

# Study of the effect of gas nitriding parameters of ductile cast iron using the ZeroFlow method on the kinetics of nitride layer growth

## Badanie wpływu parametrów azotowania gazowego żeliwa sferoidalnego metodą ZeroFlow na kinetykę wzrostu warstw azotkowych



DOI: 10.15199/62.2026.6.1

Ductile Fe samples were subjected to controlled gas nitriding using the ZeroFlow method at 550°C, which was carried out in a semi-industrial furnace with a vertical retort, in a single-component NH<sub>3</sub> atmosphere, in 8 variants, varying the time (2, 4, 10, and 24 h) and the N<sub>2</sub> potential N<sub>p</sub> (1.0 and 3.6). The effect of these parameters on the growth kinetics, hardness, and phase structure of the diffusion layer was assessed. After 24 h of the process, the thickness of the Fe nitride comp. zone increased to 12 μm (for N<sub>p</sub> = 1.0) and 18 μm (for N<sub>p</sub> = 3.6). The max. hardness of the layer for both potential values was 500 HV0.05. It was found that the ZeroFlow method allows for precise shaping of the thickness and hardness of the modified zone of ductile Fe by selecting the atmosphere parameters. The effect of these parameters on the growth kinetics, hardness and phase structure of the diffusion layer was assessed.

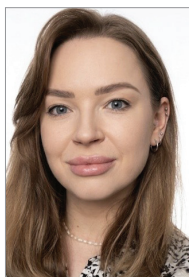
**Keywords:** nitriding, ZeroFlow, growth kinetics, ductile iron

Próbki żeliwa sferoidalnego poddano kontrolowanemu azotowaniu gazowemu metodą ZeroFlow w temp. 550°C. Azotowanie przeprowadzono w piecu półprzemysłowym z pionową retortą, w atmosferze jednoskładnikowej NH<sub>3</sub> w ośmiu wariantach, zmieniając czas (2, 4, 10 i 24 h) oraz potencjał azotowy N<sub>p</sub> (1,0 i 3,6). Badania miały na celu ocenę wpływu tych parametrów na kinetykę wzrostu oraz twardość i budowę fazową warstwy dyfuzyjnej. Po 24 h procesu grubość strefy związków azotków żelaza wzrosła do 12 μm (dla N<sub>p</sub> = 1,0) oraz 18 μm (dla N<sub>p</sub> = 3,6). Maksymalna twardość warstwy dla obu wartości potencjału wyniosła 500 HV0,05. Stwierdzono, że metoda ZeroFlow umożliwia precyzyjne kształtowanie grubości i twardości strefy modyfikowanej żeliwa sferoidalnego poprzez dobór parametrów atmosfery.

**Słowa kluczowe:** azotowanie, ZeroFlow, kinetyka wzrostu, żeliwo sferoidalne

Jedną z metod pozwalających na zmianę właściwości warstwy wierzchniej jest azotowanie. Jest to proces obróbki cieplno-chemicznej polegający na dyfuzyjnym nasyceniu warstwy wierzchniej stopów żelaza azotem. Odbywa się poprzez wygrzewanie elementu w ośrodku uwalniającym aktywne atomy azotu. W zależności od wymaganego efektu stosuje się azotowanie krótko- lub długookresowe, a finalna struktura warstwy zależy bezpośrednio od czasu trwania operacji przy stałej temperaturze<sup>1-4</sup>). Istnieje wiele metod wprowadzania azotu do warstwy wierzchniej, w związku z tym procesy te można podzielić na azotowanie plazmowe

(jarzeniowe), w złożach fluidalnych, próżniowe, azotowanie w proszkach, gazowe, jonowe i nagrzewanie laserowe<sup>5</sup>). Jednak obecnie najpowszechniej stosowaną metodą jest azotowanie dyfuzyjne, po raz pierwszy opisane w 1998 r.<sup>6-8</sup>). Dzięki temu procesowi możliwe jest uzyskanie nie tylko wyższej twardości, odporności na zużycie i wytrzymałości zmęczeniowej warstw elementów wykonanych ze stopów żelaza, ale także lepszej odporności na korozję<sup>1,2,4</sup>). Azotowaniu poddawane są różne elementy maszyn, które powinny charakteryzować się twardą i odporną na ścieranie warstwą<sup>9</sup>). Należy pamiętać, że pewne różnice w kinetyce



Mgr inż. Marika TYLKOWSKA (ORCID: 0000-0003-4040-8628) w roku 2019 ukończyła studia na kierunku transport (specjalność transport drogowy) na Politechnice Poznańskiej. W latach 2019–2021 uczestniczyła w projekcie badawczym realizowanym na Politechnice Poznańskiej pt. „Opracowanie nowej generacji pieców do azotowania z technologią ZeroFlow Feedback Control”. Obecnie jest zatrudniona na stanowisku asystenta w macierzystej uczelni i realizuje pracę doktorską. Specjalność – azotowanie dyfuzyjne.



Dr hab. inż. Marta PACZKOWSKA (ORCID: 0000-0002-6240-4356) ukończyła studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskała w 2008 r., a stopień doktora habilitowanego w 2017 r. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Tribologicznego oraz Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego. Pracuje w Instytucie Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych PP. Jest autorem ponad 100 publikacji naukowych i 6 patentów. Specjalność – inżynieria powierzchni.

**\* Adres do korespondencji:**

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska, e-mail: marta.paczkowska@put.poznan.pl

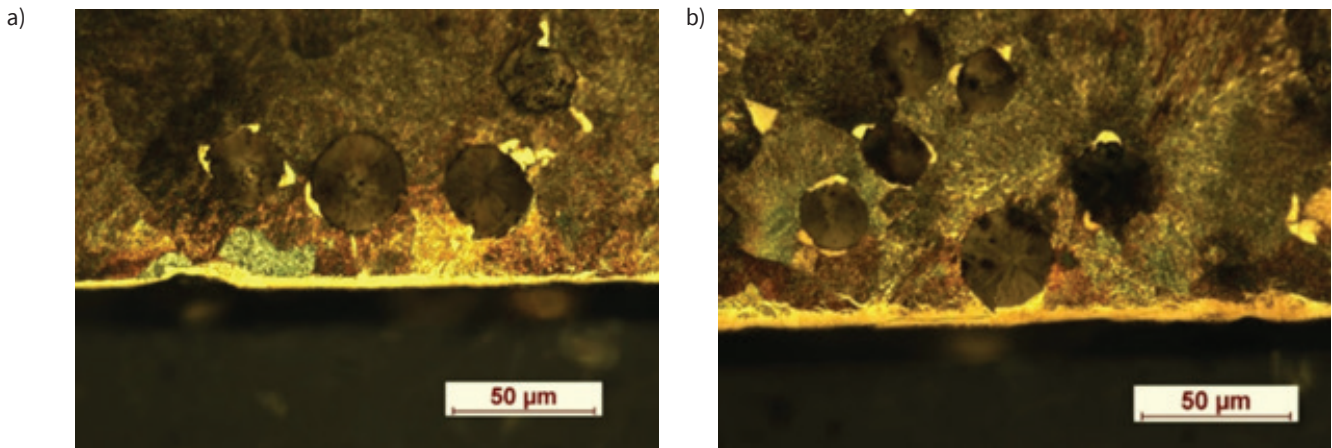


Fig. 1. Microstructure of the surface layer of ductile cast iron after nitriding for 2 h at a potential of a) 1.0 and b) 3.6; microsection etched with 2–3% nital

Rys. 1. Mikrostruktura warstwy wierzchniej żeliwa sferoidalnego po azotowaniu w czasie 2 h przy potencjale azotowym atmosfery a) 1,0 oraz b) 3,6; zgląd trawiony 2–3-proc. nitałem

wzrostu ich warstwy dyfuzyjnej dla różnych gatunków stopów żelaza mogą być znaczące. Dlatego prognozowanie grubości warstwy dyfuzyjnej uzyskanej za pomocą metody ZeroFlow wymaga zbadania kinetyki wzrostu tej warstwy również dla żeliw.

Proces azotowania ZeroFlow to nowoczesna metoda azotowania gazowego, która została opracowana na Politechnice Poznańskiej. W przeciwieństwie do konwencjonalnego azotowania metoda ZeroFlow umożliwia precyzyjną kontrolę kinetyki wzrostu warstwy. Efekt ten osiąga się poprzez regulację składu chemicznego atmosfery (i tym samym potencjału azotowego) w retorcie pieca. Kluczowym wyróżnikiem tej metody jest okresowe, całkowite odcinanie dopływu amoniaku (zmniejszenie natężenia przepływu do zera). Taki sposób sterowania procesem znacznie ułatwia jego stabilizację<sup>10, 11</sup>). Proces ten prowadzony jest wyłącznie za pomocą amoniaku, dlatego kluczowe znaczenie ma zrozumienie zasad regulowanego azotowania gazowego w takiej atmosferze. W procesach tych kontroli podlegają 3 parametry: temperatura, czas i potencjał azotowy. Ten ostatni wynika bezpośrednio ze składu chemicznego atmosfery w komorze pieca. Skład gazu jest na bieżąco monitorowany przez analizator, a na podstawie jego odczytów system koryguje dopływ gazów azotujących. Taka regulacja pozwala uzyskać warstwę o ściśle zdefiniowanej budowie fazowej. Współczesne procesy azotowania gazowego opierają się głównie na atmosferach dwuskładnikowych, w postaci mieszanin  $\text{NH}_3 + \text{NH}_{3\text{zdys}}$  lub  $\text{NH}_3 + \text{N}_2$ . Wprowadzenie do amoniaku drugiego gazu (zdsocjowanego amoniaku lub azotu cząsteczkowego) obniża podaż azotu atomowego na

powierzchni stopów żelaza. Ogranicza to wzrost, a nawet powoduje redukcję porowatych i kruchych stref  $\varepsilon$  lub  $\varepsilon + \gamma'$ . Wykorzystanie wyłącznie amoniaku w procesie azotowania nadaje mu charakter równowagowy, co pozwala na niezwykle precyzyjne kształtowanie struktury fazowej warstwy wierzchniej. Proces ten jest ekonomiczny pod względem zużycia gazów roboczych i ekologiczny ze względu na małą emisję gazów poprocesowych do środowiska<sup>1, 2, 12</sup>).

Celem badań była ocena wpływu azotowania żeliwa sferoidalnego metodą ZeroFlow na kinetykę wzrostu jego warstwy dyfuzyjnej, a także na budowę i twardość uzyskanej warstwy, co jest kluczowe dla zwiększania trwałości maszyn i urządzeń wykonanych z tego żeliwa. Do badań wybrano żeliwo sferoidalne, ponieważ jest ono powszechnie stosowane w takich gałęziach przemysłu, jak motoryzacja i rolnictwo. Odpowiednie właściwości mechaniczne, dobra skrawalność, niższy koszt wytworzenia, mniejsza gęstość (w porównaniu z innymi stopami żelaza, takimi jak stale) oraz zdolność tłumienia drgań sprawiają, że materiał ten doskonale nadaje się na części środków transportu, np. wałki rozrzędu i wały korbowe. Większość właściwości mechanicznych tego żeliwa jest zbliżona do poziomów osiąganych przez staliwa węglowe (z tego powodu odlewy z tego żeliwa zastępują odlewy stalowe, a nawet stalowe kute). Wiele elementów maszyn podczas eksploatacji jest narażonych na intensywne zużycie tribologiczne (a nawet korozję w przypadku tarcz hamulcowych). Z tego powodu wymagane są odpowiednie właściwości warstwy wierzchniej. Jedną z metod umożliwiających uzyskanie takich właściwości jest azotowanie gazowe.



Mgr inż. Paulina ĆWIAN w roku 2019 ukończyła studia na kierunku transport (specjalność transport drogowy) na Politechnice Poznańskiej. W latach 2019–2021 uczestniczyła w projekcie badawczym realizowanym na Politechnice Poznańskiej pt. „Opracowanie nowej generacji pieców do azotowania z technologią ZeroFlow Feedback Control”. Obecnie jest zatrudniona na stanowisku specjalisty ds. planowania produkcji w firmie Kruś w Granowie.



Prof. dr hab. inż. Leszek MAŁDZIŃSKI (ORCID: 0000-0002-0549-3372) ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1976 r., a stopień doktora habilitowanego w 2002 r. Jest twórcą metody azotowania gazowego ZeroFlow wdrożonej w wielu krajach na świecie (Polsce, Anglii, RFN, Pakistanie, Indiach i Singapurze). Jest liderem projektów naukowych, autorem wielu publikacji naukowych oraz raportów. Specjalność – termodynamika i kinetyka gazowego azotowania stali.

## Część doświadczalna

### Materiały

Jako materiał badawczy wykorzystano żeliwo sferoidalne gatunku EN-GJS-600. Do badań przeznaczono 8 prostokątnych próbek o wymiarach  $5 \times 5 \times 10$  mm. Biorąc po uwagę fakt, że azotowanie dyfuzyjne nie jest obróbką selektywną (nie dotyczy tylko wybranego fragmentu obrabianego obiektu/próbki) i oddziałuje na całą powierzchnię próbki (z każdej jej strony), to analizując jej wpływ na warstwę wierzchnią w różnych miejscach, uzyskana informacja o mikrostrukturze i twardości jest wystarczająca.

### Metodyka badań

Próbki po wycięciu szlifowano papierem ściernym o gradacji 400 z obfitym chłodzeniem wodnym. Przed rozpoczęciem azotowania metodą ZeroFlow próbki dokładnie odłuszczone i umyte. Umożliwiło to usunięcie wszelkich zanieczyszczeń, które mogły znajdować się na badanych powierzchniach.

Obróbkę cieplno-chemiczną próbek z żeliwa sferoidalnego przeprowadzono w piecu półprzemysłowym z pionową retortą, znajdującym się na terenie Politechniki Poznańskiej.

Metoda ZeroFlow to proces azotowania regulowany wyłącznie za pomocą amoniaku, stanowiącego w tym przypadku atmosferę jednoskładnikową. Kontrola potencjału azotowego ( $N_p$ ) odbywa się poprzez modulację intensywności dopływu  $NH_3$  do retorty. W tym celu dopływ gazu jest okresowo redukowany do zera, co pozwala na precyzyjną kontrolę składu chemicznego atmosfery w retorcie pieca oraz stabilizację potencjału azotowego  $N_p$ . Potencjał azotowy  $N_p$  to iloraz ciśnień cząstkowych czynnych składników atmosfery  $NH_3$  i  $H_2$ . Ponieważ atomy azotu i wodoru (produkty dysocjacji amoniaku) dążą do szybkiej rekombinacji w stabilne cząsteczki dwuatomowe, atmosfera procesowa w retorcie pieca składa się z 3 głównych komponentów: gazu azotującego  $NH_3$ , gazu odazotowującego  $H_2$  (które są

składnikami czynnymi atmosfery) oraz obojętnego azotu cząsteczkowego  $N_2^{10-12}$ .

Metoda ZeroFlow, dzięki wykorzystaniu jednoskładnikowej atmosfery  $NH_3$  oraz regulacji natężenia jej dopływu do komory pieca, pozwala na precyzyjne kształtowanie właściwości warstwy wierzchniej. Kontrola ta opiera się na bezpośredniej zależności szybkości dysocjacji amoniaku od potencjału azotowego atmosfery  $N_p$ . Właściwy dobór tego parametru umożliwia projektowanie pożądanej budowy fazowej (strefy  $\alpha$ ,  $\gamma'$  i  $\epsilon$ ), a także uzyskanie wymaganej grubości oraz twardości poszczególnych stref materiału. Zależność między temperaturą, potencjałem  $N_p$ , składem fazowym i stężeniem azotu na powierzchni przedstawia zmodyfikowany przez L. Małdzińskiego wykres Lehrera w układzie  $T-N_p-N_{[Fe]}$ . Wynika z niego, że rozwój faz bogatszych w azot przy określonej temperaturze wymaga wyższych wartości  $N_p$ . W realiach przemysłowych potencjał ten jest wypadkową temperatury oraz natężenia dopływu  $NH_3$  (lub mieszanin  $NH_3 + NH_{3dys.}$  i  $NH_3 + N_2$ ) do retorty pieca, a jego wzrost wymusza bezpośrednie zwiększenie strumienia zasilającego amoniaku<sup>1, 2, 10, 12</sup>). Powstają one w najkrótszym możliwym czasie, a co za tym idzie, przy najniższym możliwym zużyciu energii. Warstwy formowane w ten sposób, w przeciwieństwie do metody tradycyjnej (czyli takiej, która stosuje atmosfery dwuskładnikowe i nie stosuje regulacji dopływu atmosfer), nie są kosztowne i czasochłonne dla różnych stopów żelaza. Mniejsze zużycie energii oraz gazów technicznych (przekładające się na mniejszą emisję gazów poprocesowych do atmosfery) ma wpływ na gospodarkę i ekologię. Na przykład badania azotowania kół do przekładni zębatych elektrowni wiatrowych wykazały, że zużycie  $NH_3$  w procesie ZeroFlow jest 5 razy mniejsze niż w azotowaniu klasycznym<sup>13</sup>.

Wszystkie procesy azotowania przeprowadzono w stałej temp.  $550^\circ C$ . Zastosowano aktywację powietrzem ( $350^\circ C$  przez 30 min). W badaniach zastosowano układ zmiennych parametrów, takich jak czas procesu (2, 4, 10 oraz 24 h) oraz

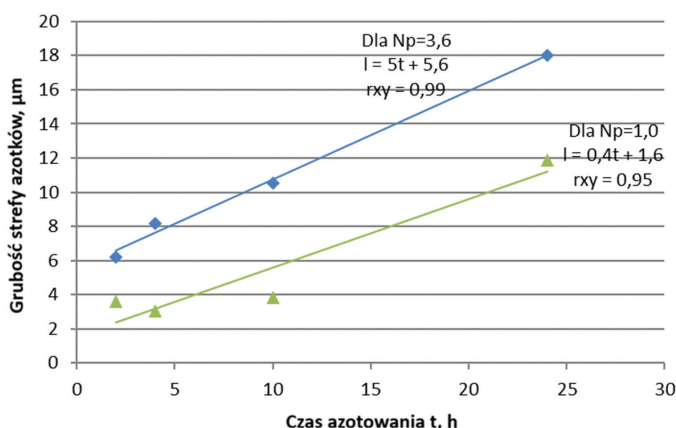


Fig. 2. Thickness of the iron nitride zone depending on the nitriding time at different nitrogen potentials

Rys. 2. Grubość strefy azotków żelaza w zależności od czasu azotowania przy różnych potencjałach azotowych

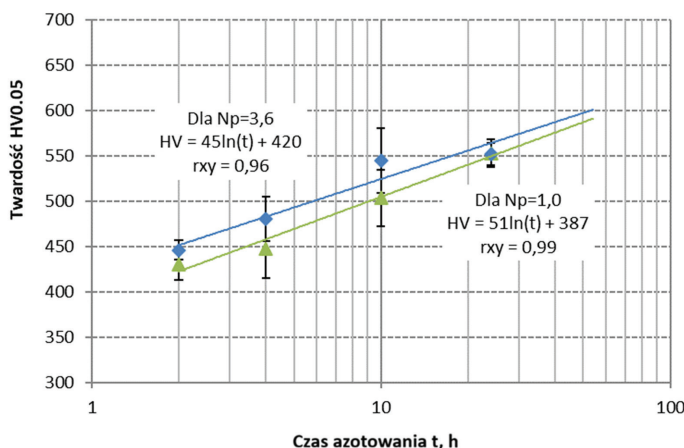


Fig. 3. Average hardness measured at a distance of approximately 0.02 mm from the surface for each variant

Rys. 3. Średnia twardość mierzona w odległości ok. 0,02 mm od powierzchni dla każdego wariantu

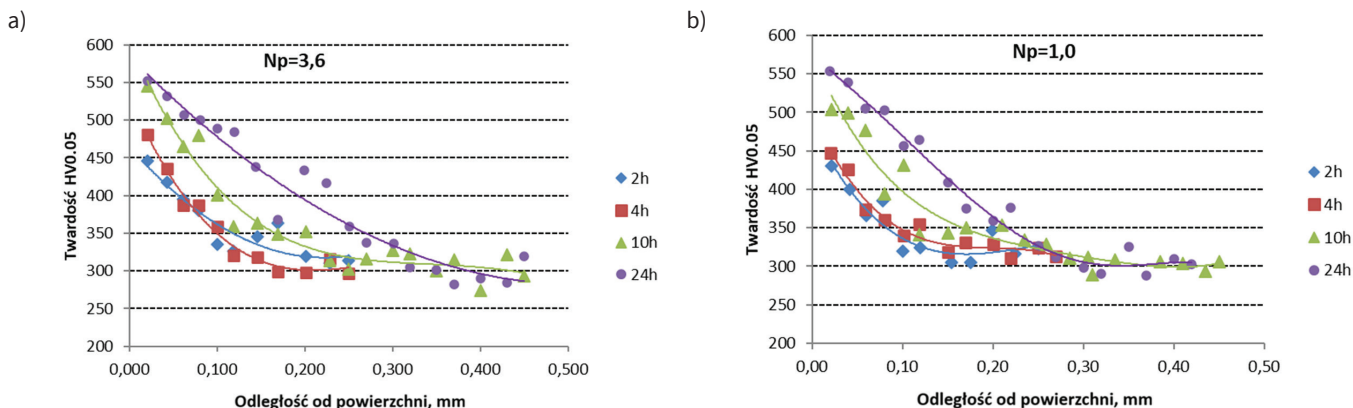


Fig. 4. Change in hardness from the surface to the core material of ductile cast iron after the process carried out at the potential: a) 1.0, b) 3.6

Rys. 4. Zmiana twardości od powierzchni do materiału rdzenia żeliwa sferoidalnego po procesie przeprowadzonym przy potencjale: a) 1,0, b) 3,6

potencjał azotowy  $N_p$  o wartościach 1,0 i 3,6. Wartości te, zostały dobrane na podstawie wcześniejszych doświadczeń autorów opierających się na azotowaniu różnych stopów żelaza, których efektem było uzyskanie oczekiwanej mikrostruktury i właściwości warstwy wierzchniej. Łącznie zrealizowano 8 wariantów technologicznych procesu.

Badania mikrostruktury i pomiary grubości warstw przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego Nikon Eclipse MA 200. Grubość strefy azotków żelaza, czyli tzw. warstwy białej, przeprowadzono w różnych miejscach obrobionej próbki w zależności od ukształtowania warstwy i w celu jej właściwego uśrednienia. Pomiar wykonano 15–30 razy. Samą grubość mierzono prostopadłe od powierzchni próbki prostopadłe w głąb, aż do widocznej granicy warstwy.

Pomiary twardości metodą Vickersa przeprowadzono za pomocą twardościomierza Presi HZ 50-4 z obciążeniem 0,49N. Twardość mierzono na przekroju od powierzchni próbki w kierunku rdzenia, uzyskując w ten sposób informację o zmianie twardości w tym zakresie. Na każdej próbce wykonano 4 rozkłady twardości, na podstawie których wykonano odpowiednie porównanie i uśrednienie wyniku twardości.

## Wyniki badań i ich omówienie

Dla wszystkich wariantów azotowania utworzyła się strefa azotków. Poniżej tej strefy widoczna była strefa dyfuzyjna składająca się głównie z perlitu (z niewielką ilością ferrytu) z grafitem sferoidalnym. Przykłady mikrostruktury warstw wierzchnich powstałych po 2 h procesu z zastosowaniem potencjału 1,0 przedstawiono na rys. 1. Dla każdego wariantu wyznaczono grubość strefy azotku żelaza (tzw. białej warstwy), a wartości średnie przedstawiono na rys. 2. Średnia grubość warstwy w strefie związków azotku żelaza wzrastała o ok. 2  $\mu\text{m}$  między 2. a 4. godziną procesu, podobnie jak między 4. a 10. godziną. Natomiast między godziną 10. procesu a dobą biała warstwa wzrosła o ok. 8  $\mu\text{m}$ . Różnica w grubości strefy azotku żelaza była widoczna między różnymi zastosowanymi wartościami potencjału azotowego atmosfery 1,0 i 3,6.

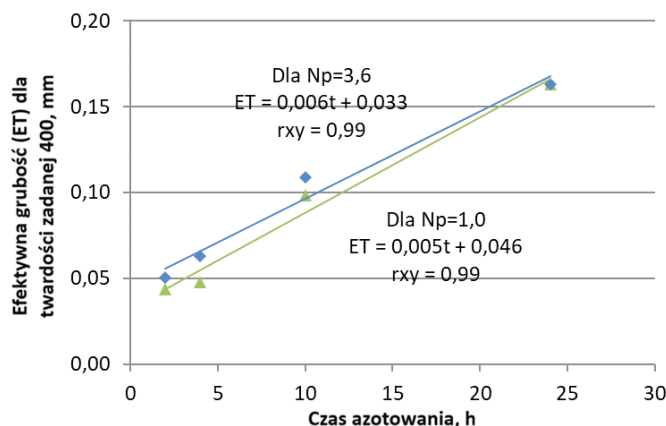


Fig. 5. Effective thickness (ET) at a given hardness value of 400 HVO.05

Rys. 5. Efektywna grubość (ET) przy zadanej wartości twardości 400 HVO,05

Generalnie głębokość warstwy wzrastała wraz z czasem azotowania. W przypadku potencjału azotowego atmosfery 3,6 głębokość ta była większa niż w przypadku zastosowania niższego potencjału azotowego atmosfery. Prędkość wzrostu białej warstwy wynosiła ponad 0,4  $\mu\text{m}/\text{h}$  dla potencjału azotowania 1,0 i ponad 0,5  $\mu\text{m}/\text{h}$  dla 3,6 (biorąc pod uwagę punkt odniesienia jako drugą godzinę azotowania).

Badania twardości wykazały zwiększenie twardości warstwy wierzchniej żeliwa po procesie azotowania. Średnią twardość oszacowano w odległości ok. 0,02 mm od powierzchni dla każdego wariantu (rys. 3). Zmiany twardości były dość zbliżone dla obu wartości potencjału azotowego atmosfery i osiągnęły ok. 550 HV0,05 po 24 h. Prędkość wzrostu twardości (w pobliżu powierzchni) wynosiła blisko 6 HV/h dla obu potencjałów azotowania. Na podstawie zmiany twardości (rys. 4) obliczono grubość efektywną przy zadanej wartości twardości równej 400 HV0,05 (rys. 5). Pomiędzy 2. a 4. godziną azotowania wzrost grubości efektywnej był bardzo niewielki, natomiast między 4. a 10. godziną obserwowano duży wzrost wartości. Największy wzrost grubości efektywnej nastąpił między godziną 10. a dobą azotowania (o ok. 25  $\mu\text{m}$ ). Wynika z tego, że wartość parametru czasu procesu azotowania jest wartością mającą największy wpływ na twardość uzyskanej zmodyfikowanej warstwy wierzchniej. Potencjał azotowy

ma znaczenie w przypadku głębokości modyfikowanej warstwy, ale wydaje się, że nie można uzyskać znacznego wzrostu twardości poprzez zmianę potencjału azotowego atmosfery z 1,0 na 3,6.

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że na wartość efektywnej grubości i poprawę twardości badanego materiału wpływa przede wszystkim czas procesu. Po wszystkich wariantach azotowania utworzyła się strefa azotków, a poniżej widoczna była strefa dyfuzyjna składająca się głównie z perlitu (z niewielką ilością ferrytu) z grafitem sferoidalnym. Głębokość zmodyfikowanej warstwy powierzchniowej zwiększała się wraz z czasem azotowania. Średnia grubość warstwy strefy związków azotku żelaza wzrastała o ok. 2  $\mu\text{m}$  między 2. a 4. godziną, podobnie jak między 4. a 10. godziną. Różnica grubości strefy azotku żelaza widoczna była między różnymi wartościami potencjału azotowego atmosfery 1,0 i 3,6. Po 24 h procesu możliwe było osiągnięcie największej twardości warstwy powierzchniowej. Zmiany twardości były dość zbliżone dla obu wartości potencjału azotowego atmosfery i osiągnęły ok. 550 HV<sub>0,05</sub> po 24 h. Największy wzrost efektywnej wartości grubości (o ok. 25  $\mu\text{m}$ ) nastąpił między 10. godziną a dobą azotowania.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że kluczowym czynnikiem decydującym o twardości zmodyfikowanej warstwy wierzchniej jest czas trwania procesu azotowania. W badanych zakresach nie stwierdzono wpływu potencjału azotowego na ten parametr. Jednak potencjał azotowy odgrywa istotną rolę w kształtowaniu głębokości

warstwy; wykazano, że podwyższenie jego wartości z 1,0 do 3,6 nie prowadzi do zauważalnego przyrostu twardości powierzchniowej.

Badania wykazały, że grubość, jak i twardość modyfikowanej warstwy wierzchniej żeliwa sferoidalnego można kontrolować za pomocą doboru parametrów azotowania metodą ZeroFlow. Warto zaznaczyć, że metoda ZeroFlow, opracowana pod koniec ubiegłego wieku, jest wciąż innowacyjną odmianą azotowania gazowego i pozwala na znaczne oszczędności przeprowadzania takiego procesu, a także jest znacząco mniej szkodliwa dla środowiska niż klasyczne metody azotowania gazowego.

Otrzymano: 07-04-2026

Zrecenzowano: 20-04-2026

Zaakceptowano: 08-06-2026

Opublikowano: 18-06-2026

## LITERATURA

- [1] L. Małdziński, *Heat Treat. Progress* 2007, **7**, nr 5, 1.
- [2] L. Małdziński, J. Tacikowski, *Harerei Technische-Mitteilungen* 2006, **61**, nr 6, 6.
- [3] T. Christiansen, M.A.J. Somers, *Surf. Eng.* 2025, **21**, nr 5–6, 445.
- [4] S. Fryska, M. Wypych, P. Kochmański, J. Baranowska, *Metals* 2026, **16**, nr 1, 9.
- [5] M. Paczkowska, *Inż. Powierzchni* 2013, nr 2, 75.
- [6] L. Małdziński, J. Tacikowski, *Inż. Powierzchni* 1998, nr 2, 3.
- [7] L. Małdziński, J. Tacikowski, *Mater. Konf. VIII Seminarium Seco/Warwick: Nowoczesne trendy w obróbce cieplnej*, 23–24.09.2004 r.
- [8] P. Schaa, F. Yang, D. Höche, [w:] *Comprehensive materials processing* (red. S. Hashmi), Elsevier, Oxford 2014.
- [9] L. Dobrzański, *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [10] A. Hoffman, K. Ostrowska, P. Okoniewicz, J. Kowalska, L. Małdziński, J. Tacikowski, *Inż. Powierzchni* 2014, nr 2, 9.
- [11] J. Kowalska, *Autobusy* 2015, **16**, nr 1–2, 197.
- [12] L. Małdziński, *Zesz. Nauk. Politech. Poznańskiej* 2011, **56**, 189.
- [13] L. Małdziński, K. Ostrowska, P. Okoniewicz, *Obróbka Plast. Metali* 2014, **25**, nr 3, 169.

**40 punktów MNiSW**  
Journal Impact Factor: **0,4**

**PUBLIKUJ  
ODKRYWAJ  
INSPIRUJ**

The image shows three promotional posters for industrial products. The first poster is for GALVAND PARTNERS, featuring SIEBEC technology and filtration systems for oils and coolants. The second poster is for BELSI, advertising a regeneration process for industrial equipment. The third poster is for Lerabilt® 268 + Leraplex® 63, a system for low-temperature desalination. Each poster includes technical details and contact information.