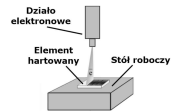


BADANIE PROCESU HARTOWANIA PRZY UŻYCIU WIĄZKI ELEKTRONÓW STALI 35HGS

Marek Stanisław Węglowski¹, Piotr Śliwiński¹, Andrzej Norbert Wieczorek², Kamil Kubik¹
¹ Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa
² Politechnika Śląska – Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej

Wprowadzenie

Hartowanie elektronowe jest procesem obróbki powierzchni materiałów, w którym jako źródło energii wykorzystuje się wiązkę elektronów. Polega ono na wzbudzeniu i emitowaniu elektronów z katody zazwyczaj wykonanej z wolframu lub stopu wolframu. Elektrony te są przyspieszane pod bardzo wysokim napięciem sięgającym nawet 300 kV, a następnie odchylane i kierowane do komory roboczej przy użyciu cewek elektromagnetycznych. W wyniku bombardowania powierzchni materiału przez wiązkę elektronów, na drodze zamiany energii kinetycznej na energię ciepła, wzrasta temperatura powierzchni elementu. Istotnym jest, żeby stosunek masy poddanej hartowaniu wiązki elektronów do masy niepoddanej hartowaniu był na tyle mały, aby masa niepoddana hartowaniu mogła odbierać ciepło z powierzchni na tyle szybko, by przekroczyć prędkość krytyczną, umożliwiając zajście przemiany martenzytycznej lub bainitycznej.



Rysunek 1. Schemat procesu hartowania elektronowego wiązka skanującą

Stal 35HGS znajduje zastosowanie przede wszystkim w przypadku części maszyn bardzo obciążonych oraz konstrukcji pracujących przy silnym obciążeniu, m.in. koła zębate, tuleje, kolnierze, przekładnie zębate, części sprzęgła, wrzeciona, dźwignie i wały. Jest również stosowana do produkcji łopatek kompresorów i szczególnie obciążonych osi. Ze względu na swoje właściwości, sprawdza się również w przemyśle lotniczym.

Celem przeprowadzonej pracy badawczej było określenie wpływu hartowania elektronowego na twardość oraz makro- i mikrostrukturę stali w gatunku 35HGS.

Procedura prowadzenia badań

Badania zostały przeprowadzone na próbkach o szerokości 30 mm i grubości 20 mm ze stali w gatunku 35HGS (wg. PN-89/H-84030/04). W tabelicy 1 przedstawiono skład chemiczny stali. Proces hartowania elektronowego przeprowadzono przy wykorzystaniu urządzenia modelu XW150:30/75E (CVE) w Łukasiewicz – Instytucie Spawalnictwa (Rysunek 2).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,41	1,05	0,85	0,003	0,009	1,05	0,02	0,08	0,04	0,01
Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	As	Zr
0,19	< 0,004	0,005	0,009	0,01	< 0,004	0,01	< 0,001	0,009	< 0,001

Tabela 1. Skład chemiczny stali 35HGS, wag. %

Hartowanie elektronowe zostało przeprowadzone przy następujących parametrach:

Seria nr 1:

Napięcie przyspieszające = 140 kV, wiązka rozogniskowana, amplituda oscylacji = 30 mm x 6mm
Częstotliwość oscylacji = 200 Hz

Próbka nr 1: Prędkość posuwu próbki = 250 mm/min, natężenie prądu wiązki = 25 mA

Próbka nr 2: Prędkość posuwu próbki = 500 mm/min, natężenie prądu wiązki = 35 mA

Seria nr 2:

Napięcie przyspieszające = 140 kV, wiązka rozogniskowana, amplituda oscylacji = 150 mm x 30 mm

Częstotliwość oscylacji = 10 Hz, natężenie prądu wiązki = 20 mA, moc wiązki = 2800 W

Próbka nr 3: Czas nagrzewania = 5 s

Próbka nr 4: Czas nagrzewania = 4 s

Próbka nr 5: Czas nagrzewania = 3,5 s

Po hartowaniu na próbkach przeprowadzono badania metalo-graficzne mikroskopowe z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej – LM (Eclipse MA 200, Nikon). Ponadto przeprowadzono pomiary twardości przy obciążeniu 100 g metodą Vickers'a (KB50 FA, Prüftechnik GmbH) zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.



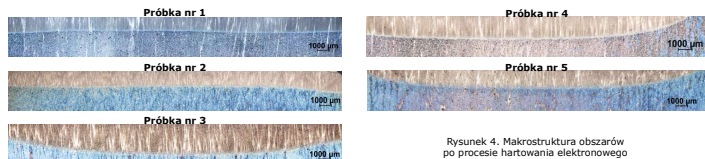
Rysunek 2. Stanowisko do hartowania powierzchniowego elektronowego w Łukasiewicz – Instytucie Spawalnictwa



Rysunek 3. Schemat pomiaru twardości próbek po hartowaniu, 5 linii pomiarowych, 40 punktów pomiarowych w jednej linii

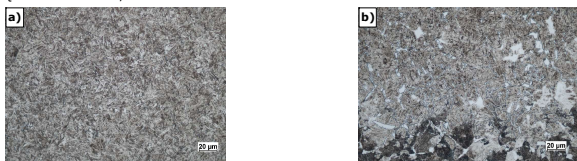
Wyniki badań i dyskusja

Na rysunku 4 przedstawiono makrostrukturę obszarów po procesie hartowania elektronowego.

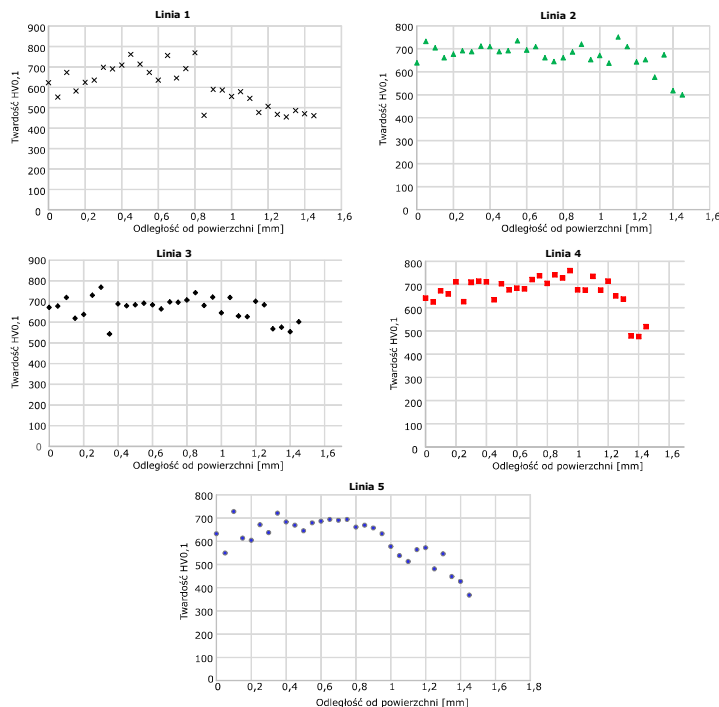


Rysunek 4. Makrostruktura obszarów po procesie hartowania elektronowego

Badania metalograficzne wykazały, że przy zastosowanych parametrach hartowania elektronowego dla próbek 3, 4 i 5 głębokość warstwy zahartowanej nie jest równomierna. Na obu krawędziach próbek można zaobserwować wyraźne zmniejszenie głębokości zahartowanej. Jednocześnie dla przypadku gdy próbka jest przesuwana względem działka elektronowego (próbki 1 i 2) jest możliwość uzyskania równomiernej głębokości zahartowania na całej szerokości próbki (30 mm). Przeprowadzone badania metalograficzne mikroskopowe (Rys. 5) wykazały natomiast, że obszar zahartowany charakteryzuje się mikrostrukturą martenzytyczną i twardością powyżej 640 HV0,1 (Rys. 6), co jest zgodne z wymaganiami projektu NanoHybryd. Natomiast obszar pośredni, pomiędzy obszarem zahartowanym a rdzeniem, mikrostrukturą martenzytyczną – bainityczną i twardością ok. 500-600 HV0,1.



Rysunek 5. Mikrostruktura stali 35HGS po hartowaniu elektronowym, LM, próbka nr 1. a) obszar zahartowany, b) obszar pośredni



Rysunek 6. Rozkład twardości w próbkach po hartowaniu elektronowym, próbka nr 1

Przedstawione na rysunku 6 rozkłady twardości są typowe dla stali wielofazowej po procesie hartowania. Po hartowaniu mikrostruktura stali nie jest jednorodna w skali submikronowej i również twardość materiału osiąga wartość w zakresie od 600 do ok 780HV0,1. Do głębokości ok. 1,2 mm (Rys. 6, linie 2, 3 i 4) twardość przekracza 640 HV, co jest zgodne z pierwotnymi założeniami w projekcie NanoHybryd. Założono bowiem, że twardość dla rozpatrywanego gatunku stali nie powinna być niższa niż 640 HV na głębokości do 1,2 mm. Ponadto, jak można zaobserwować (Rys. 6), głębokość warstwy zahartowanej nie jest równomierna na całej szerokości próbki tj. 30 mm, co zostało potwierdzone pomiarami twardości (Rys. 6, zwłaszcza linie 1 i 5). Zjawisko to jest związane z innymi warunkami odprowadzenia ciepła na brzegach próbki w odniesieniu do zastosowanych parametrów obróbki. Efekt ten można zaobserwować w postaci znacznego zmniejszenia twardości już na głębokości 0,8 mm. Wyniki pomiarów głębokości zahartowanej oraz twardości dla poszczególnych próbek przedstawiono w tabelicy nr 2.

Nr	Średnia głębokość SWC [mm]	Maksymalna zmierzona głębokość SWC [mm]	Średnia twardość [HV1]	Maksymalna zmierzona twardość [HV1]
1	1,470	1,625	643	658
2	1,467	1,498	657	670
3	2,290	2,753	626	653
4	1,423	1,583	677	680
5	1,339	1,519	685	702

Tabela 2. Wyniki pomiarów głębokości zahartowania i twardości w próbkach ze stali 35HGS

Wnioski

W ramach pracy badawczej przeprowadzono hartowanie powierzchniowe elektronowe stali 35HGS, określono wpływ hartowania na mikrostrukturę oraz twardość stali. Na podstawie badań sformułowano następujące wnioski:

- zastosowanie wiązki rozogniskowanej oraz przesuwu próbki hartowanej powoduje, że głębokość zahartowana jest bardziej równomierna w odniesieniu do przypadku, gdy próbka jest nieruchoma,
- mikrostruktura stali 35HGS po hartowaniu elektronowym składa się z martenzytu,
- hartowanie elektronowe umożliwiło uzyskanie warstwy o twardości powyżej 640 HV0,1 na głębokości 1,2 mm w środkowej części próbki, przy czym głębokość zahartowania nie jest równomierna,
- rozkład twardości na przekroju poprzecznym również nie jest równomierny.

Podziękowania

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu TECHMASTRATEG pt. „Opracowanie innowacyjnych hybrydowych warstw powierzchniowych złożonych z powłok antyzycyzytowych dedykowanych użyciu przekładni zębatych do zespołów napędowych przenośników pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych” - NanoHybryd. Numer umowy TECHMATSTRATEG-III/0028/2019



Kontakt:
dr inż. Marek St. Węglowski
Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa
ul. Bł. Czesława 16-18
tel. +48 32 33 58 236
44-100 Gliwice
www.is.lukasiewicz.gov.pl
marek.weglowski@is.lukasiewicz.gov.pl

63. MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA SPAWALNICZA

18-20 PAŹDZIERNIKA 2022 r. | KATOWICE

