

mgr inż. Zbigniew ŁATAŚ *
dr inż. Tadeusz ŻÓŁCIAK*
dr hab. inż. Jerzy MICHAŁSKI *
mgr inż. Piotr WACH *
dr inż. Andrzej DĘBSKI **
* Instytut Mechaniki Precyzyjnej
** Wojskowa Akademia Techniczna

AZOTOWANIE LUF DO BRONI MAŁOKALIBROWEJ

Streszczenie: W IMP opracowano i prowadzi się nadal badania nad zastosowaniem technologii obróbek cieplno – chemicznych dla wyeliminowania szkodliwej dla środowiska metody chromowania. Publikacja dotyczy opracowania i sprawdzenia skuteczności metody fluidalno-gazowego węgloazotowania i regulowanego azotowania gazowego długich luf o małym kalibrze od 5,56 mm do 12,5 mm. W artykule przedstawiono urządzenia i technologię oraz sposób wprowadzenia atmosfery do azotowania/węgloazotowania przewodu próbki - lufy i luf w zakresie małych średnic od 5,0 do 12 mm i długości do 500 mm. Efekty technologiczne podano w oparciu o fragment luf z zaznaczonymi badanymi przekrojami przewodu i komory naboju, potwierdzone badaniami metaloznawczymi przed i po próbach trwałości w ostrzale 1000 szt. amunicji. Proponowane zmiany wymagają zastąpieniu stali dotychczas stosowanych na lufy gatunkami bardziej podatnymi na obróbkę cieplną i cieplno-chemiczną oraz o podwyższonej odporności na szoki cieplne, co przyniesie realne korzyści zarówno poprzez podwyższenie walorów bojowych broni w zakresie trwałości i celności, a także poprawi konkurencyjność wyrobów krajowego producenta. Technologie można będzie zastosować również do innych części uzbrojenia, w tym luf broni strzeleckiej o innym kalibrze, narażonych na działanie dynamicznego, impulsowego ciśnienia gazów, dużych obciążeń i wysokich temperatur oraz agresywnego środowiska czynników chemicznych powstających w wyniku spalania prochu. Równocześnie, zastosowanie ekologicznych obróbek cieplno - chemicznych umożliwi eliminację zanieczyszczeń, na które narażone jest środowisko naturalne, podczas tradycyjnych obróbek elektrochemicznych i w solach.

NITRIDING BARRELS FOR SMALL ARMS

Abstract: The Institute of Precision Mechanics was developed and carried out his research on application technology of thermo-chemical treatments for eliminating environmentally harmful methods for chrome plating. Publication relates to develop and test the effectiveness of the method of fluidized-regulated gas carbonitriding and nitriding long small-caliber gun barrels from 5.56 mm to 12.5 mm. The paper presents the equipment and technology and how to introduce the atmosphere into the nitriding / carbonitriding wire sample - Barrels and barrels for small diameters from 5.0 to 12 mm and a length of 500 mm. The effects of technology are based on a fragment of barrels of selected sections studied tube and the chamber, confirmed by metallographic tests before and after life testing at 1000 pieces of ammunition firing. The proposed changes require the replacement of steel barrels previously used for species more vulnerable to heat and thermo-chemical and increased resistance to thermal shock, which will bring real benefits, both by increasing the values of combat arms in terms of durability and accuracy, as well as improve the competitiveness of domestic producer . Technology can be applied also to other parts of weapons, including small arms barrels of different caliber, exposed to a dynamic pulse-pressure gases, high pressures and high temperatures and aggressive chemical environment resulting from the combustion of gunpowder. At the same time, the use of

organic treatments - heat will allow the elimination of chemical pollutants, which is exposed to the environment, while traditional treatments of electrochemical and salt.

1. Wprowadzenie

Celem badań Instytutu Mechaniki Precyzyjnej (IMP), a także badań Instytutu Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki, Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (ITU WAT) przy udziale Fabryki Broni w Radomiu (FB), jest określenie możliwości i celowości zastąpienia dotychczasowej stali i obróbki powierzchniowej luf broni strzeleckiej kalibru od 5,56 mm do 12,5 mm, przez inną stal lub stale i obróbkę powierzchniową, zwiększającą trwałość lufy lub także nadającą jej inne korzystne własności użytkowe.

Dotychczas lufy broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm i podobne, są w większości produkowane z niskostopowych stali konstrukcyjnych, podobnych do używanej do tego celu krajowej stali 30HN2MFA. Po wstępnej obróbce mechanicznej lufy z takich stali są ulepszone cieplnie do twardości w zakresie 25÷35 HRC, po czym są poddawane obróbce mechanicznej wykańczającej i elektrolitycznemu chromowaniu ich przewodu w celu zabezpieczenia ich przed korozją podczas długotrwałego, często wieloletniego składowania, a także w pewnym stopniu ochrony wnętrza lufy przed niszczeniem od gazów prochowych. W wyniku prac badawczych prowadzonych m.in. w WAT ustalono, iż głównymi przyczynami zużycia tak wykonanych luf jest zmęczenie cieplne intensyfikowane przemianami strukturalnymi stali podczas cyklicznego nagrzewania i oziębiania lufy, zwłaszcza przy równoczesnym działaniu ciśnienia w fazie nagrzewania (podczas spalania wybuchowego) oraz dyfuzja węgla i innych aktywnych pierwiastków pochodzących z gazów po spalaniu prochu, sprzyjająca nadtapianiu podłoża. Mimo, iż badane przewody luf były chromowane, to ulegały zniszczeniu głównie przez cykliczne zmiany objętości podłoża stalowego, powodujące pęknięcie i wykruszanie leżącej na nim warstwy chromu. Taki charakter zużycia występował praktycznie od samego początku eksploatacji i powodował stałe obniżanie prędkości wylotowej pocisków [4].

Ograniczona skuteczność procesu chromowania elektrolitycznego, jako sposobu ochrony przewodu lufy przed niszczeniem wskutek oddziaływania gazów prochowych oraz nieprzyjemność tego procesu dla środowiska naturalnego spowodowały zainteresowanie przemysłu zbrojeniowego innymi możliwymi procesami technologicznymi.

Celem prowadzonych badań było m.in.: opracowanie i sprawdzenie skuteczności metody fluidalno-gazowego węgloazotowania i regulowanego azotowania gazowego długich luf o małym kalibrze od 5,56 mm do 12,5 mm.

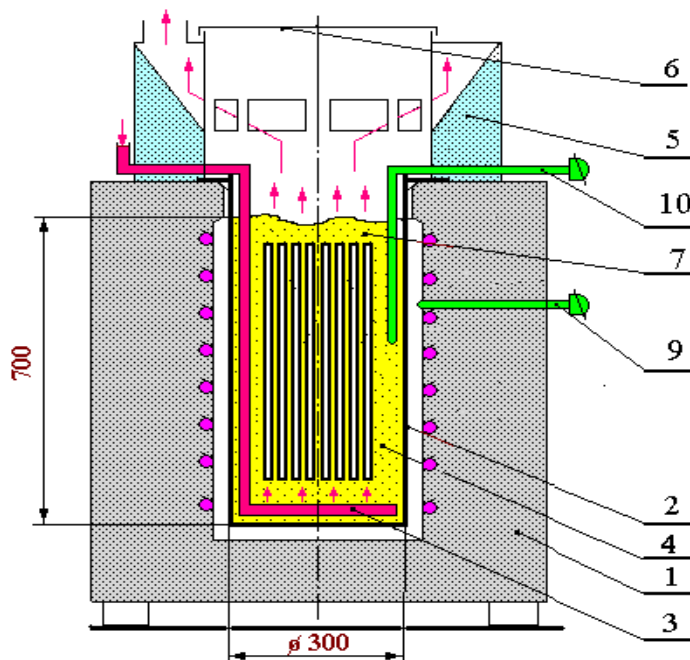
2. Węgloazotowanie fluidalno-gazowe

2.1. Stanowisko do fluidalno-gazowej obróbki cieplno-chemicznej

W celu umożliwienia prawidłowego przepływu gazowej atmosfery azotującej lub węgloazotującej przez cienki i długi przewód obrabianej lufy opracowano metodę fluidalno-gazową, która zgłoszona została do opatentowania i wykorzystano ją w niniejszej pracy [6].

Zbudowano stanowisko umożliwiające przeprowadzenie procesów azotowania i węgloazotowania. W tym celu adaptowany został piec fluidalny IMP typu FP-700 wyposażony w retortę o wysokości 900 mm i średnicy 300 mm (rys. 1). Jako materiał złoza wykorzystano elektrokorund.

Aby umożliwić regulację gazów na wlocie do pieca zaprojektowano i wykonano szafkę gazową SG1-05, do budowy której wykorzystano masowe regulatory przepływu. Każdy regulator wyposażony jest w lokalny wyświetlacz aktualnego natężenia przepływu, które zadawane jest potencjometrem na panelu sterującym. Na panelu sterującym umieszczone są również wyłączniki przepływu do poszczególnych gazów.



Rys. 1. Schemat pieca fluidalnego FP-700

1 - obudowa pieca, 2- retorta, 3- dystrybutor atmosfery, 4, 7- złoża fluidalne, 5 – nadstawka retorty z kierownicą atmosfery, 6- pokrywa, 9, 10 - termoelementy.

2.2. Procesy węglazotowania fluidalno-gazowego i właściwości warstw

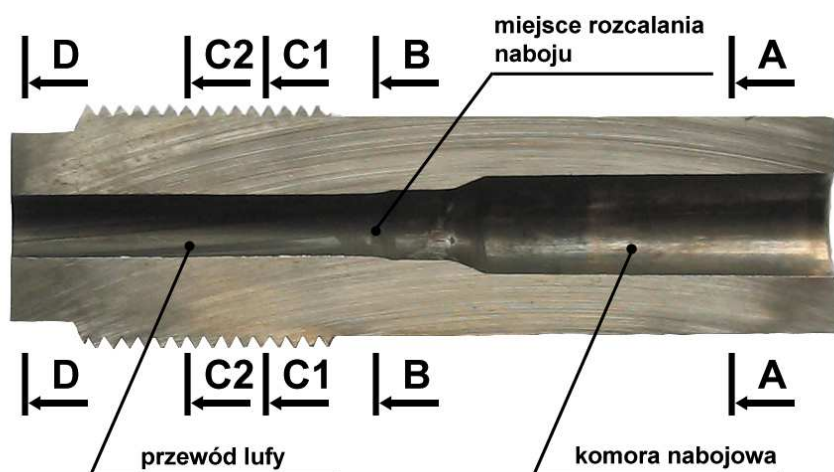
Lufy i lufy-próbki wykonane ze stali 38HMJ, przed obróbką cieplno – chemiczną poddano ulepszeniu cieplnemu i wymrożeniu. Parametry procesu fluidalnego przedstawiono w tabeli 1. Mikrostruktury przewodów luf po próbach trwałości - ostrzale 1000 szt. amunicji, pokazano na rysunkach 3 i 5. Próby węglazotowania realizowano z wykorzystaniem zaprojektowanego oprzyrządowania, składającego się między innymi z kapturków (zamocowywanych na końcach próbek) z umieszczonymi filtrami na stykach wlotu i wylotu z próbki - lufy. Zmiany średnic wlotu i wylotu w kapturkach miały na celu ustalenie optymalnego natężenia przepływu atmosfery roboczej, zapewniającego uzyskanie równomiernej grubości warstwy węglazotowanej na całej długości próbki – lufy [3].

Badania mikroskopowe przebiegu pęknięć w przewodach luf, zdjęcia struktury oraz rozkłady twardości wykonywano na zgładach próbek wyciętych z przewodu luf według przekrojów zaznaczonych na rysunku 2.

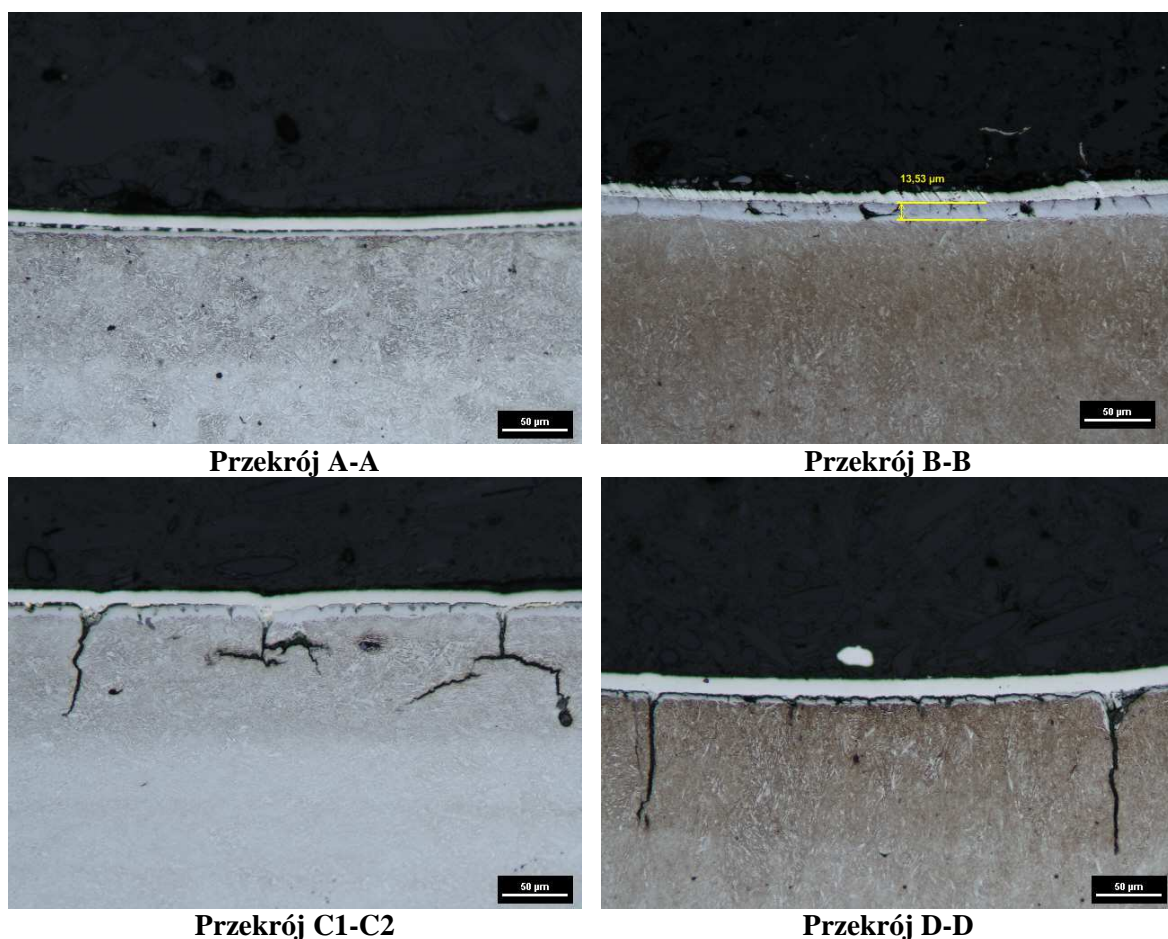
Tabela 1. Parametry procesu węglazotowania fluidalnego.

Rodzaj procesu	Atmosfera	T[oC]	t [h]
Węglazotowanie	50% NH ₃ + 50% endogaz	570	4

Zgłady A, B, C2, D dotyczą przekrojów prostokątnych do osi przewodu, natomiast zgład C1-C2 jest przekrojem wzdłuż osi przewodu.



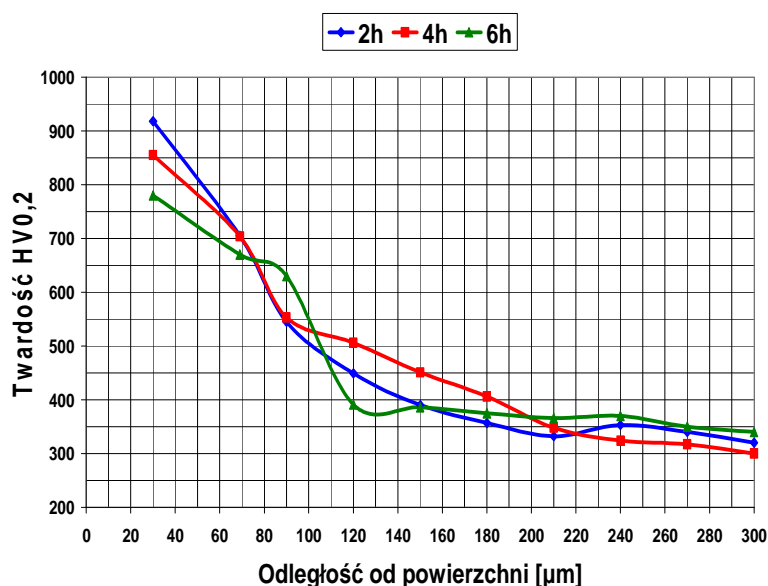
Rys. 2. Fragment lufy z zaznaczonymi badanymi przekrojami przewodu i komory nabojowej.



Rys. 3. Mikrostruktury charakterystycznych fragmentów lufy ze stali 38HMJ poddanej węglazotowaniu w atmosferze NH₃/endogaz. Pow. 200x.

Węglazotowana lufa ze stali 38HMJ po ostrzale 1000 szt. naboju, charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi uszkodzeniami w postaci drobnej siatki pęknięć od zmęczenia cieplnego. Zaobserwowano charakterystyczny dla warstw dyfuzyjnych przebieg pęknięć o kierunku wzdłużnym pod powierzchnią i dochodzące do nich prostopadle pęknięcia od zmęczenia cieplnego (rys.3). W strefie komory nabojowej i stożka przejściowego wystąpiła regularna siatka pęknięć w wyniku zmęczenia cieplnego ale bez śladów wykruszeń warstwy

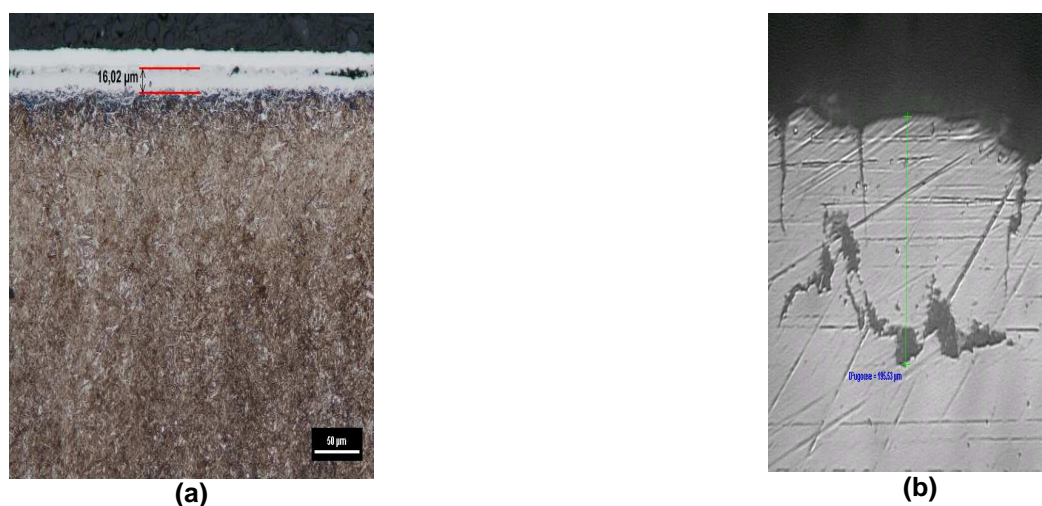
utwardzonej. Zużycie w strefie przewodu gazowego jest minimalne. Warstwa węglazotowana chroni dobrze strefy narażone na erozję od gorących gazów (rys. 3).



Rys. 4. Rozkłady twardości stali 38HMJ po węglazotowaniu w temperaturze 570°C w atmosferze NH_3 /endogaz

Na rysunku 4 pokazano rozkłady twardości warstw węglazotowanych uzyskanych na stali 38HMJ.

Na podstawie badań metalograficznych określono grubości warstw związków w badanych próbkach. Uzyskane grubości warstw azotków żelaza o strukturze $\epsilon+\gamma'$ wynosiły średnio 20 i 16 μm odpowiednio dla procesu węglazotowania (rys.5). Warstwy węglazotowane wykazują mniejszą głębokość utwardzenia w porównaniu z warstwami azotowanymi. Badania odporności na korozję przy natrysku obojętną mgłą solną wykazały wysoką odporność węglazotowanych stali 38HMJ.



Rys.5. Mikrostruktury przewodu węglazotowanej lufy ze stali 38HMJ w obszarze przekroju lufy (a) A-A wraz z pomiarem głębokości pęknięć (195,53 μm) w przekroju C1 – C2 (b).

3. Regulowane azotowanie gazowe

3.1. Stanowisko do regulowanego azotowania gazowego

Próby regulowanego azotowania gazowego luf-próbek przeprowadzono na nowoczesnym stanowisku Nx609 znajdującym się w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej. Regulowane azotowanie gazowe pozwala na całkowitą kontrolę i regulację atmosfery azotującej podczas nagrzewania i samego procesu w ustalonej temperaturze azotowania za pomocą potencjału azotowego (N_p) wyrażonego za pomocą równania (1):

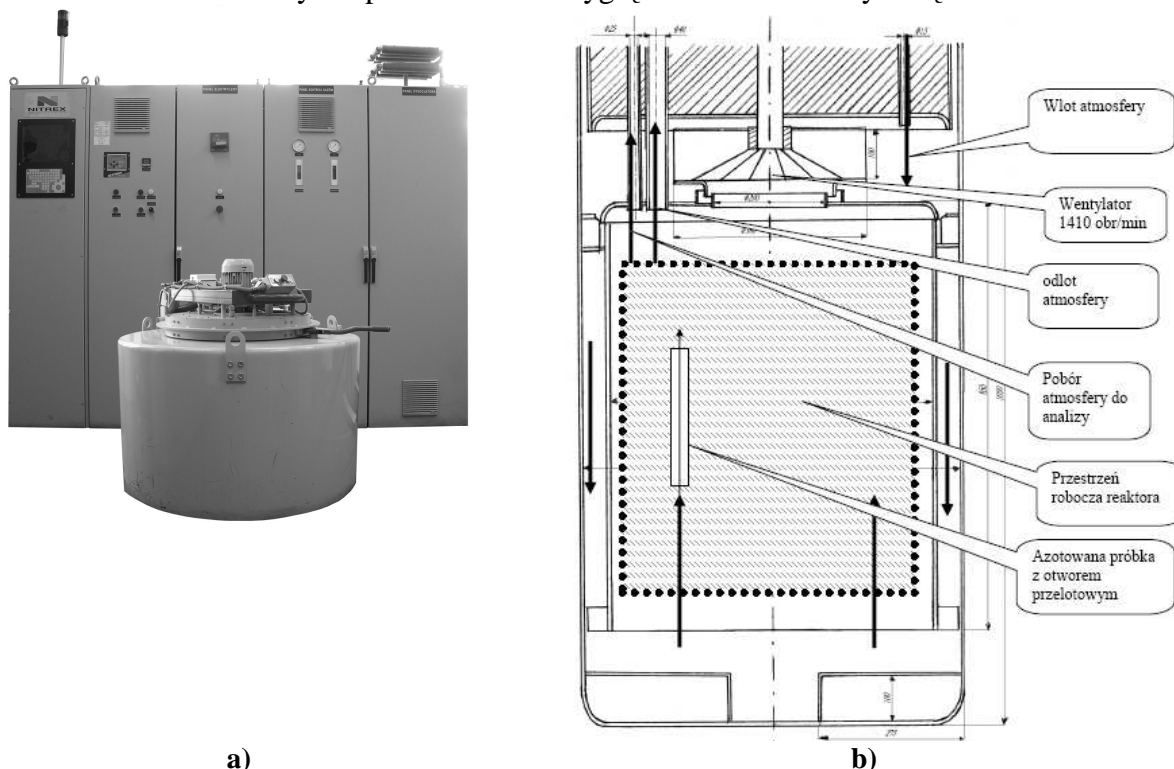
$$N_p = \frac{p_{NH_3}}{(p_{H_2})^{1,5}} \quad (1)$$

gdzie: p_{NH_3} - ciśnienie cząstkowe amoniaku,

p_{H_2} - ciśnienie cząstkowe wodoru.

Dzięki zastosowaniu całkowitej kontroli i regulacji komputerowej procesy regulowanego azotowania gazowego są procesami powtarzalnymi i pozwalają na otrzymywanie tych samych rezultatów dotyczących właściwości warstw azotowanych niezależnie od stopnia wypełnienia pieca podczas procesu azotowania.

Lufy-próbki wykonane ze stali 38HMJ rozłożono równomiernie w piecu w sposób swobodny pionowo w retortie. Na rys. 6 przedstawiono wygląd i schemat retorty urządzenia Nx609.



Rys. 6. Wygląd (a) i schemat retorty (b) urządzenia do regulowanego azotowania gazowego Nx609.

3.2. Procesy regulowanego azotowania gazowego i właściwości warstw azotowanych

Regulowane azotowanie gazowe w odróżnieniu od np. azotowania jarzeniowego stwarza mniejsze problemy przy azotowaniu wyrobów o złożonych i skomplikowanych kształtach

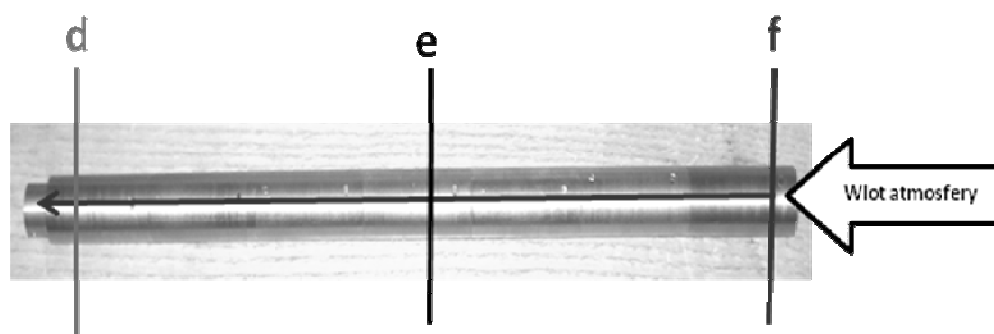
także z głębokimi otworami [7,8]. Celem prowadzonych badań było sprawdzenie skuteczności metody w odniesieniu do luf o małych średnicach przelotowych. Proces regulowanego azotowania gazowego miał na celu utworzenia warstw azotowanych o podobnej grubości przypowierzchniowej warstwy azotków żelaza jak warstwa węgloazotków uzyskana po procesie węgloazotowania.

Parametry procesu regulowanego azotowania gazowego luf-próbek wykonanych ze stali 38HMJ, podano w tabeli 2.

Tabela 2 Parametry procesu regulowanego azotowania gazowego luf-próbek wykonanych ze stali 38HMJ.

Rodzaj procesu	Atmosfera	T[oC]	t [h]	N _p
Azotowanie	100%NH ₃	560	6	3

Badania mikroskopowe struktur warstw azotowanych przeprowadzono na zglądach próbek wyciętych z przewodu luf-próbek według przekrojów zaznaczonych na rysunku 7.

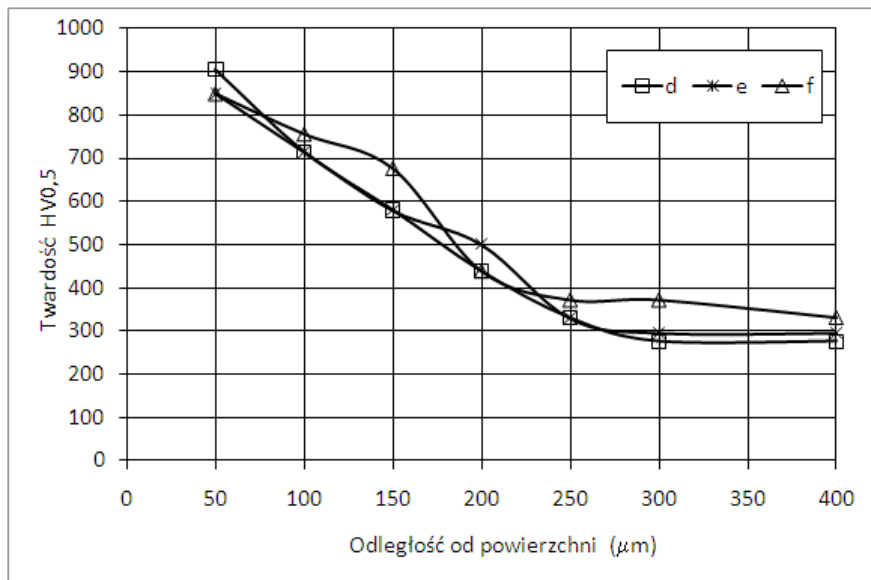


Rys. 7. Wygląd lufy-próbki z zaznaczonymi miejscami przecięcia i wykonania zglądów metalograficznych (d= 6 mm, l=500 mm).

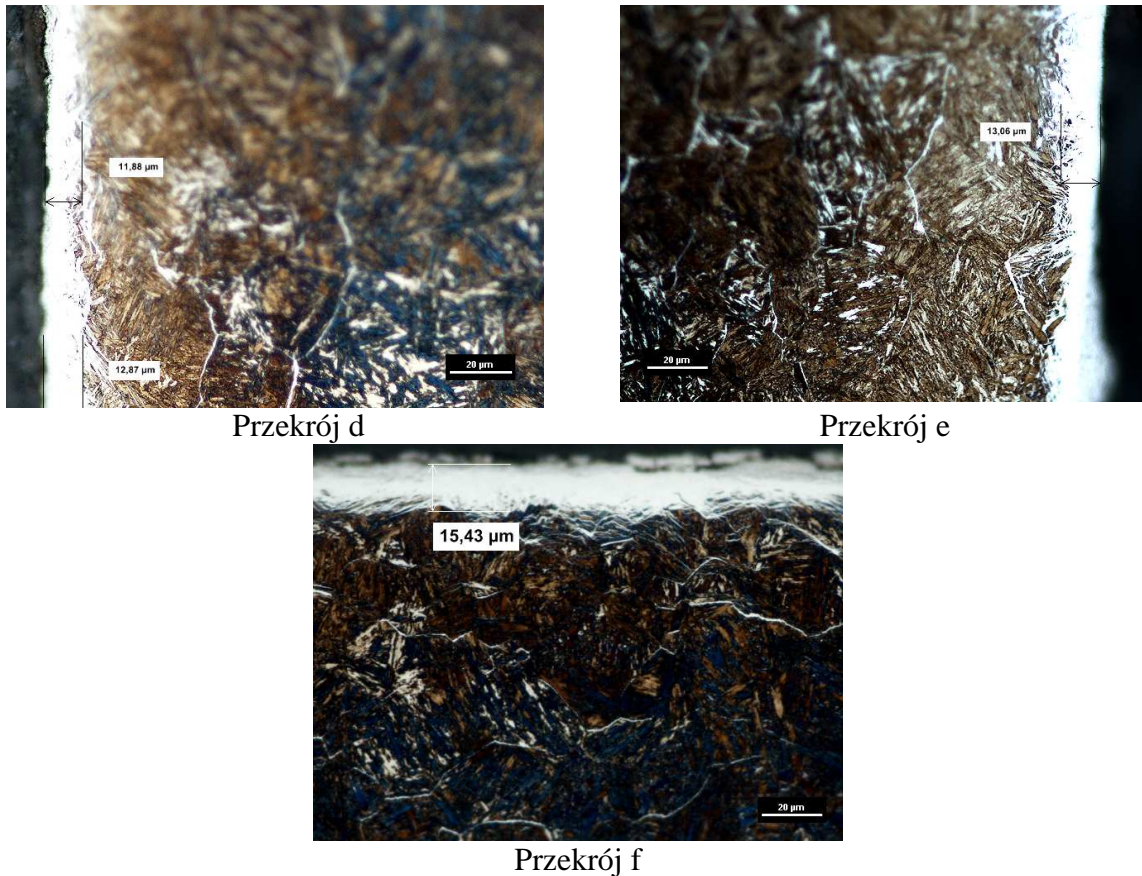
Na rys. 8 pokazano rozkłady twardości warstw azotowanych uzyskanych na stali 38HMJ na powierzchniach wewnętrznych lufy-próbki.

Na podstawie badań metalograficznych określono grubości warstw związków w badanych próbkach. Uzyskane grubości warstw azotków żelaza o strukturze $\epsilon+\gamma'$ wynosiły średnio 12 i 15 μm (rys.9).

Grubość warstwy azotków żelaza na powierzchniach wewnętrznych luf-próbek jest zbliżona na wlocie i wylocie atmosfery (rys. 9). Rozkłady twardości w otworach są zbliżone na wlocie atmosfery, w części środkowej i na wylocie (rys.8), grubość warstwy azotowanej wynosi około 220 μm . Badania użytkowe wytworzonych warstw azotowanych na lufach-próbkach są w trakcie badań eksploatacyjnych w WAT i FB.



Rys. 8. Rozkład twardości w warstwie azotowanej uzyskanej na wewnętrznych powierzchniach otworów przelotowych luf-próbek wykonanych ze stali 38HMJ, w odległości 10 mm – f, 225 mm – e, 450 mm – d od wlotu atmosfery azotującej.



Rys. 9. Mikrostruktury przewodu azotowanej lufy-próbki ze stali 38HMJ w obszarze przekroju d, e, f (patrz rys. 8). Pow. 500x.

4. Wnioski

- 1) Potwierdzono technologiczną skuteczność metody fluidalno – gazowego węglazotowania/azotowania oraz regulowanego azotowania gazowego dla obróbki cieplno – chemicznej wewnętrznych przewodów luf małokalibrowej broni strzeleckiej.
- 2) Opracowano specjalną metodę wprowadzania atmosfery azotującej w przewód lufy od 5,56 mm dla procesów fluidalno – gazowych oraz wymuszoną i kontrolowaną cyrkulację atmosfery azotującej w przemysłowym piecu do azotowania.
- 3) Uzyskane grubości warstw azotków w przewodzie lufy , rozkłady twardości na długości do 500 mm, właściwości użytkowe po ostrzale 1000 szt. amunicji, wskazują na parametry osiągnięte dotychczasowymi metodami chromowania galwanicznego i w solach.

Literatura

- [1] Rogalski Z., Łataś Z., i inni.: PB 0T00C 034. "Wymrażanie i azotowanie z wymrażaniem elementów broni strzeleckiej". 2005-2008
- [2] Z. Łataś, A. Ciski A. Jęczmyk: „Węglazotowanie i węglazotowanie z wymrażaniem luf karabinka szturmowego wz. 96 „Beryl”, Materiały XVI Konferencji Naukowo-Technicznej, Problemy Rozwoju, Produkcji i Eksploatacji Techniki Uzbrojenia, Rynia 2007r.
- [3] Żółciak T., Łataś Z., i inni.: PB 0T00B 021. „Próby zastosowania niekonwencjonalnych stali i technologii obróbki powierzchni dla podwyższenia trwałości luf broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm”. 2005-2008r.
- [4] Dębski A., i inni.: PB 0 T00B 008 06. „Materiałowo-technologiczne badania optymalizacyjne pod kątem zwiększenia trwałości luf broni strzeleckiej”. 2007-2009r.
- [5] Żółciak T., Łataś Z., Dębski A., i inni.: „Zastosowanie niekonwencjonalnych stali i technologii obróbki powierzchni dla podwyższenia trwałości luf broni strzeleckiej kalibru 5,56 mm” Biuletyn WAT nr 2 ; 2009/2.
- [6] Dębski A., Łataś Z., Żółciak T., i inni.: PBR 0025 RT009. „Badania materiałowo – technologiczne nad zastosowaniem nowych materiałów i ekologicznych obróbek typu multiplex w wytwarzaniu luf broni strzeleckiej”. 2009 – 2011r.
- [7] J. Michalski, P. Wach, J. Tacikowski, M. Betiuk, K. Burdyński, S. Kowalski, A. Nakonieczny: “Contemporary Industrial Application of Nitriding and Its Modifications”, Materials and Manufacturing Processes, nr 24, 2009, s. 855-858
- [8] J. Michalski, J. Tacikowski, P. Wach, J. Ratajski, G. Mońka, A. Nakonieczny: Azotowanie gazowe stali stopowych z i bez przypowierzchniowej warstwy azotków żelaza, Inżynieria Materiałowa, nr 4(176), 2010, s. 1100-1103

Projekt rozwojowy finansowany ze środków na naukę w latach 2009 – 2011