



Technologia produkcji łuski stalowej kalibru 30 mm w FPS Bolechowo*

Jarosław MARCISZ¹, Jerzy STĘPIEŃ¹, Jan MATERNIAK²,
Zdzisław KACZMAREK³, Dariusz SZAŁATA³,
Bogdan GARBARZ¹, Mariusz ADAMCZYK¹, Wojciech BURIAN¹

¹ Instytut Metalurgii Żelaza, ul. Karola Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

² Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

³ Fabryka Produkcji Specjalnej Sp. z o.o., ul. Obornicka 1, Bolechowo, 62-005 Owińska

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań mających na celu opracowanie technologii produkcji łusek stalowych do amunicji przeciwlotniczej kalibru 30 mm. Opracowane etapy technologii dotyczą:

- składu chemicznego i wytapiania stali oraz rodzaju wsadu do wytwarzania łusek do amunicji kalibru 30 mm,
- technologii obróbki plastycznej obejmującej parametry operacji kształtowania oraz zaprojektowania i wykonania narzędzi w celu wytworzenia modelowej partii łusek,
- parametrów obróbki cieplnej w celu uzyskania wymaganych właściwości technologicznych półwyrobów oraz właściwości mechanicznych i użytkowych wyrobów finalnych.

Obecnie w Polsce nie produkuje się wymienionego asortymentu wyrobu. Opracowanie zawiera wyniki badań wykonanych w ramach projektu rozwojowego pt. „Opracowanie podstaw technologii produkcji elementów stalowych amunicji kalibru 30 mm”.

Słowa kluczowe: amunicja kalibru 30 mm, łuska stalowa, technologia produkcji

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułusk, 6-8 października 2010 r.

1. WPROWADZENIE

Stalowa łuska do naboju kalibru 30 mm jest elementem charakteryzującym się zmiennymi właściwościami na długości oraz zmienną grubością ścianki w zakresie od ok. 0,7 mm do kilku mm. Istotnymi etapami projektowania technologii produkcji łuski są dobór gatunku stali, obróbka plastyczna oraz końcowa obróbka cieplna. Ze względu na małą grubość ścianki i wysoką tolerancję wymiarową wyrobu oraz technologię produkcji metodą wyciskania, wyciągania oraz kształtowania dna i szyjki stal powinna wykazywać dużą podatność na odkształcenie plastycznego na zimno. Materiał powinien zapewnić jednocześnie uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych oraz wymaganej twardości o różnych wartościach wzdłuż długości ścianki łuski. Końcowe właściwości wyrobu uzyskuje się po zastosowaniu ulepszenia cieplnego. Przy założeniu zastosowania do produkcji łuski stali niestopowej, co pozwala zmniejszyć koszty produkcji, właściwości wyrobu powinna zapewnić odpowiednia zawartość pierwiastków podstawowych, głównie C i Mn, natomiast ze względu na wymaganą podatność na obróbkę plastyczną należy ograniczyć zawartości domieszkowych pierwiastków niemetalicznych i metalicznych.

Niniejszy artykuł zawiera wyniki badań wykonane w ramach projektu rozwojowego dotyczące doboru materiału do produkcji łuski, technologii obróbki plastycznej oraz obróbki cieplnej w celu uzyskania wymaganych finalnych właściwości wyrobu. Finalne właściwości wyrobu dotyczą kształtu (m.in. równomierność grubości ścianki) oraz właściwości mechanicznych zmiennych na długości płaszczka łuski (R_m , A_5 , twardość).

2. OPRAWOWANIE TECHNOLOGII WYTWARZANIA ŁUSKI KALIBRU 30 mm

Podstawowe założenia dotyczące materiału do wytwarzania łuski opracowano na podstawie wymagań właściwości mechanicznych wyrobu finalnego oraz założonej technologii produkcji, m.in. z zastosowaniem obróbki plastycznej na zimno i ulepszenia cieplnego. Szczegółowe wymagania w zakresie właściwości łuski stalowej kalibru 30 mm przedstawiono w opracowaniach [1, 2].

2.1. Dobór materiału do produkcji łuski

Dla gatunku stali na łuski kalibru 30 mm założono uzyskanie twardości płaszczka łuski w zakresie 320-400 HV w wyrobie finalnym po ulepszeniu cieplnym.

Wymagania w zakresie podatności do kształtowania plastycznego na zimno określa m.in. możliwość zmiękczenia materiału poniżej 140 HB do wyciskania oraz uzyskanie ścianki o równomiernej na obwodzie łuski grubości poniżej 1 mm metodą wyciągania z wyżarzaniem międzyoperacyjnym.

Dodatkowo uwzględniono dostępność gatunku stali u krajowych wytwórców półwyrobów stalowych (wlewków ciągłych) oraz cenę. Wytypowano gatunek stali węglowej konstrukcyjnej do ulepszenia cieplnego o wymaganiach dla składu chemicznego w zakresie pierwiastków podstawowych podanych w tablicy 1. Materiał badań stanowi wytop laboratoryjny (oznaczenie C35L) oraz wytop przemysłowy (oznaczenie C35E).

Tabela 1. Skład chemiczny stali do produkcji łusek kalibru 30 mm (zakresy zawartości pierwiastków podstawowych)

Table 1. Chemical composition of steel for production of 30 mm cartridge cases (content range of main elements)

Analiza wytopowa, % masowe			
	C	Mn	Si
min	0,30	0,60	0,10
max	0,40	1,00	0,15

2.2. Technologia obróbki plastycznej

Technologia wytwarzania łuski kalibru 30 mm przewiduje jako materiał wyjściowy pręt o średnicy 46 mm cięty na odcinki o długości 32,7 mm metodą obróbki skrawaniem. W celu zapewnienia niezawodności procesu produkcyjnego, technologię wyciskania podzielono na dwie operacje. Pierwsza operacja to wyciskanie współbieżne o stosunkowo małym odkształceniu równym $\varphi=0,11$. Druga operacja wyciskania to równoczesne wyciskanie przeciwbieżne z rozpęczaniem średnicy zewnętrznej do wymiaru 56 mm. Odkształcenie w operacji wyciskania przeciwbieżnego z rozpęczaniem wynosi $\varphi=1,3$. Średnie naciski pod stemplem nie przekraczają 2000 MPa. Na rysunku 1 przedstawiono wypraskę po drugiej operacji wyciskania.

Dalsze operacje po wyżarzeniu zmiękcującym polegają na wyciąganiu ścianki. Zaprojektowano cztery operacje wyciągania ze średnim stopniem redukcji grubości ścianki równym $m_g=1,7$. Rysunek 2 przedstawia wypraskę łuski po trzeciej operacji wyciągania.

Po operacjach wyciągania ścianki, przeprowadza się prasowanie dna łuski dla uzyskania kryzy o większej średnicy od średnicy płaszczka. Ubijanie dna jest wykonywane na prasie kolanowej PK630. Łuskę po ubijaniu dna obrazuje rysunek 3.



Rys. 1. Wypraska łuski kalibru 30 mm po operacji wyciskania przeciwbieżnego
Fig. 1. Die stamping of 30 mm cartridge case after operation of indirect extrusion



Rys. 2. Łuska kalibru 30 mm po trzeciej operacji wyciągania ścianki
Fig. 2. 30 mm cartridge case after third operation of wall drawing



Rys. 3. Łuska kalibru 30 mm po operacji prasowania dna
Fig. 3. 30 mm cartridge case after operation of cartridge base pressing

Redukcja średnicy w obszarze szyjki jest bardzo trudnym zabiegiem z uwagi na małą grubość ścianki oraz znaczną wytrzymałość materiału łuski. W związku z tym przewidziano podział operacji na dwa zabiegi: kształtowanie całego płaszczka, a następnie po wyżarzaniu indukcyjnym kształtowanie obszaru szyjki. Na rysunku 4 przedstawiono łuskę po operacjach obróbki plastycznej oraz po obróbce skrawaniem.



Rys. 4. Łuska kalibru 30 mm po obróbce plastycznej oraz po obróbce skrawaniem

Fig. 4. 30 mm cartridge case after cold working and machining

2.3. Technologia obróbki cieplnej

Obróbka cieplna płaszczka łusek obejmuje hartowanie oraz odpuszczanie i ma zapewnić wymagane końcowe właściwości mechaniczne. Istotny z punktu widzenia użytkownika płaszcz łuski zgodnie z wstępnie przyjętymi wymaganiami charakteryzuje się twardością w zakresie 320-400 HV oraz wytrzymałością na rozciąganie powyżej 900 MPa i wydłużeniem A_5 powyżej 5%. Ze względu na seryjną produkcję założono, że hartowanie łusek będzie realizowane przez indukcyjne nagrzewanie strefowe i chłodzenie natryskowe wodne. W tym celu wykonano projekt i prototyp urządzenia do seryjnej obróbki cieplnej oraz wykonano próby nagrzewania indukcyjnego i chłodzenia natryskiem wodnym płaszczki łusek.

Na podstawie prób i przeprowadzonej analizy ustalono, że metoda nagrzewania indukcyjnego strefowego charakteryzuje się następującymi cechami istotnymi z punktu widzenia seryjnej produkcji, jakości powierzchni i powtarzalności parametrów procesu:

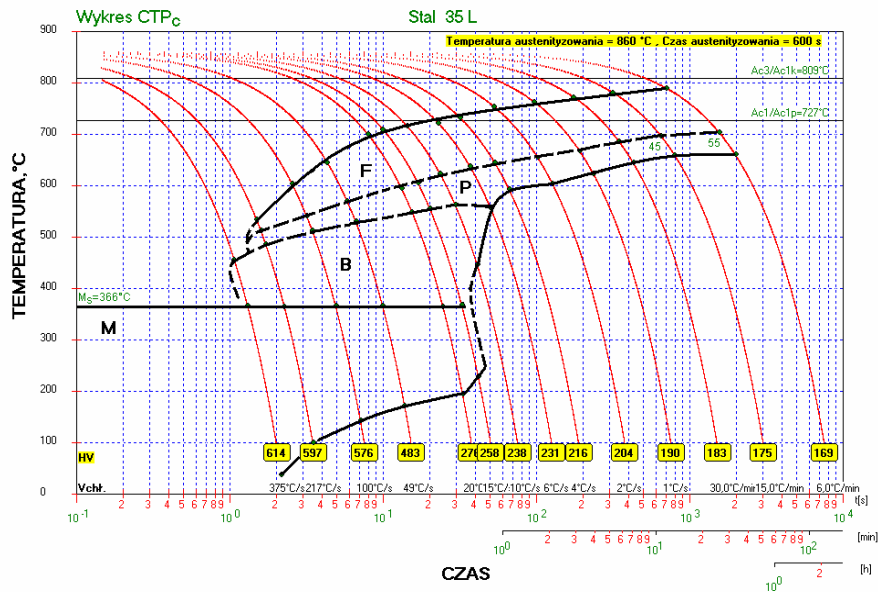
- umożliwia przeprowadzenie nagrzewania indukcyjnego i chłodzenia natryskiem wodnym na jednym stanowisku
- charakteryzuje się bardzo dużą wydajnością
- umożliwia zastosowanie całkowitej automatyzacji sterowania procesem uwzględniającej zmiany grubości ścianki na długości płaszczka łuski
- nie powoduje istotnej deformacji nagrzewanych łusek
- powoduje powstawanie małej ilości tlenków na powierzchni łuski.

Po hartowaniu łuski poddawane są procesowi odpuszczania w piecu komorowym.

2.3.1. Wyznaczenie wybranych charakterystyk materiałowych dla gatunku stali wytopywanego do produkcji łusek kalibru 30 mm

Ustalenie optymalnych parametrów obróbki cieplnej wymagało opracowania wykresów przemian fazowych zachodzących w trakcie ciągłego chłodzenia (CTPc) oraz krzywych hartowności.

Badania przeprowadzono za pomocą dylatometru DIL805A/D wyposażonego w głowicę pomiarową typu LVDT. Opracowany wykres przemian fazowych CTPc dla gatunku stali C35L zamieszczono na rys. 5.



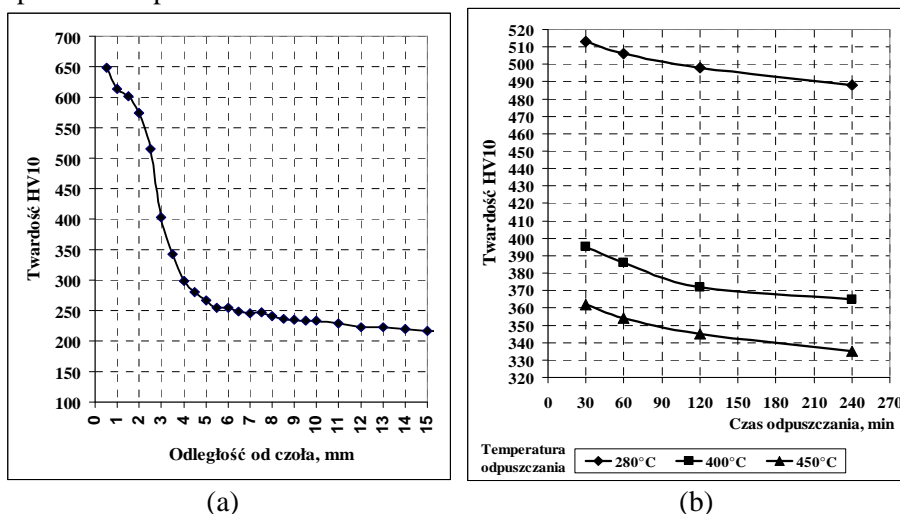
Rys. 5. Wykres przemian fazowych przy chłodzeniu ciągłym (stal C35L)
F – ferryt, P – perlit, B – bainit, M – martenzyt

Fig. 5. TTT curve at continuous cooling (C35L steel)
F – ferrite, P – pearlite, B – bainite, M – martensite

Badania hartowności stali przeprowadzono, stosując metodę oziębiania od czoła (próba Jominy'ego). Sporządzono krzywe hartowności badanych wytopów stali C35L i C35E. Przykładową krzywą hartowności stali w gatunku C35E zamieszczono na rys. 6a.

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie krzywych odpuszczania próbek hartowanych w warunkach laboratoryjnych.

W tym celu wykonano próbki o grubościach 0,7; 1,5 i 5 mm, które poddano hartowaniu metodą zanurzeniową w wodzie oraz odpuszczaniu. Wyniki pomiarów twardości próbek poddanych ulepszeniu cieplnemu zamieszczono na wykresie na rys. 6b. Na podstawie wyników badań wytypowano parametry odpuszczania płaszczka łuski.



Rys. 6. (a) Krzywa hartowności – stal C35E; (b) krzywe odpuszczania – stal C35L

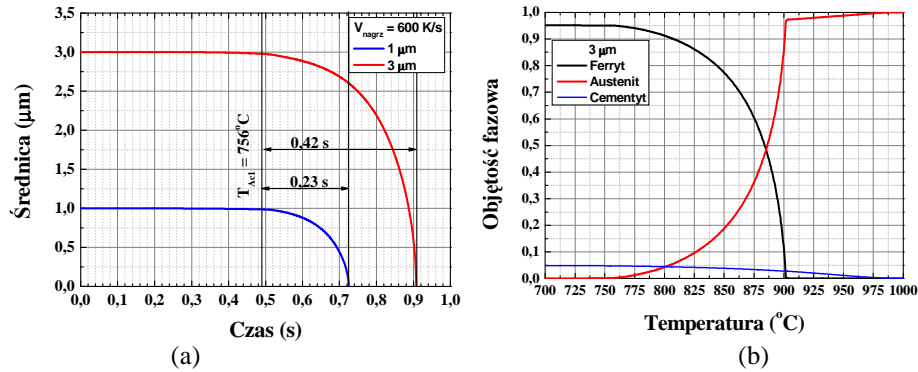
Fig. 6. (a) Hardenability curve – C35E steel, (b) tempering curves – C35L steel

3. SYMULACJA NUMERYCZNA I FIZYCZNA NAGRZEWANIA INDUKCYJNEGO I CHŁODZENIA NATRYSKOWEGO PŁASZCZA ŁUSKI

3.1. Wyniki symulacji numerycznej z zastosowaniem programu Dictra

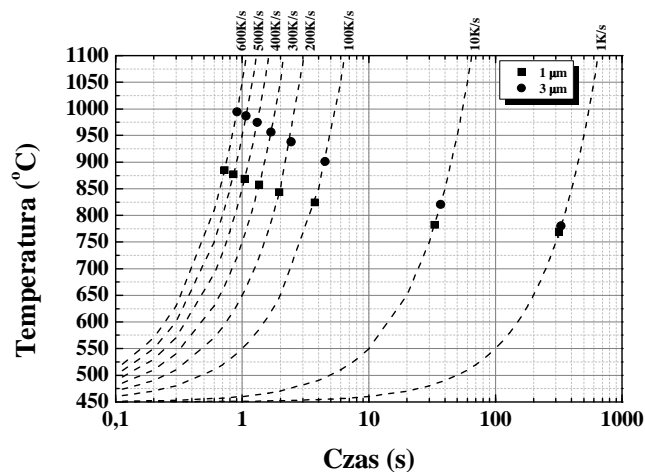
Uwzględniając mikrostrukturę płaszczka łuski przed hartowaniem oraz dużą szybkość nagrzewania (rzędu kilkuset $^{\circ}\text{C}/\text{s}$) i krótki czas austenitowania przed chłodzeniem, wyznaczono kinetykę procesu rozpuszczania węglików oraz kinetykę przemiany ferrytu w austenit. W tym celu przeprowadzono obliczenia czasu rozpuszczania węglików Fe_3C w stali Fe-0,35C-0,8Mn podczas symulacji nagrzewania z szybkością od $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ do $600^{\circ}\text{C}/\text{s}$ przy użyciu programu DICTRATM [4]. Skład chemiczny węglików obliczono przy użyciu programu Thermo-CalcTM [5]. Równocześnie z procesem rozpuszczania węglików wyznaczono kinetykę przemiany $\alpha \rightarrow \gamma$. W obliczeniach przyjęto geometrię sferyczną cząstek węglików, a promień układu obliczono w programie Thermo-CalcTM, korzystając z zasady zachowania masy.

Na rys. 7a przedstawiono krzywe rozpuszczania węglików Fe_3C o średnicach 1 i 3 μm podczas nagrzewania z szybkością $600^\circ\text{C}/\text{s}$. Obliczenia wykazały, że rozpuszczanie węglików zaczyna się w austenicie i trwa w zależności od wielkości cząstek od ok. 0,2 do 0,4 s. Temperatury początku i końca przemiany $\alpha \rightarrow \gamma$ wynoszące dla szybkości nagrzewania $600^\circ\text{C}/\text{s}$ odpowiednio 756°C i ok. 900°C wyznaczono z wykresu przedstawionego na rys. 7b.



Rys. 7. (a) Krzywa rozpuszczania węglików Fe_3C o średnicy 1 i 3 μm podczas nagrzewania z szybkością $600^\circ\text{C}/\text{s}$; (b) kinetyka przemiany $\alpha \rightarrow \gamma$ i rozpuszczania cementytu o średnicy 3 μm podczas nagrzewania z szybkością $600^\circ\text{C}/\text{s}$

Rys. 7. (a) Dissolution curve of carbides Fe_3C with diameter of 1 and 3 μm during heating with rate of $600^\circ\text{C}/\text{s}$; (b) kinetics of $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation and dissolution of cementite with diameter of 3 μm during heating with rate $600^\circ\text{C}/\text{s}$



Rys. 8. Temperatura i czas rozpuszczania węglików Fe_3C o średnicach 1 i 3 μm podczas nagrzewania z szybkością z zakresu od $1^\circ\text{C}/\text{s}$ do $600^\circ\text{C}/\text{s}$

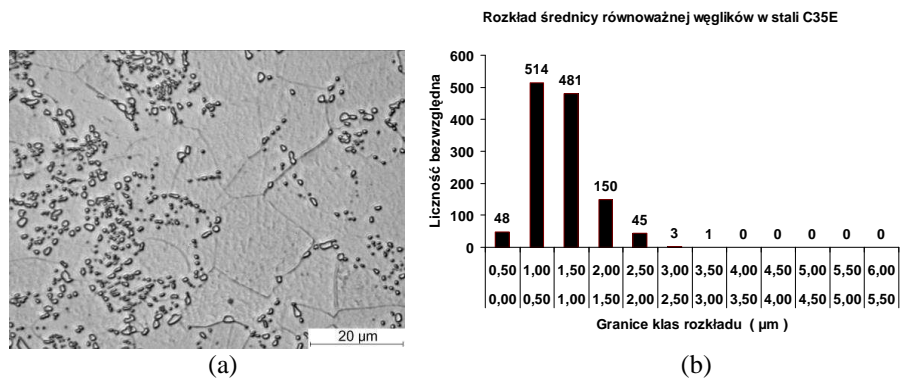
Fig. 8. Temperature and time of dissolution of Fe_3C carbides with diameter of 1 and 3 μm during heating with rate from $1^\circ\text{C}/\text{s}$ to $600^\circ\text{C}/\text{s}$

Na rys. 8 przedstawiono zmiany temperatury i czasu całkowitego rozpuszczenia węglików o średnicach 1 i 3 μm w zależności od szybkości nagrzewania. Wyraźnie widoczny jest wzrost temperatury całkowitego rozpuszczania ze wzrostem szybkości nagrzewania. Przy szybkości nagrzewania wynoszącej 600°C/s temperatura rozpuszczania węglików o średnicach 1 i 3 μm wynosi odpowiednio 884°C i 994°C.

Wyniki symulacji numerycznych zostały zweryfikowane na podstawie badań mikrostruktury próbek poddanych strefowemu nagrzewaniu indukcyjnemu i chłodzeniu natryskowemu. W próbkach po hartowaniu nie stwierdzono nierozpuszczonych węglików o średnicy takiej jak w stali przed nagrzewaniem, a mikrostrukturę stanowił wyłącznie martenzyt.

3.2. Symulacja fizyczna oraz badania mikrostruktury i właściwości łusek po obróbce cieplnej

Eksperymenty strefowego nagrzewania indukcyjnego i chłodzenia natryskowego wykonano na prototypowym urządzeniu na łuskach po zmiękczeniu oraz po pierwszym zawężaniu. Mikrostruktura płaszczki łusek stanowiących materiał wsadowy do hartowania na skutek zmiękczenia przed IV ciągiem składa się z ferrytu oraz węglików (rys. 9a). Większość węglików ma średnicę równoważną w zakresie 0,5 do 1,5 μm , a maksymalna średnica równoważna węglików wynosi 3 μm (rys. 9b).

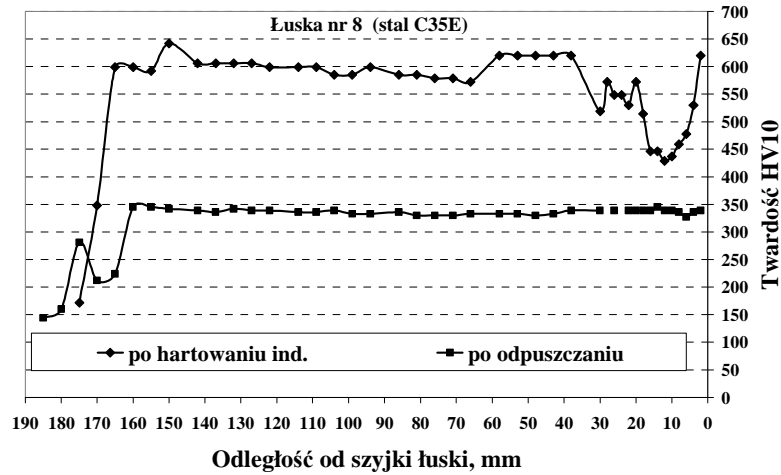


Rys. 9. (a) Mikrostruktura płaszczki łuski w stanie przed hartowaniem;
(b) rozkład wielkości węglików w płaszczu łuski przed hartowaniem

Fig. 9. (a) Microstructure of shell of cartridge case before hardening
(b) size distribution of carbides in shell of cartridge case before

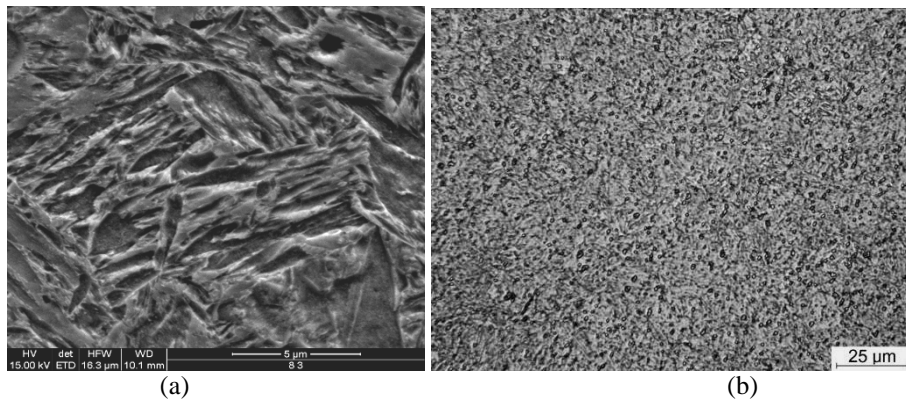
Łuski po hartowaniu poddano szczegółowym badaniom mikrostruktury na całej długości. Wykonano pomiary twardości oraz określono właściwości mechaniczne w statycznej próbie rozciągania.

Badania półwyrobów wykonano po hartowaniu oraz po odpuszczaniu. Wyniki pomiarów twardości na długości łuski po hartowaniu oraz po odpuszczaniu zamieszczono na rys. 10. Poza obszarem szyjki łuski, w którym należy skorygować parametry początkowe nagrzewania, twardość płaszczka łuski po hartowaniu jest równomierna i wynosi ok. 600 HV. Po odpuszczaniu twardość wynosi ok. 340 HV i jest równomierna na całej długości płaszczka łuski.



Rys. 10. Rozkład twardości na długości łuski po nagrzewaniu indukcyjnym strefowym i chłodzeniu natryskowym oraz po odpuszczaniu

Fig. 10. Hardness on a length of cartridge case after zonal induction heating and spray cooling and after tempering



Rys. 11. Mikrostruktura w obszarze płaszczka łuski po hartowaniu (a) oraz po odpuszczaniu (b)

Fig. 11. Microstructure of cartridge case shell after hardening (a) and after tempering (b)

Mikrostruktura materiału po hartowaniu (rys. 11a) jest równomierna i złożona z martenzytu, natomiast po odpuszczaniu (rys. 11b) powstaje martenzyt odpuszczony zawierający węgliki o średnicy ok. 1 μm . Zarówno twardość, jak i mikrostruktura badanych łusek wskazują na prawidłowo dobrane parametry obróbki cieplnej. Z płaszcza łusek pobrano pierścienie, z których wykonano próbki wytrzymałościowe. Wyniki badań właściwości mechanicznych zawiera tablica 2. Badane łuski spełniły wymagane wartości R_m i A_5 .

Tabela 2. Wyniki badań właściwości mechanicznych próbek pobranych z łusek hartowanych indukcyjnie i odpuszczanych (stal C35E)

Table 2. Results of mechanical properties examination of specimen taken from cartridge case after induction hardening and tempering (C35E steel)

Oznaczenie próbek	R_m , [MPa]	A_5 , [%]	HV10 (wartość średnia)
6-3	993	12,7	329
6-4	1006	11,0	339
8-2	1031	11,3	332
8-3	1021	12,7	337

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz opracowano schemat i parametry technologii seryjnej produkcji łusek stalowych kalibru 30 mm. Opracowanie technologii obejmowało: dobór gatunku stali i kształtu materiału wsadowego, opracowanie parametrów obróbki plastycznej łącznie z wytworzeniem narzędzi oraz sposób i parametry obróbki cieplnej zapewniającej uzyskanie wymaganych właściwości finalnych.

Do produkcji łusek dobrano gatunek stali C35, zmodyfikowany w zakresie zawartości pierwiastków istotnych z punktu widzenia zastosowanego sposobu obróbki plastycznej i obróbki cieplnej. Wsadem wejściowym do produkcji jest pręt ciągniony. Opracowany schemat obróbki plastycznej obejmuje operacje wyciskania, wyciągania, prasowania i zawężania. Wszystkie zabiegi są realizowane w temperaturze otoczenia, a stal jest w stanie zmiękczonej.

Obróbka cieplna płaszcza łuski obejmuje hartowanie oraz odpuszczanie. Zabieg hartowania składa się z nagrzewania indukcyjnego strefowego z szybkością rzędu kilkuset $^{\circ}\text{C/s}$ i z chłodzenia wodnego natryskowego, natomiast odpuszczanie jest realizowane w piecu pokrocznym. Zastosowany sposób hartowania zapewnia wysoką wydajność procesu oraz powtarzalność produkcji. Przedstawione w niniejszym artykule etapy technologii nie obejmują wytwarzania powłoki na powierzchni łuski.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt rozwojowy nr O R00 0038 06.

LITERATURA

- [1] Marcisz J., Stępień J., Burdek M., Opracowanie założeń do technologii produkcji łuski stalowej do amunicji kalibru 30 mm, *Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ nr B0 1244/BW*, lipiec 2008, praca niepublikowana.
- [2] Marcisz J. i inni, Sprawozdania z Projektu Rozwojowego pt.: „Opracowanie podstaw technologii produkcji elementów stalowych amunicji kalibru 30 mm”, realizowanego przez Konsorcjum: Instytut Metalurgii Żelaza, Politechnika Poznańska i FPS Bolechowo, zad. 1÷9 – prace niepublikowane.
- [3] Marcisz J., Stępień J., Materniak J., Kaczmarek Z., Podstawy technologii produkcji łuski stalowej kalibru 30 mm, *Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej AMUNICJA 2009*, Kołobrzeg, kwiecień 2009.
- [4] Borgenstram A., Engstrom A., Hoglund L., Agren J., *Journal of Phase Equilibria*, t. 21, nr 3, s. 269, 2000.
- [5] Andersson J.O., Helander T., Shi P.F., Sundman B., *Calphad*, t. 26, s. 273, 2002.

Production Technology of 30 mm Steel Cartridge Case in FPS Bolechowo

Jarosław MARCISZ, Jerzy STĘPIEŃ, Jan MATERNIAK,
Zdzisław KACZMAREK, Dariusz SZAŁATA,
Bogdan GARBARZ, Mariusz ADAMCZYK, Wojciech BURIAN

Abstract. In the paper the bases of production technology of steel cartridge cases for 30mm caliber anti-aircraft ammunition are presented. Particular stages of production technology are described: selection of chemical composition, production technology of steel grade, plastic working, construction of tools for plastic working processes and parameters of final heat treatment in order to obtain required mechanical and operational properties. Steel cartridge cases for 30 mm caliber ammunition are not produced currently in Poland. The paper contains results of investigations carried out in the project entitled: “Development of the bases production technology of steel components for 30 mm caliber ammunition”.

Keywords: steel cartridge case, anti-aircraft ammunition, production technology