

LASER BORONIZING EFFECT ON SURFACE LAYER OF NODULAR IRON PARTS Part 2. Transition and hardened zone structure

Summary

In this paper modified zones as a result of nodular iron laser treatment was presented. Transition and hardened zones were investigated particularly. Slight microhardness scatter in melted zone and significant in transition and hardened zones were showed. Differences in microhardness in transition and hardened zones testify to variety of phases in those zones. Mechanisms of martensite and ledeburite graphite shell in transition zone and martensite graphite shell in hardened zone formation were presented. Furthermore correlation between martensite graphite shell thickness and distance from transition zone was observed.

WPLYW BOROWANIA LASEROWEGO NA STRUKTURĘ WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ ELEMENTÓW Z ŻELIWA SFEROIDALNEGO Część 2. Struktura strefy przejściowej i zahartowanej

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę stref zmodyfikowanych, powstałych w wyniku obróbki laserowej żeliwa sferoidalnego, ze szczególnym uwzględnieniem przejściowej oraz zahartowanej. Wykazano niewielki rozrzut mikrotwardości w strefie przetopionej oraz znaczny w strefie przejściowej i zahartowanej. Różnice w mikrotwardości w strefie przejściowej i zahartowanej świadczą o różnorodności występujących tam faz. Zaprezentowano także mechanizm tworzenia się otoczek grafitu: martenzytycznej i ledeburycyicznej w strefie przejściowej oraz martenzytycznej w strefie zahartowanej. Ponadto wykazano istnienie zależności grubości otoczki martenzytycznej grafitu od odległości od strefy przejściowej i zastosowanej mocy wiązki laserowej.

1. Wstęp

Celem niniejszej pracy jest analiza struktury stref zmodyfikowanych – szczególnie przejściowej i zahartowanej pod wpływem obróbki laserowej żeliwa sferoidalnego. Ponadto celem artykułu jest zaprezentowanie mechanizmów tworzenia się otoczek grafitu, charakterystycznych dla obróbki laserowej żeliwa sferoidalnego.

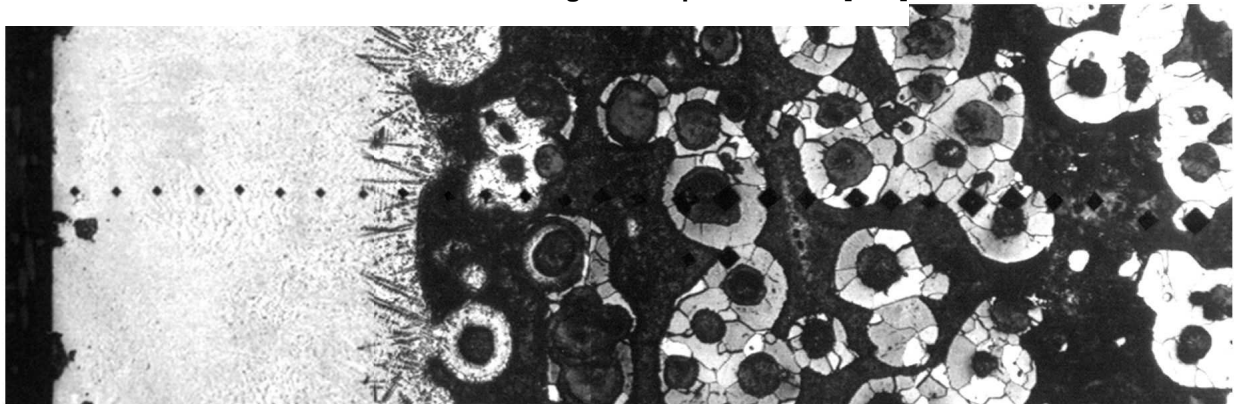
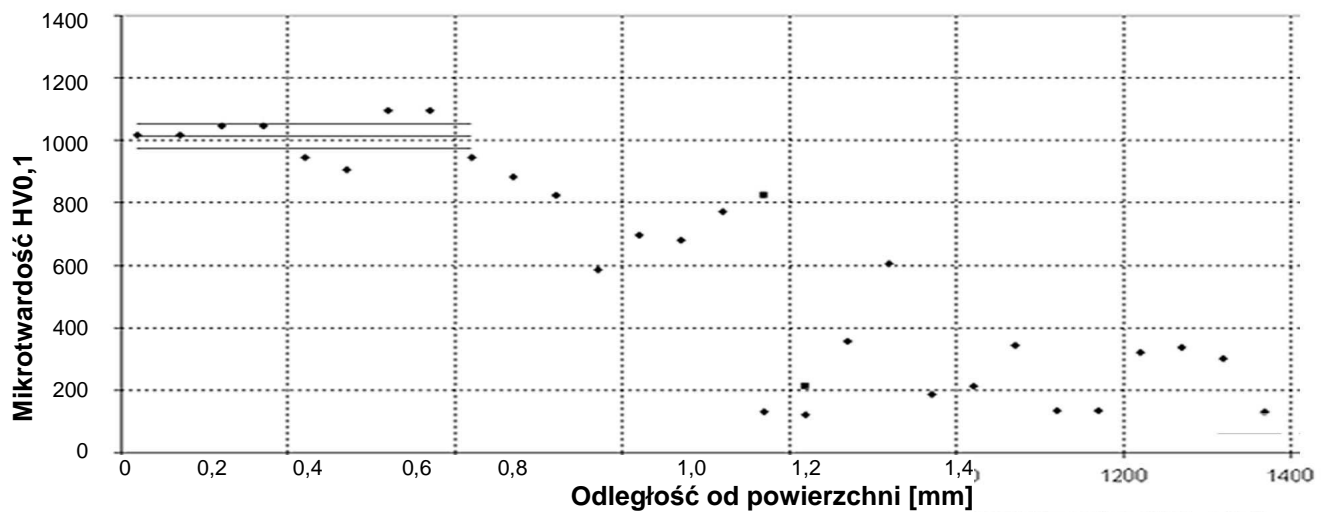
2. Struktura stref zmodyfikowanych żeliwa sferoidalnego po obróbce laserowej

Rys. 1 przedstawia rozkład mikrotwardości na przekroju od powierzchni próbki żeliwa sferoidalnego po borowaniu laserowym przez trzy powstałe strefy (w kolejności od lewej strony): przetopioną, przejściową i zahartowaną. Granica pomiędzy strefą przejściową a zahartowaną w poniższym przykładzie występuje na głębokości ok. 0,55 mm. W dolnej części tego rysunku przedstawiono strukturę stref, w których dokonano pomiarów. W strefie przejściowej i zahartowanej można zaobserwować znaczne różnice w mikrotwardości w przeciwieństwie do niewielkich w strefie przetopionej (potwierdzających jednorodność struktury o czym mowa była już w części pierwszej pracy).

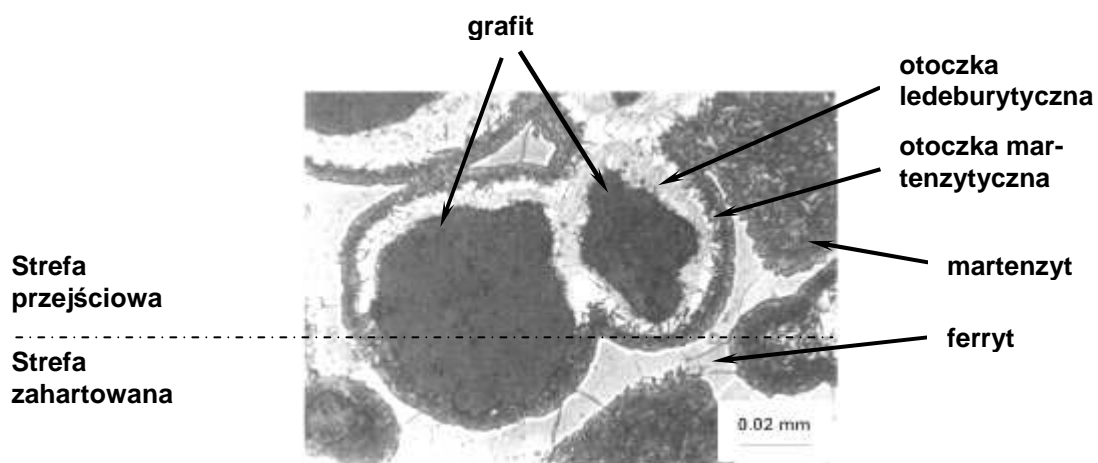
Strefa przejściowa zawiera w sobie elementy strefy przetopionej i zahartowanej. Można w niej zaobserwować między innymi kulki grafitu w podwójnych otoczkach (rys. 2). Mechanizm tworzenia się tych otoczek opisali Grum i Štrum w swoich publikacjach [2, 3] (rys. 3). Dyfuzja węgla z kulek grafitu do austenitu podczas obróbki laserowej powoduje wzrost jego koncentracji w osnowie austenitu otaczającej grafit. Efektem tego jest obniżenie temperatury topnienia w

tym miejscu i lokalne przetopienie otoczki austenitu wokół kulki grafitu. W konsekwencji, po szybkim schłodzeniu tworzy się w tym miejscu zahartowany ledeburyt przemieniony. Dookoła kulki grafitu gdzie nie nastąpiło przetopienie, a jedynie występuje zwiększona koncentracja grafitu tworzy się w wyniku szybkiego chłodzenia martenzyt [2, 3]. Efektem tego procesu są dwie otoczki wokół grafitu: ledeburycyiczna i martenzytyczna (rys. 2). Można również zauważyć, że grubość otoczki ledeburycyicznej jest asymetryczna. Od strony strefy przetopionej otoczka ledeburycyiczna jest większa niż od strony rdzenia materiału. Niekiedy lokalne przetopienie wokół kulki grafitu następuje jedynie od strefy przetopionej. Grubość obu otoczek i ich występowanie zależy od temperatury i intensywności dyfuzji węgla.

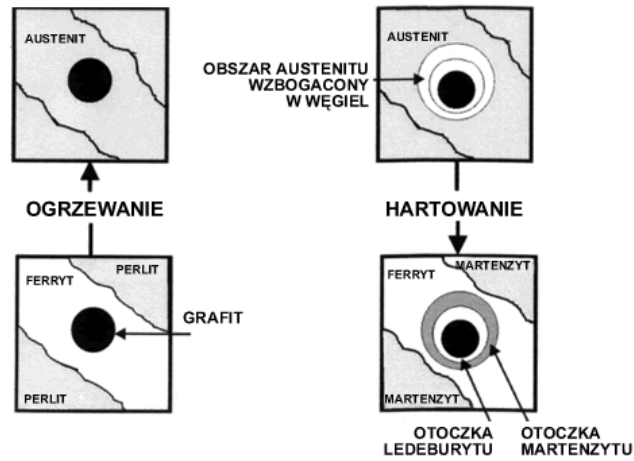
W strefie zahartowanej grafit posiada jedynie otoczki martenzytyczne (rys. 4 i 5). Podobnie jak w strefie przejściowej podczas obróbki laserowej następuje dyfuzja węgla z kulki grafitu do austenitu. Mechanizm ten również przedstawiono schematycznie na (rys. 6). W strefie tej temperatura już nie jest na tyle wysoka i dyfuzja węgla tak duża jak w przejściowej aby nastąpiło lokalne nadtopienie. Po szybkim schłodzeniu powstaje więc pojedyncza otoczka martenzytyczna. Można zauważyć, że w strefie zahartowanej występuje, oprócz martenzytu i grafitu także ferryt. Ponieważ wyjściową osnowę badanego żeliwa stanowił ferryt i perlit, austenit jaki tworzy się podczas krótkiego nagrzewania wiązką laserową charakteryzuje się różną koncentracją węgla. Obszar austenitu bogaty w węgiel po schłodzeniu przemienia się w martenzyt natomiast pozostały obszar ubogi w węgiel przemienia się z powrotem w ferryt. W efekcie w strefie zahartowanej powstają otoczki martenzytyczne oddzielające kulki grafitu od ferrytu widoczne na rys. 4 i 5.



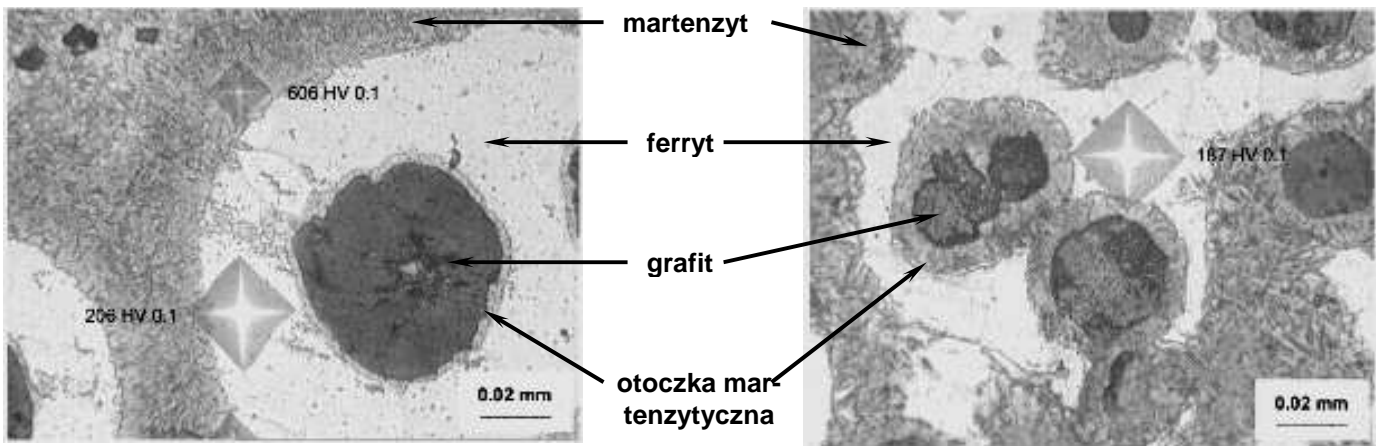
Rys. 1 Przykładowy rozkład mikrotwardości od powierzchni w głąb próbki żeliwa sferoidalnego po obróbce laserowej wraz z widokiem struktury
 Fig. 1 Example of microhardness distribution on the section from surface of nodular iron after laser boronizing with structure photograph



Rys. 2. Fragment strefy przejściowej z widocznym obszarem strefy zahartowanej żeliwa sferoidalnego po borowaniu laserowym
 Fig. 2. Part of transition zone with visible hardened zone area of nodular iron after laser boronizing

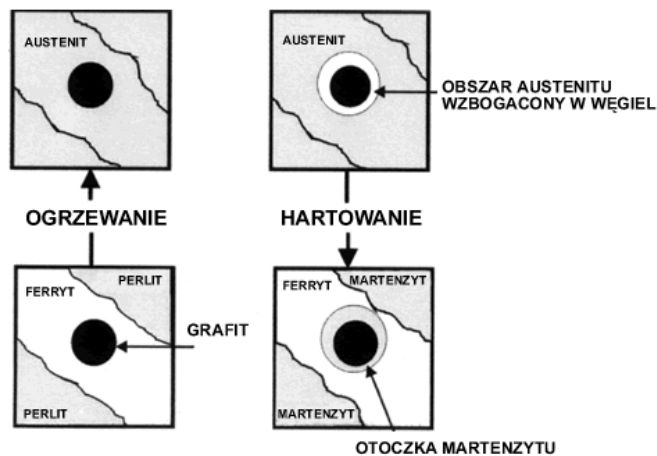


Rys. 3. Schemat tworzenia się otoczki ledeburitycznej i martenzytycznej w strefie przejściowej [2, 3]
 Fig. 3. Scheme of ledeburite and martensite graphite shell formation in transition zone [2, 3]

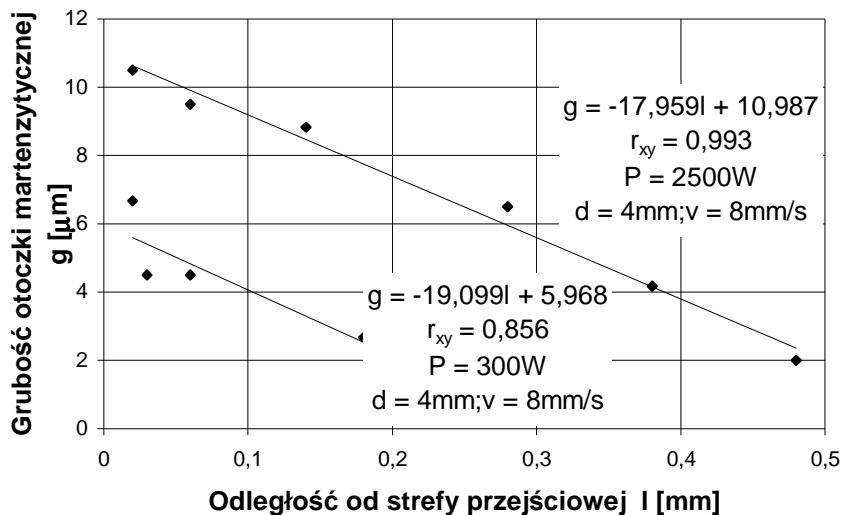


Rys. 4. Fragmenty strefy zahartowanej w pobliżu strefy przejściowej żeliwa sferoidalnego po borowaniu laserowym
 Fig. 4. Parts of hardened zone in the vicinity of core material of nodular iron after laser boronizing

Rys. 5. Fragmenty strefy zahartowanej w pobliżu materiału rdzenia żeliwa sferoidalnego po borowaniu laserowym
 Fig. 5. Parts of hardened zone in the vicinity of transition zone of nodular iron after laser boronizing



Rys. 6. Schemat tworzenia się otoczki martenzytycznej w strefie zahartowanej [2, 3]
 Fig. 6. Scheme of martensite graphite shell formation in hardened zone [2, 3]



Rys. 7 Zależność grubości otoczki martenzytycznej od odległości od strefy przejściowej
 Fig. 7 Relationship between martensite graphite shell thickness and distance from transition zone

Rys. 5 przedstawia fragment strefy zahartowanej w pobliżu strefy przejściowej, natomiast rys. 4 przedstawia fragment strefy zahartowanej w pobliżu materiału rdzenia. Można zaobserwować, że grubość otoczek w pobliżu strefy przejściowej jest większa niż w przypadku otoczek występujących dalej od tej strefy. Podobnie jak w strefie przejściowej otoczki są grubsze w miejscach gdzie temperatura była wyższa i dyfuzja węgla do austenitu większa. Rys. 7 przedstawia zależność grubości otoczki martenzytycznej od odległości od strefy przetopionej. Wraz ze zwiększaniem się odległości od strefy przejściowej zmniejsza się grubość otoczki martenzytycznej aż do całkowitego jej zaniku. Zanik otoczki martenzytycznej przyjmuje się za koniec strefy zahartowanej. Na podstawie zmiany grubości otoczek można wnioskować o rozkładzie temperatury podczas nagrzewania laserowego w strefie zahartowanej.

Na wykresie (rys. 7) zamieszczone zostały wyniki pomiarów grubości otoczek dla dwóch skrajnych wariantów obróbki laserowej. Należy zaznaczyć, że podczas obróbki laserowej stosowano te same czasy nagrzewania $t_j = 0,5$ [s] (średnica wiązki laserowej $d = 4$ [mm], prędkość przesuwu wiązki laserowej względem próbki $v = 8$ [mm·s⁻¹]), podczas gdy moc pomiędzy jednym a drugim wariantem różniła się 8-krotnie. Z przedstawionych wykresów wynika, że wyższa moc spowodowała uzyskanie większej grubości otoczek martenzytycznych wokół grafitu. Fakt ten oznacza, że dyfuzja węgla z grafitu do austenitu podczas nagrzewania laserowego była większa w przypadku zastosowania wyższej mocy. Zważywszy, że temperatury w strefie austenitacji w obu przypadkach musiały być podobne można przypuszczać, że ze względu na wyższe temperatury w strefie przetopionej w przypadku zastosowania większej mocy, czas odprowadzania ciepła był dłuższy. Wysoka temperatura utrzymywała się w strefie austenitacji dłużej co zwiększyło czas, w którym węgiel mógł dyfundować z grafitu do austenitu. W związku z tym większy obszar austenitu wzbogacił się w węgiel co bezpośrednio wpłynęło na grubość otoczki martenzytycznej. Spostrzeżenia te potwierdzają wyniki badań przeprowadzone dla nagrzewania żeliwa wiązkami laserowymi o pośrednich mocach, a mianowicie: 500, 1000, 2000 [W]. Wyznaczenie tych wykresów umożliwia świadome ingerowanie w strukturę warstw powierzchniowych żeliwa sferoidalnego.

3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz danych zawartych w literaturze można sformułować następujące spostrzeżenia.

W przypadku żeliw sferoidalnych można spodziewać się korzystnych efektów obróbki laserowej co jest związane z występowaniem:

- strefy przetopionej charakteryzującej się dużym stopniem ujednorodnienia struktury i stabilnej twardości,
- rozbudowanej strefy przejściowej, zawierającej elementy struktury strefy przetopionej i zahartowanej, co pozwala oczekiwać dobrego połączenia strefy przetopionej z podłożem,
- otoczek stanowiących wzmocnienie wokół grafitu w strefie przejściowej (podwójnych: ledeburtycznych – wskazujących na lokalne nadtopienie i martenzytycznych) i zahartowanej (pojedynczych: martenzytycznych).

Ponadto na podstawie wykonanych badań można zauważyć, że w przeciwieństwie do strefy przetopionej strefy: przejściowa i zahartowana są różnorodne pod względem struktury. Można w nich zidentyfikować co najmniej: martenzyt, ferryt, grafit oraz w strefie przejściowej dodatkowo zahartowany ledeburyt przemieniony. Analiza grubości martenzytycznych otoczek grafitu oddzielających go od ferrytu w strefie zahartowanej wykazała, że zmniejszają się one wraz z odległością od strefy przejściowej.

Można stwierdzić, że wyniki, jakie pozwala uzyskać obróbka laserowa żeliw sferoidalnych, są czynnikiem sprzyjającym rozwojowi tej obróbki powierzchniowej i zwiększeniu zastosowania żeliw sferoidalnych również w przypadku elementów maszyn rolniczych.

Literatura

- [1] Kusiński, J., Przybyłowicz, J., Kąc, S., Woladn, A.: Kształtowanie struktury i własności materiałów w wyniku laserowego przetapiania warstwy wierzchniej oraz nadtapiania powłok, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 1999, Nr 5, s. 276
- [2] Grum, Janez; Štrum, Roman: Microstructure analysis of nodular iron 400-12 after laser surface melt hardening, Materials Characterization 37:81-88 (1996)
- [3] Grum, J.; Štrum, R.: Comparison of measured and calculated thickness of martensite and ledeburite shells around graphite nodules in the hardened layer of nodular iron after laser surface remelting, Applied Surface Science 187, 2002, s. 116.