość pola naprężeń własnych. To wszystko wpływa na odporność kawitacyjną warstwy wierzchniej obrabianego materiału [2–7].

Innym skutkiem laserowej obróbki jest w wielu przypadkach tworzenie metastabilnej mikrostruktury zdolnej do przemian fazowych pod wpływem obciążeń kawitacyjnych [4]. Takie struktury zwiększają odporność kawitacyjną materiału, bowiem część energii obłoku kawitacyjnego zamieniana jest na przemiany fazowe.

Obciążenia kawitacyjne powodują w wielu przypadkach umacnianie warstwy wierzchniej niszczonego materiału, co prowadzi do obniżenia jej odporności na kruche pękanie i, co za tym idzie, zmniejszenie odporności kawitacyjnej. Zatem kinetyka umacniania się warstwy wierzchniej w dużym stopniu wpływa na odporność kawitacyjną materiału.

Celem pracy jest określenie wpływu laserowego przetapiania warstwy wierzchniej napoiny Fe-Cr-Mn na jej zachowanie pod wpływem działania obciążeń kawitacyjnych.

## 1. Materiał i metodyka badań

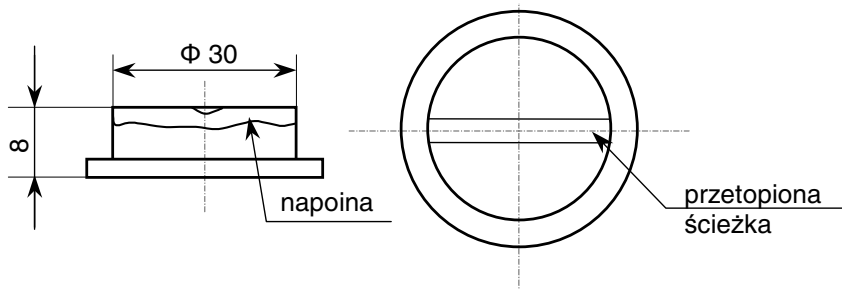
W celu przygotowania próbki do badań na przekroju poprzecznym napawano pręt o średnicy 35 mm ze stali X5CrNi18-10 o składzie chemicznym jak w PN-EN 10088-1, 1998 [1] ręcznie elektrodą otuloną. Skład chemiczny elektrody przedstawia Tab. 1. Elektrody Fe-Cr-Mn zostały zaprojektowane do wykonywania napraw elementów, uszkodzonych na skutek działania kawitacji. Odnznaczają się one wysoką odpornością kawitacyjną. Grubość warstwy napawanej nie była stała i zmieniała się w granicach 2÷3 mm. Następnie z pręta wytoczono próbkę w kształcie walca o średnicy 30 mm i wysokości 8 mm (rys. 1). W celu określenia wpływu obróbki laserowej napawanej warstwy, napoinę przetapiano wiązką lasera CO<sub>2</sub> o mocy 1 kW z prędkością 6 mm/s, a wiązka lasera posiadała średnicę 1,6 mm, co dawało liniową energię przetapiania równą 83 Ws/mm<sup>3</sup>.

Następnie próbkę poddano działaniu obciążeń kawitacyjnych na stanowisku z wirującą tarczą. Kawitacja była generowana przez wzbudniki (bolce) umieszczone na tarczy. Próbkę umieszczono w tarczy za bolcami na średnicy 300 mm (rys. 2). Prędkość obrotowa tarczy wynosiła 3000 obr./min, co dawało liniową prędkość próbki równą 42,5 m/s. Tarcza była umieszczona w komorze z wodą o temperaturze 20°C i ciśnieniu 155 kPa. Czas trwania testu kawitacyjnego wynosił 70 min i był dobrany w taki sposób, aby nie przekroczyć okresu inkubacji, tj. okresu początkowego niszczenia, w którym ubytek materiału jest praktycznie niemierzalny lub pomijalnie mały w porównaniu z przyszłą jego ewolucją.

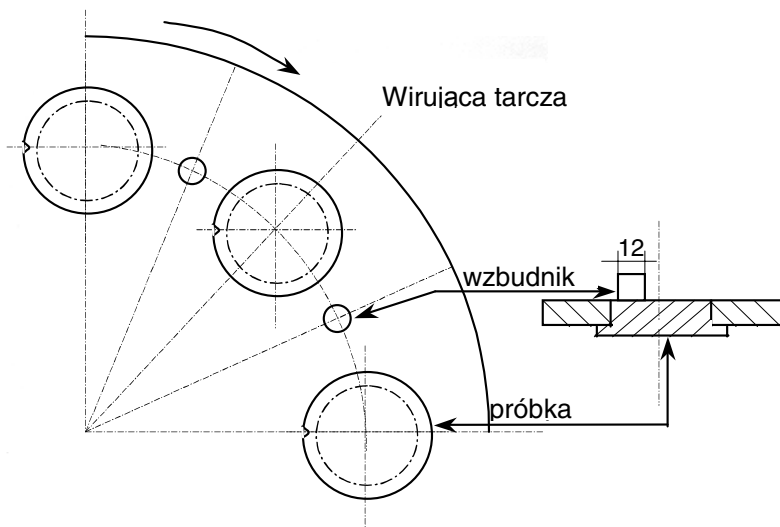
Tabela 1. Skład chemiczny elektrody użytej do wykonania napoiny

% masowy						
elektroda	C	Mn	Si	P	S	Cr
Fe-Cr-Mn	0,35	8,31	0,26	0,069	0,012	10,93





Rys. 1. Schemat próbki do badań kawitacyjnych

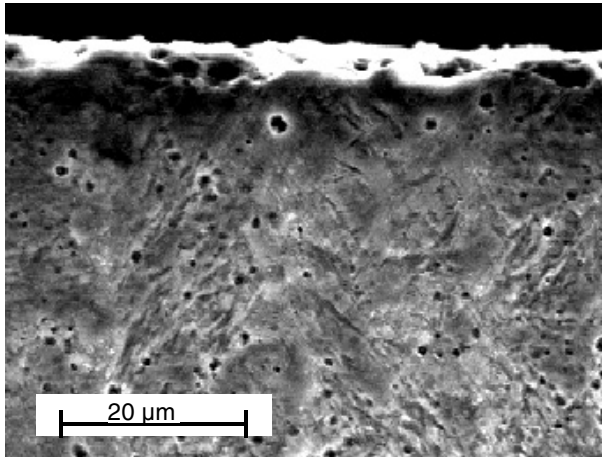


Rys. 2. Schemat wirującej tarczy z próbką

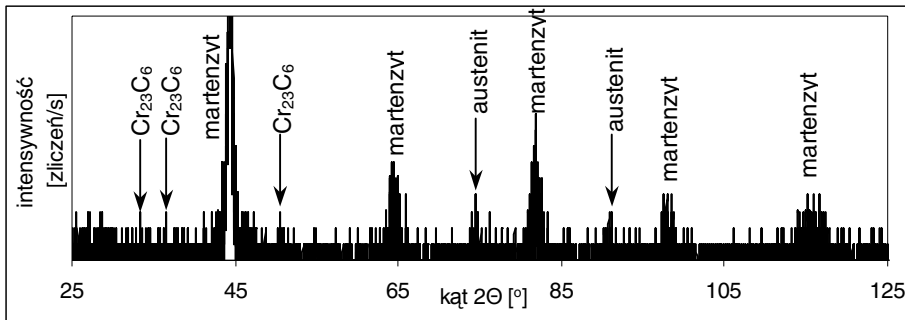
Po wykonaniu testu kawitacyjnego próbkę przecięto prostopadłe do kierunku laserowo przetopionej ścieżki w miejscu o największej intensywności oddziaływania obciążeń kawitacyjnych i wykonano zgląd metalograficzny. Na przekroju poprzecznym określono mikrostrukturę strefy przetopionej wiązką lasera i obszarów do niej przyległych przy pomocy mikroskopu skaningowego Philips 30/ESEM oraz identyfikowano istniejące fazy metodą dyfrakcji promieni X. Po tych badaniach wykonano profile twardości wzdłuż normalnej do kawitowanej powierzchni przechodzącej przez obszar przetopiony wiązką lasera  $\text{CO}_2$  i obszar do niego przylegający nie poddany obróbce laserowej. Twardości mierzone metodą Vickersa przy obciążeniu 200 N.

## 2. Wyniki badań i dyskusja

Mikrostruktura napoiny Fe-Cr-Mn składała się z martenzytu, austenitu oraz węglików  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  (rys. 3 i 4). Badania mikroskopowe ujawniły również w badanej mikrostrukturze występowanie porów, które jednak nie miały wpływu na generowanie pęknięć pod wpływem działania obciążeń kawitacyjnych.

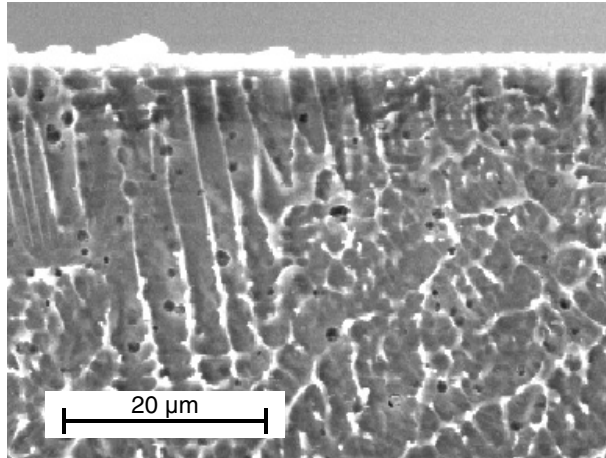


Rys. 3. Mikrostruktura napoiny Fe-Cr-Mn po 70 min działania obciążeń kawitacyjnych na stanowisku z wirującą tarczą

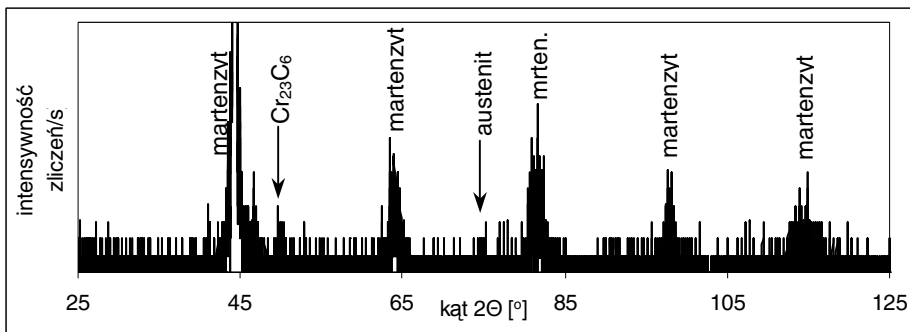


Rys. 4. Wynik analizy XRD dla napoiny nie obrabianej wiązką lasera  $\text{CO}_2$

W wyniku laserowego przetapiania napoiny zmniejszyła się w strukturze ilość węglików  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  oraz zmniejszył się udział austenitu (rys. 5 i 6). Laserowe przetapianie napoiny tylko nieznacznie zmniejszało liczbę porów w mikrostrukturze, które również nie przyczyniały się do inicjowania pęknięć podczas oddziaływania kawitacji.

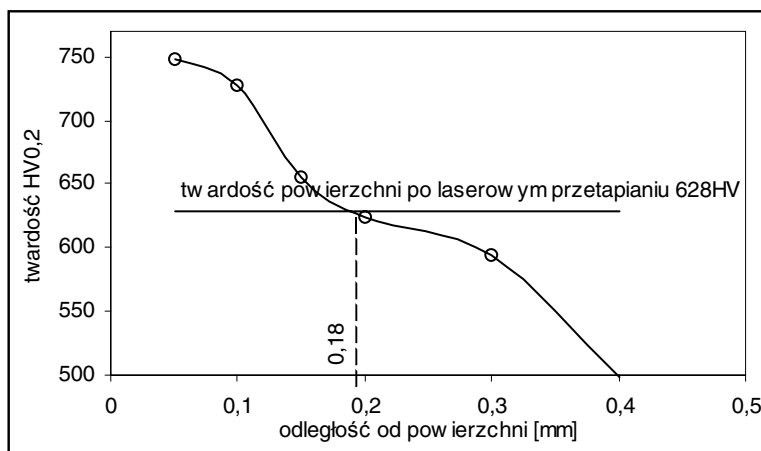


Rys. 5. Mikrostruktura napoiny Fe-Cr-Mn po laserowym przetapieniu i po 70 min działania obciążen kawitacyjnych na stanowisku z wirującą tarczą

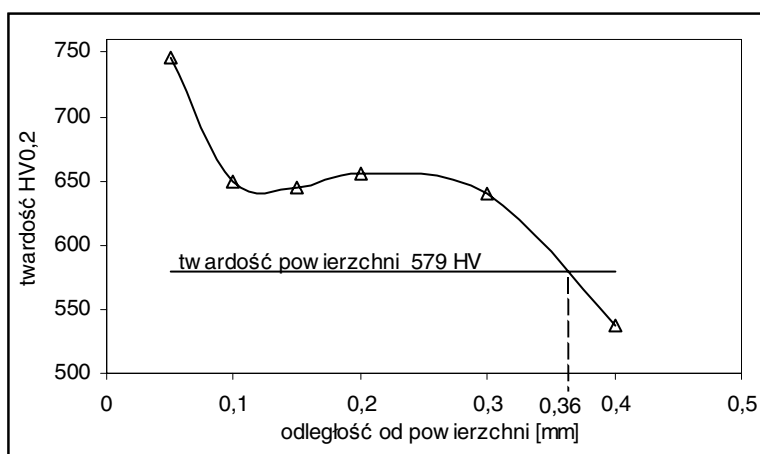


Rys. 6. Wynik analizy XRD dla napoiny po przetapieniu laserem CO<sub>2</sub>

Jak wykazały badania mikrotwardości laserowe przetapienie napoiny Fe-Cr-Mn powodowało zmniejszenie podatności warstwy wierzchniej do umacniania odkształceniowego oraz wpływało na zmniejszenie głębokości, do jakiej się ona umacniała (rys. 7, 8 i 9). Taki wpływ laserowego przetapienia jest korzystny, bowiem umacnianie odkształceniowe powoduje wzrost kruchości warstwy wierzchniej, co ułatwia odłupywanie cząstek erodowanego materiału, natomiast zmniejszenie głębokości umocnionej warstwy wierzchniej będzie wpływało na zmniejszenie długości pęknięć oraz rozmiarów odrywanych cząstek i co za tym idzie zmniejszenie prędkości erozji w następnych etapach niszczenia. Zatem kinetyka umacniania warstwy wierzchniej w dużym stopniu wpływa na odporność kawitacyjną materiału. Dla badanych obszarów stopień umocnienia warstwy wierzchniej wyniósł odpowiednio 29,5% dla nieobrobionej



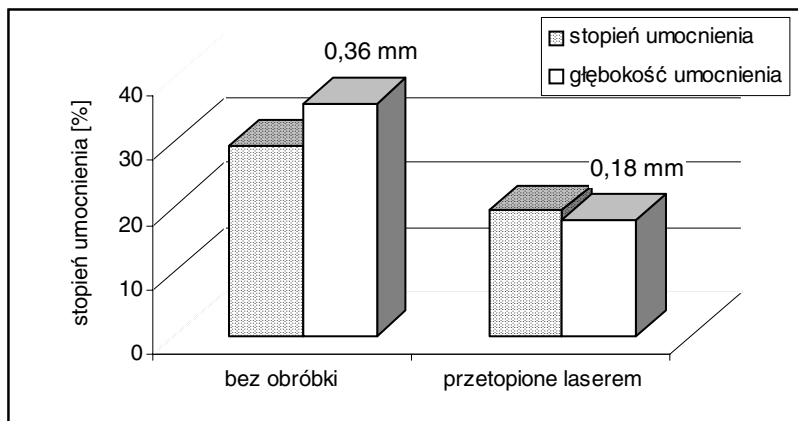
Rys. 7. Profil mikrotwardości laserowo przetopionej warstwy wierzchniej po 70 min działania obciążeń kawitacyjnych



Rys. 8. Profil mikrotwardości warstwy wierzchniej napoiły Fe-Cr-Mn po 70 min działania obciążeń kawitacyjnych

laserowo napoiły oraz 19,4% dla strefy przetopionej wiązką lasera. Jeśli przyjąć, że umocnienie obszarów bez obróbki laserowej jest wielkością wyjściową do określenia zmiany podatności do umacniania pod wpływem laserowego przetopienia, to okaże się, że w wyniku laserowej obróbki zdolność do umacniania odkształceniowego spadła o 35%. Przeprowadzone badania wykazały, że jeszcze bardziej wyraźne zmiany w wyniku laserowego przetopienia nastąpiły w głębokości, do której umacniała się warstwa wierzchnia pod wpływem obciążeń kawitacyjnych. Głębokość umocnienia odkształceniowego wyniosła odpo-

wiednio 0,36 mm w przypadku obszarów niemodyfikowanych wiązką lasera i 0,18 mm po laserowym przetapianiu warstwy wierzchniej, co dało 50% obniżenie głębokości umocnienia.



Rys. 9. Stopień umocnienia oraz głębokość umocnionej warstwy wierzchniej dla obszarów przetopionych laserem i bez dodatkowej obróbki

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania odporności kawitacyjnej napoiny Fe-Cr-Mn wskazują, że laserowe przetapianie jej wiązką lasera CO<sub>2</sub> o mocy 1000 W z liniową energią równą 83 Ws/mm<sup>3</sup> prowadzi do zmniejszenia jej podatności do umacniania odkształceniowego o 35% oraz do 50% zmniejszenia głębokości umacniania. Obróbka laserowa zmniejszyła również nieznacznie ilość porów w strukturze powstałych w wyniku napawania ręcznie elektrodą otuloną. Taka technologia naprawy uszkodzonych elementów na skutek oddziaływania obciążeń kawitacyjnych stosowana jest w polskich elektrowniach. Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że laserowe przetapianie korzystnie wpływa na odporność kawitacyjną napoiny typu Fe-Cr-Mn.

## Bibliografia

1. PN EN 10088-1, 1998: stale odporne na korozję. Gatunki.
2. Preece C. M., Draper C. W.: The effect of laser quenching the surfaces of steels on their cavitation erosion resistance. *Wear* 1981 Vol. 67, 321–328.
3. Song W., Zhu P., Cui K.: Effect of Ni content on cracking susceptibility and microstructure of laser clad Fe-Cr-Ni-B-Si alloy. *Surface and Coating Technology* 1996 Vol. 80, 279–282.

4. Szkodo M.: Influence of laser beam machining on the cavitation resistance of Fe-Cr-Co clad. *Inżynieria Materiałowa* 2004, nr 140 (3), 555–559.
5. Rao D. R., Ventakaraman B., Asundi M.K., Sundararajan G.: The effect of laser surface melting on the erosion behaviour of a low alloy steel. *Surface and Coatings Technology* 1993 Vol. 58, 85.
6. Tomlinson W. J., Megaw J. H., Bransden A. S., Girardi M.: The effect of laser surface melting on the cavitation wear of grey cast iron. *Wear* 1987 Vol. 116, 249–256.
7. Wu X.: Rapidly solidified nonequilibrium microstructure and phase transformation of laser synthesized iron-based alloy coating. *Surface & Coatings Technology* 1999 Vol. 115, 153–152.

Recenzent:  
**Jan PILARCZYK**

### **Cavitation characteristic of laser processed Fe-Cr-Mn clad**

#### **Summary**

In the work is presented the cavitation erosion test of Fe-Cr-Mn clad in two cases: without laser processing and after melting using 1000 W CO<sub>2</sub> laser beam. It was found that laser processing decrease susceptibility to work hardening of the eroded material under cavitation loading and also decrease depth of strengthened surface layer.

