



Aplikacje azotowania w uniwersalnych piecach próżniowych

Nitriding in universal vacuum furnaces

prof. dr hab. inż. Piotr KULA¹, dr inż. Robert PIETRASIK¹, dr inż. Emilia WOŁOWIEC¹, dr inż. Maciej KORECKI²

1 Politechnika Łódzka
Instytut Inżynierii
Materiałowej
2 Seco/Warwick S.A.



W KILKU SŁOWACH

Jedną z metod podnoszenia trwałości narzędzi jest połączenie objętościowej obróbki cieplnej z precyzyjnym azotowaniem realizowanym obecnie w odrębnych urządzeniach. Istnieje jednak możliwość azotowania niskociśnieniowego stali narzędziowych w uniwersalnym piecu próżniowym.



ABSTRACT

One method of enhancing the durability of tools is to perform heat treating combined with precise nitriding, which currently usually requires the use of two different sets of apparatus. However, low pressure nitriding of tool steel in universal vacuum furnace is also possible.

Wprowadzenie

Istotną częścią detali obrabianych cieplnie i cieplno-chemicznie w hartowniach usługowych oraz korporacyjnych są formy i matryce. Elementy te, używane w procesach odlewania ciśnieniowego oraz kucia, najczęściej na gorąco, są poddawane intensywnym obciążeniom zarówno mechanicznym jak i cieplnym. Wysoką trwałość takich narzędzi częściowo zapewnia się przez stosowanie odpowiednich materiałów (wysokostopowych stali narzędziowych), jednakże optymalne właściwości matryc można uzyskać tylko poprzez odpowiednią obróbkę cieplną lub cieplno-chemiczną. Jedną z metod podnoszenia trwałości tych narzędzi jest połączenie objętościowej obróbki cieplnej z precyzyjnym azotowaniem realizowanym obecnie w odrębnych urządzeniach. Istnieje jednak możliwość azotowania niskociśnieniowego stali narzędziowych w uniwersalnym piecu próżniowym, pod warunkiem opracowania

modelu fizycznego procesu wielosegmentowego, popartego doświadczalną bazą uczącą. Zgromadzenie wiarygodnej bazy uczącej uznano za element warunkujący powodzenie całości projektu, ponieważ parametry obróbki oraz każdy dodatkowy pierwiastek wprowadzony do materiału mają istotne znaczenie dla własności końcowych materiału [1-5]. Powyższe okoliczności były bezpośrednią przyczyną rozpoczęcia badań nad opracowaniem modelu fizycznego wielosegmentowego azotowania niskociśnieniowego o strukturze procesu „boost – diffusion”.

Azotowanie próżniowe metodą FineLPN

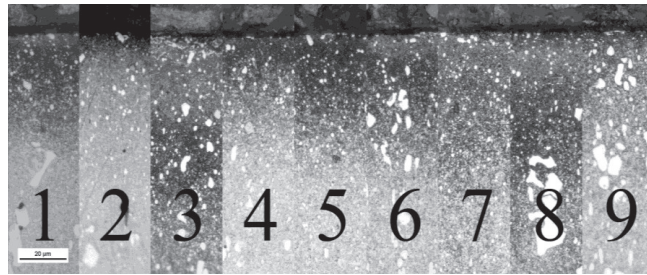
Ogólnie rozumiane azotowanie jest procesem obróbki cieplno-chemicznej, polegającym na nasycaniu powierzchni warstwy stalowych elementów maszyn i narzędzi azotem, w celu uzyskania bardzo twardej i odpornej na ścieranie powierzchni z jednoczesnym zachowaniem pożądaných właściwości i struktury rdzenia. Projektowane własności materiału po azotowaniu muszą pozostawać w ścisłym związku ze sposobem jego docelowej eksploatacji. Wynika stąd, że temperatura obróbki oraz właściwości i struktura warstwy wierzchniej elementu obrabianego powinny być dobierane dla każdego przypadku indywidualnie, co wymaga znacznego doświadczenia lub wsparcia w tym zakresie. Dodatkowo, w odróżnieniu od nawęglania próżniowego, w tym przypadku istnieje potrzeba kontrolowania wzrostu aż trzech warstw: ϵ , γ' i warstwy dyfuzyjnej. Mimo to warstwy azotowane znajdują szerokie zastosowanie we współczesnej technologii maszyn, głównie do utwardzenia powierzchniowego

elementów wysoko obciążonych skojarzeń ciernych. Obecnie azotowanie realizowane jest przemysłowo najczęściej w piecach atmosferycznych lub jonowych, lecz jak wspomniano wcześniej, istnieje możliwość stosowania azotowania realizowanego w uniwersalnych piecach próżniowych, szczególnie w przypadku wymaganych relatywnie niewielkich grubości warstw. Istotną zaletą azotowania próżniowego jest redukcja ilości urządzeń do obróbki, ponieważ cała obróbka cieplna przeprowadzana jest kompleksowo w jednym cyklu pieca, przechodząc po kolei przez: hartowanie, wielokrotne odpuszczanie i finalnie azotowanie [6,7,8]. Z uwagi na niskie ciśnienia atmosfery azotującej, panujące w piecu HPGQ podczas procesu azotowania próżniowego, znajduje ono główne zastosowanie w obróbce form, matryc oraz innych elementów wykonanych ze stali narzędziowych. Relatywnie krótkie, kilkugodzinne procesy azotowania tych stali powodują powstanie bardzo twardej i cienkiej warstwy, co poprawia parametry użytkowe tych narzędzi. Ponadto warstwy azotowane próżniowo są mniej kruche od warstw azotowanych gazowo, zarówno w ograniczonej strefie związków azotkowych, jak i w strefie azotowania wewnętrznego.

Aktywacja powierzchni i badania morfologii warstw

Niskociśnieniowa obróbka cieplno-chemiczna stali jest procesem nierównowagowym. Stąd też powtarzalne wytwarzanie warstw utwardzonych o zadanym profilu węgla lub azotu i zadanym rozkładzie twardości na szerokim asortymencie gatunków materiałów inżynierskich musi zostać oparte na wiarygodnej symulacji komputerowej procesu we wszystkich jego fazach.

Dlatego, aby przyspieszyć ten proces i ujednorodnić strukturę, została opracowana nowa kąpiel aktywacyjna. Stosowana jest ona w etapie płukania elementów po ich odtłuszczeniu. Znaczenie tego kroku w procesie azotowania jest zilustrowane na rysunku 1, który pokazuje warstwy azotowane uzyskane na stali X155CrVMo12 dla różnej wartości pH kąpeli i aktywnego stężenia jonów.



Rys. 1. Struktury warstw azotowanych po różnych wariantach aktywacji na stali X155CrVMo12. Temperatura – 540°C, czas – 3h.

Po opracowaniu kąpeli aktywacyjnej wykonano szereg eksperymentalnych procesów azotowania. Na podstawie ich wyników stworzono eksperymentalną bazę uczącą w postaci zbioru profili struktury i twardości dla czterech wybranych gatunków stopowych stali narzędziowych azotowanych wielosegmentowo wg programu procesów o różnej ilości i różnym czasie trwania segmentów „boost – diffusion”.

System ekspercki SimLPN

Wyniki uzyskane podczas badań ilościowych i jakościowych próbek wykonanych ze stali narzędziowych posłużyły do opracowania wielowarstwowej jednokierunkowej sztucznej sieci neuronowej, której zadaniem jest odwzorowanie zależności zachodzących między parametrami wejściowymi procesu azotowania próżniowego, a właściwościami technologicznej warstwy wierzchniej obrabianego detalu, ze szczególnym uwzględnieniem profilu twardości i charakterystyki wytworzonej warstwy: grubości, własności, struktury. W trakcie opracowania systemu eksperckiego testowano wiele możliwości zróżnicowania ilości ukrytych neuronów i różne funkcje aktywacji sieci. Rysunek 2 przedstawia przykładowy schemat końcowy działania programu. W procesie trenowania sieci wykorzystano dane eksperymentalne dotyczące czterech stali narzędziowych: X155CrVMo12, HS 6-5-2, X37CrMoV51, 55Ni-CrMoV7. Materiały dobrano tak, aby na etapie trenowania uwzględnić prawie wszystkie pierwiastki wstępujące w stalach narzędziowych i w ten sposób umożliwić ekstrapolację przewidywań sieci poza obszar objęty bazą uczącą.

Literatura

- [1] P. Kula „Inżynieria warstwy wierzchniej”, Politechnika Łódzka, Łódź, 2000.
- [2] P. Kula, E. Wołowicz, A. Rzepkowski, B. Januszewicz, M. Wentlandt „Możliwości azotowania stali narzędziowych w uniwersalnym piecu próżniowym”, *Material Engineering 4* (182) (2011) 506-509.
- [3] P. Kula, M. Korecki, R. Pietrasik, E. Wołowicz, K. Dybowski, Ł. Kołodziejczyk, R. Atraszkiewicz, M. Krasowski „FineCarb – the flexible system for low pressure carburizing”, *Journal of The Japan Society for Heat Treatment 49* (2009) 133-136.
- [4] M. Kulka, A. Pertek, L. Klimek „The influence of carbon content in the borided Fe-alloys on the microstructure of iron borides”, *Materials Characterization 56/3* (2006) 232-240.
- [5] A. Pertek, M. Kulka “Two-step treatment carburizing followed by boriding on medium-carbon steel”, *Surface and Coatings Technology 173* (2003) 309-3141.
- [6] P. Kula, R. Pietrasik, K. Dybowski, M. Krasowski, S. Pawęta, M. Korecki „PreNitLPC – zaawansowana technologia wysokotemperaturowego nawęglania próżniowego - efekty i zastosowania”, XIII Seminarium Grupy Seco/Warwick, Bukowy Dworek (2010).
- [7] M. Korecki, P. Kula, J. Olejnik „New capabilities in HPGQ vacuum furnaces”, *Industrial Heating 3/2011* (2011).
- [8] M. Korecki, J. Olejnik, M. Bazel, P. Kula, R. Pietrasik, E. Wołowicz „Multi-purpose LPC+LP-N+HPGQ 25 bar N₂/He single chamber vacuum furnaces”, 3rd International Conference on Heat Treatment and Surface Engineering of Tools and Dies, Wels, Austria (2011) 161-168.

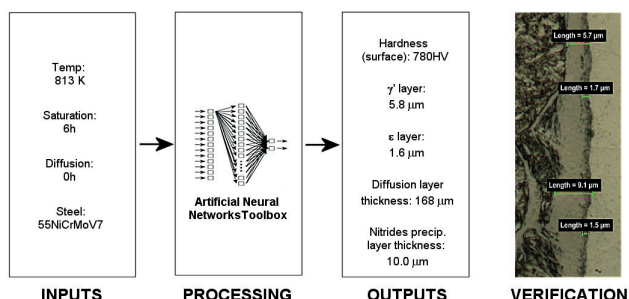
Badania sfinansowano w ramach grantu badawczego nr 5216/B/T02/2010/39.





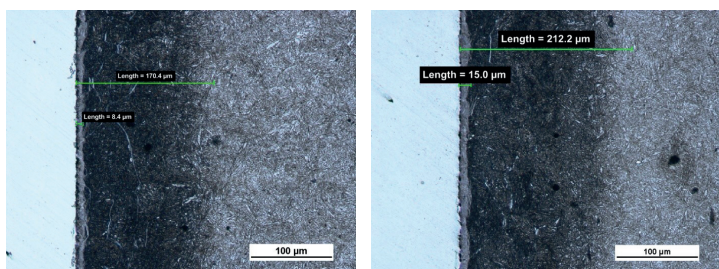
Weryfikacja eksperymentalna

W celu sprawdzenia poprawności działania systemu SimLPN przeprowadzono procesy weryfikacyjne. Poniżej opisano przykładowe działanie na stali X37CrMoV51.



Rys. 2. Przykład działania systemu SimLPN.

Specyfika pracy formy wymaga, aby grubość warstwy azotku γ' po procesie azotowania nie przekraczała 2 mikrony oraz niedopuszczalne jest występowanie fazy ϵ . Oczekiwana grubość warstwy – $0,15 \pm 0,18$ mm. Uzyskanie poprawnych struktur w tradycyjnym ciągłym procesie azotowania niskociśnieniowego jest trudne i często struktury te nie spełniają założeń (rysunek 3)

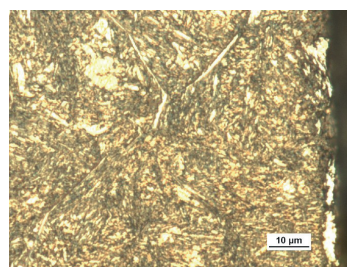
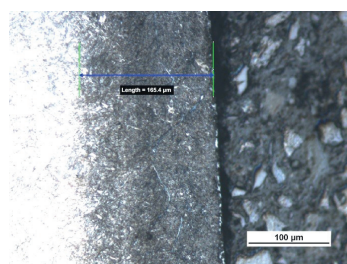


Rys. 3. Budowa morfologiczna stali X37CrMoV51 azotowanej niskociśnieniowo w sposób ciągły w czasie a) 4h, b) 6h.

Uruchomiono model z sztuczną siecią neuronową narzucając następujące warunki:

$$\begin{cases} \gamma' = 0 \div 2 \mu\text{m} \\ \epsilon = 0 \mu\text{m} \end{cases}$$

Na podstawie wartości wyjściowych modelu zaprojektowano i przeprowadzono nowy proces zawierający 4-godzinny segment nasycania oraz 2-godzinny proces wytrzymania. W rezultacie otrzymano struktury materiału bardzo bliskie oczekiwanym (rysunek 4).

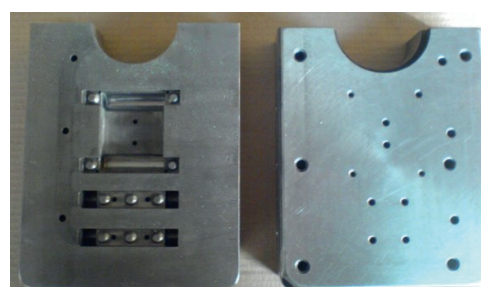


Rys. 4. Budowa morfologiczna stali X37CrMoV51 azotowanej w procesie dwusegmentowym, zawierającym 4-godzinny segment nasycania i 2-godzinny segment wytrzymania.

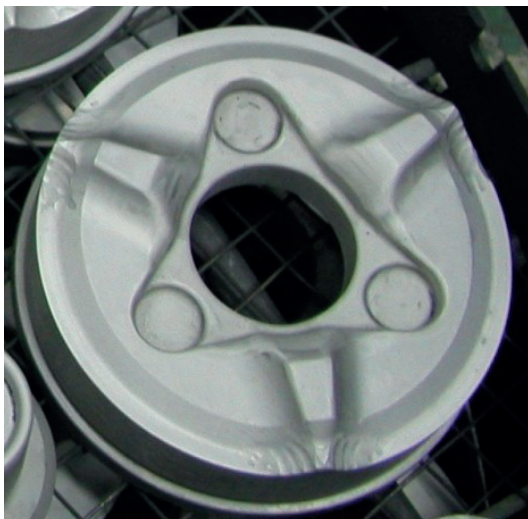
W ten sposób przeprowadzono cały szereg weryfikacji. Wyniki działania modelu neuronowego są zgodne albo bardzo bliskie oczekiwanym. Na przykład dla przytoczonego powyżej eksperymentu na stali X37CrMoV51 w strukturze zaobserwowano nieciągłą, ale spełniającą warunki grubości warstwę azotku γ' i w tym przypadku istnieje potrzeba zwiększenia ilości wzorców uczących sieć, aby otrzymać większą precyzję jej działania. W celu zwiększenia precyzji działania programu SimLPN badania trwają nadal, ale już w istniejącej formie z powodzeniem wykorzystywany on jest do planowania procesów technologicznych obrabianych detali.

Przykłady aplikacji

Poniżej zaprezentowano przykłady wykorzystania systemu SimLPN do przeprowadzenia procesów FineLPN na uniwersalnym piecu próżniowym w spółce HART-TECH.



Rys. 5. Przykład azotowanych wkladek form odlewniczych.



Rys. 6. Przykład azotowanych narzędzi do przeróbki plastycznej.

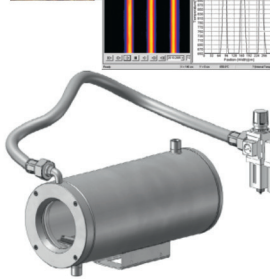
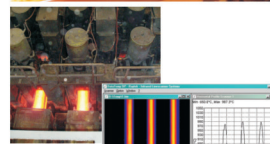
Podsumowanie

Azotowanie jest szeroko stosowaną metodą obróbki cieplno-chemicznej, pozwalającą wydatnie poprawić parametry użytkowe narzędzi, a tym samym również wydłużyć czas ich eksploatacji. Azotowanie niskociśnieniowe metodą FinelPN jest nową ciekawą alternatywą w obróbce elementów wykonanych ze stali narzędziowych, takich jak formy, matryce czy stemple, skracając czas trwania obróbki tych narzędzi oraz redukując liczbę urządzeń potrzebnych do jej przeprowadzenia. Powstały w wyniku realizacji opisanych prac system informatyczny SimLPN, jest doskonałym narzędziem do przewidywania struktury, a co za tym idzie właściwości warstw azotowanych na stalach narzędziowych w zależności od parametrów procesu. Stanowi on przykład modelowych działań wychodzących od badań podstawowych, a kończących się aplikacjami przemysłowym.

PIROMETRY SKANERY LINIOWE KAMERY TERMOWIZYJNE



-40...3000°C



PIROMETRY

Jedno i dwubarwowe, ze światłowodem lub bez. Pomiar przez wzierniki, zapylenie, w pobliżu silnych pól elektromagnetycznych czy w wysokiej temperaturze otoczenia. Możliwość podłączenia kilku głowic do jednego przetwornika (seria MI3) z Profibusem, RS485 lub Modbusem. Także do pomiaru płomienia i pracy w strefie Ex.

SKANERY LINIOWE

Pomiar temperatury do 1024 punktów w jednej linii. Częstotliwość do 150 linii/s. Oprogramowanie do kontroli procesów przemysłowych. Zaawansowane funkcje alarmowe i kontroli procesu. Serwer http i OPC. Praca w temperaturze otoczenia do 1090 °C w specjalnej obudowie.

KAMERY TERMOWIZYJNE

Kamery termowizyjne o zakresach spektralnych od 0,4 do 14 µm. Kontrola wizyjna procesów wysokotemperaturowych z opcją pomiaru temperatury do 2000 °C. Obudowa do pracy w otoczeniu do 400 °C. Różne obiektywy. Oprogramowanie producenta i biblioteki SDK.

Organizujemy prezentacje i testy oferowanych urządzeń u Klientów.
Dodatkowe informacje na www.irtech.pl

IRtech®

info@irtech.pl

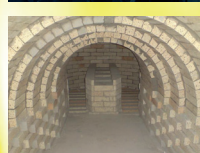
Termobudowa S.C.

Firma Termobudowa s.c. M.Lewandowski & T.Lewandowski jest firmą rodzinną z tradycjami. Pod nazwą Termobudowa s.c istnieje od grudnia 2005 roku, powstała na bazie firmy Z.M.C.I - J.R. Lewandowscy istniejącej od 1986 roku.

Firma nasza koncentruje się na świadczeniu wysokiej jakości usług w zakresie budowy i remontów wymurówek i wykładzin izolacyjnych, ogniotrwałych i żaroodpornych:

- kotłów energetycznych
- kotłów ciepłowniczych
- pieców cynkowniczych
- pieców komorowych
- pieców przelotowych
- pieców tunelowych
- pieców wielostrefowych

Ponadto wykonujemy izolacje termiczne ciepło i zimnochronne instalacji energetycznych, ciepłowniczych, hutniczych, rurociągów. Dewizą naszej firmy jest zadowolenie Klientów z dobrego i terminowego wykonania naszych usług przy zachowaniu najwyższych standardów bhp i ochrony środowiska. W tym celu nasi pracownicy posiadają wysokie kwalifikacje i legitymują się niezbędnymi uprawnieniami.



TERMOBUDOWA s.c. Marek Lewandowski & Tomasz Lewandowski
43-600 JAWORZNO, ul. Bursztynowa 1/8
REGON:240244584
N.I.P.: 632-189-73-62
tel./fax: (32) 751 10 29
kom. 502 203 948, 502 150 855

www.termobudowa.com.pl

