

# HARTOWANIE POWIERZCHNIOWE INDUKCYJNE STALI 30HGSNA PO PROCESIE NANOBANITYZACJI

Marek Stanisław Węglowski<sup>1</sup>, Wojciech Oborski<sup>1</sup>, Mariusz Welcel<sup>1</sup>, Janusz Skiba<sup>1</sup>,  
Andrzej Norbert Wieczorek<sup>2</sup>, Piotr Śliwiński<sup>1</sup>, Kamil Kubik<sup>1</sup>, Tomasz Tański<sup>3</sup>, Marcin Staszuk<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa  
<sup>2</sup> Politechnika Śląska – Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej  
<sup>3</sup> Politechnika Śląska – Wydział Mechaniczny Technologiczny

## Wprowadzenie

Przekładnie zębate do zespołów napędowych przenośników pracują w trudnych warunkach eksploatacyjnych charakteryzujących się m.in. obecnością zanieczyszczeń stałych w oleju smarowym. Jednym z możliwych rozwiązań wydłużenia czasu eksploatacji urządzeń jest wytworzenie powłok antyzuzycyjnych na podłożu o zwiększonej twardości po zastosowaniu hartowania powierzchniowego. Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami jest zastosowanie hartowania płomieniowego, indukcyjnego, laserowego lub przy wykorzystaniu wiązki elektronów. Jako materiał konstrukcyjny mogą być stosowane np. stale do obróbki cieplnej w tym stal 30HGSNA (wg. PN-89/H-8403/04).

Stal 30HGSNA znajduje zastosowanie przede wszystkim w przypadku części maszyn bardzo obciążonych oraz konstrukcji pracujących przy silnym obciążeniu, m.in. koła zębate, tuleje, kołnierze, 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.

W ramach prezentowanych wyników badań do hartowania powierzchniowego wykorzystano hartowanie indukcyjne, które polega na wytwarzaniu ciepła przy przepływie prądów wirowych wywołanych zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej. W metalach umieszczonych w przemiennym polu elektromagnetycznym, indukują się siły elektromotoryczne, które z kolei wywołują prądy wirowe. Wartość tych sił jest uzależniona od szybkości zmian strumienia magnetycznego. Źródłem końcowym przy nagrzewaniu indukcyjnym pola elektromagnetycznego jest zespół przewodników przewodzących prąd (tzw. wzbudników). Na rysunku 1 przedstawiono ideę metody oraz schemat blokowy urządzenia do nagrzewania indukcyjnego.

Wraz z nagrzewaniem elementem wzbudnik tworzy indukcyjny układ grzejny wzbudnik-wsad. Wzbudnik jest zasilany poprzez układ dopasowujący (transformator) z generatora (przebiegnika częstotliwości). Obecność transformatora pozwala na uzyskanie optymalnego dopasowania źródła zasilania do obciążenia, zmniejszenie strat w liniach przesyłowych oraz zwiększenie bezpieczeństwa obsługi. W przypadku materiałów ferromagnetycznych, część wydzielanego ciepła jest wynikiem strat histeryzacyjnych.

Celem przeprowadzonej pracy badawczej było określenie wpływu hartowania indukcyjnego na twardość oraz mikrostrukturę stali w gatunku 30HGSNA poddanej procesowi nanobanityzacji.

## Procedura prowadzenia badań

Badania zostały przeprowadzone na próbkach o szerokości 30 mm i grubości 20 mm ze stali w gatunku 30HGSNA (wg. PN-89/H-8403/04) dostarczonej po procesie nanobanityzacji w całej objętości. W tabelicy 1 przedstawiono skład chemiczny stali. Proces hartowania indukcyjnego przeprowadzono na stanowisku opracowanym i zbudowanym w Łukasiewicz – Instytucie Spawalnictwa (rys. 2).

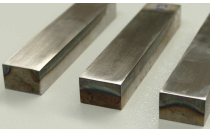
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,32	0,89	1,09	0,002	0,009	0,91	0,04	1,61	0,04	0,02
Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	As	Zr
0,20	<0,004	0,004	0,008	0,015	<0,004	0,013	<0,001	0,010	<0,015

Tabela 1. Skład chemiczny stali 30HGSNA, wag. %

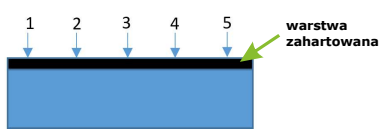


Rysunek 2. a) stanowisko do hartowania powierzchniowego indukcyjnego opracowane w Łukasiewicz – Instytucie Spawalnictwa, b) wzbudnik wraz z układem chłodzenia strumieniem wody

Hartowanie indukcyjne zostało przeprowadzone przy następujących parametrach: prędkość przesuwu  $v=5-16$  mm/min, natężenie prądu w układzie pośredniczącym  $I=55A$ , odległość powierzchni od wzbudnika  $d=2$  mm, częstotliwość  $f=34$  kHz. Do hartowania zastosowano wzbudnik z rdzeniem ferrytowym (rys. 2 b), jako medium chłodzące zastosowano wodę. Po hartowaniu na próbkach (rys. 3) przeprowadzono badania metalograficzne mikroskopowe z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej – LM (Eclipse MA 200, Nikon) w polu jasnym. Badania mikrostruktury wykonano również z zastosowaniem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) Supra 35 firmy Zeiss. Badania wykonano przy zastosowaniu napięcia przyspieszającego 10 kV, a obrazy uzyskano dzięki detekcji elektronów wtórnych (SE – secondary electrons). Ponadto przeprowadzono pomiary twardości przy obciążeniu 100 g metodą Vickers'a (KB50 FA, Prüftechnik GmbH) zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 4.



Rysunek 3. Widok próbek ze stali 30HGSNA po hartowaniu indukcyjnym



Rysunek 4. Schemat pomiaru twardości próbek po hartowaniu, 5 linii pomiarowych, 96 punktów pomiarowych w jednej linii

## Wyniki badań i dyskusja

Na rys. 5 przedstawiono strukturę nanobanicyzną złożoną z płytek austenitu i ferrytu banicyznego (X1 – rys. 5b) oraz pola austenitu blokowego (X2 – rys. 5b).

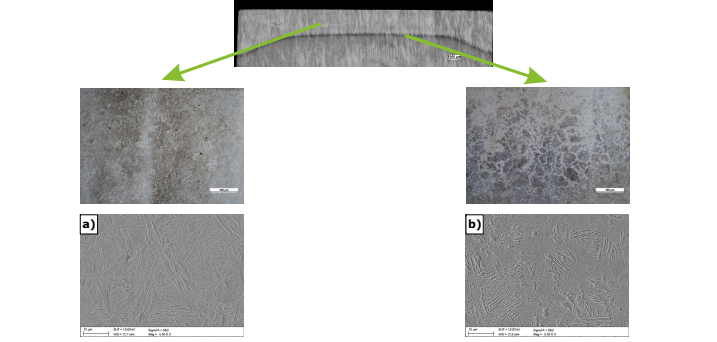


Rysunek 5. Mikrostruktura stali 30HGSNA w stanie dostawy po procesie nanobanityzacji

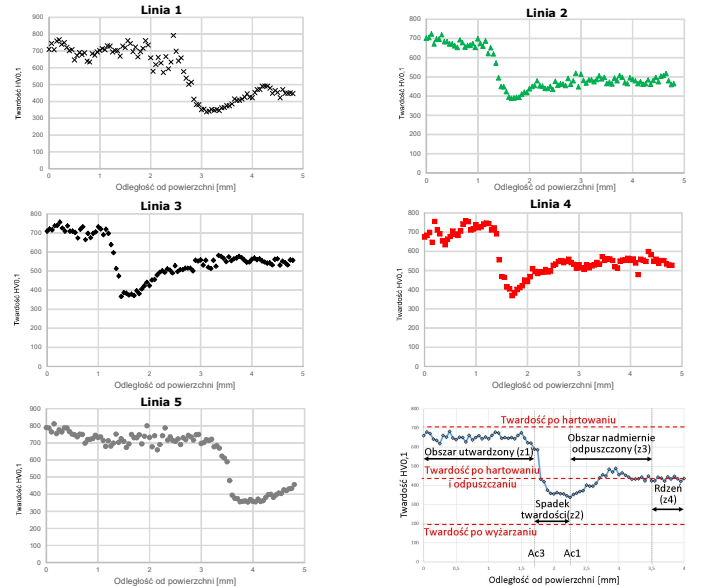
Na rys. 5a przedstawiono strukturę martenzytyczną odpowiednią dla warstwy zahartowanej powierzchniowo. Na rys. 5b przedstawiono strukturę martenzytyczno-banicyzną odpowiednią dla strefy przejściowej. Uwidocznione są również strefy nieprzemiennej struktury nanobanicyzacji.

# 63. MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA SPAWALNICZA

18-20 PAŹDZIERNIKA 2022 r. | KATOWICE



Rysunek 6. Makro- i mikrostruktura stali 30HGSNA po hartowaniu indukcyjnym. LM, SEM, 5 mm/s, I=55 A, d=2 mm, f=34 kHz. Stal 30HGSNA po hartowaniu indukcyjnym charakteryzuje się mikrostrukturą martenzytyczną do głębokości około 1,5 mm, co odpowiada twardości powyżej 600 HV<sub>0,1</sub> (rys. 6). W obszarze przejściowym wyraźna jest mikrostruktura martenzytyczno-banicyzna o twardości poniżej 500 HV<sub>0,1</sub>.



Rysunek 7. Rozkład twardości w próbkach po hartowaniu indukcyjnym, 5 mm/s, I2=55 A, d=2 mm, f=34 kHz

Rysunek 8. Schemat rozkładu twardości w próbkach po hartowaniu indukcyjnym

Przedstawione na rysunku 7 rozkłady twardości są typowe dla stali poddanej hartowaniu indukcyjnemu. Można wyróżnić kilka istotnych obszarów (rys. 8). Do głębokości ok. 1,5 mm (rys. 7 linie 2, 3 i 4) twardość przekracza 700 HV (rys. 8 z 1), 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. Następnie obserwuje się nagły spadek twardości na głębokości ok. 1,7 mm do wartości ok. 500 HV (rys. 8 z 2). Trzeci strefa odpowiada obszarowi nadmiernie odpuszczonego (rys. 8 z 3), w którym twardość jest poniżej twardości materiału w stanie dostawy (poniżej 400 HV<sub>0,1</sub>). Ostatni obszar (rys. 8 z 4) odpowiada rdzeniowi, tj. materiałowi w stanie dostawy. Ponadto jak można zaobserwować (rys. 6) głębokość warstwy zahartowanej nie jest równomierna na całej szerokości próbki tj. 30 mm. Na obydwu krańcach można zauważyć, wyraźny wzrost głębokości zahartowanej, co zostało potwierdzone pomiarami twardości (rys. 7 linie 1 i 5). Zjawisko to jest związane z silną koncentracją prądów wirowych na krawędziach hartowanych indukcyjnie. Zastosowanie wzbudnika z rdzeniem ferrytowym umożliwiło jednak organicznie tego zjawiska.

## Wnioski

W ramach pracy badawczej przeprowadzono hartowanie powierzchniowe indukcyjne stali 30HGSNA, określono wpływ hartowania na mikrostrukturę oraz twardość stali. Na podstawie badań sformułowano następujące wnioski:

- mikrostruktura stali 30HGSNA po hartowaniu indukcyjnym składa się z martenzyty, natomiast w stanie dostawy stal charakteryzowała się mikrostrukturą strukturą nanobanicyzną złożoną z płytek austenitu i ferrytu banicyznego,
- hartowanie indukcyjne umożliwiło uzyskanie warstwy o twardości powyżej 640 HV<sub>0,1</sub> na głębokości 1,5 mm w środkowej części próbki, przy czym głębokość zahartowania nie jest równomierna i wynosi ponad 3 mm przy krawędzi próbki,
- rozkład twardości na przekroju poprzecznym nie jest równomierny i charakteryzuje się lokalnym minimumm.

## Podziękowania

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



## Kontakt:

dr inż. Marek St. Węglowski  
Łukasiewicz – Instytut Spawalnictwa  
ul. Bl. Czesława 16-18  
tel. +48 32 33 58 236  
44-100 Gliwice  
Marek.Weglowski@is.lukasiewicz.gov.pl

# SPAWALNICTWO W SIECI NOWYCH MOŻLIWOŚCI