



## Technologia wykonania prototypowej partii korpusów raketowych kalibru 227 mm\*

Jerzy STĘPIEŃ<sup>1</sup>, Jarosław MARCISZ<sup>1</sup>, Bogdan GARBARZ<sup>1</sup>,  
Marek BURDEK<sup>1</sup>, Zdzisław KACZMAREK<sup>2</sup>, Dariusz SZAŁATA<sup>2</sup>,  
Jan MATERNIAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Metalurgii Żelaza, ul. Karola Miarki 12-14, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup> Fabryka Produkcji Specjalnej Sp. z o.o., ul. Obornicka 1, Bolechowo, 62-005 Owińska

<sup>3</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

**Streszczenie.** Artykuł zawiera wyniki pracy zrealizowanej we współpracy Instytutu Metalurgii Żelaza, Politechniki Poznańskiej i Fabryki Produkcji Specjalnej Bolechowo dotyczącej opracowania założeń do technologii wykonania partii prototypowej korpusów raketowych silników kalibru 227 mm. Opracowanie oparto o wyniki projektu badawczego rozwojowego nr R00-O0034/3 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Opracowanie podstaw technologii produkcji stalowych wsadów formowanych na gorąco przeznaczonych do wykonania korpusów silników raketowych kaliber 227 mm technologią zgniatania obrotowego na zimno”, zrealizowanego w latach 2007-2009. Wykonano badania podstawowych właściwości fizycznych i technologicznych stali 15HGMV wytworzonej w IMŻ i w warunkach przemysłowych, przeznaczonej do wykonania partii modelowej korpusów silników raketowych kalibru 227 mm. Na podstawie opracowanych charakterystyk badanej stali opracowano parametry technologiczne i wykonano partię modelową korpusów.

**Słowa kluczowe:** inżynieria materiałowa, stal 15HGMV, korpusy raketowe

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

## **1. WSTĘP**

Artykuł zawiera wyniki pracy zrealizowanej we współpracy Instytutu Metalurgii Żelaza, Politechniki Poznańskiej i Fabryki Produkcji Specjalnej Bolechowo dotyczącej opracowania założeń do technologii wykonania partii prototypowej korpusów raketowych silników kalibru 227 mm. Badania wykonano w ramach projektu badawczego rozwojowego nr R00-O0034/3 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Opracowanie podstaw technologii produkcji stalowych wsadów formowanych na gorąco przeznaczonych do wykonania korpusów silników raketowych kaliber 227 mm technologią zgniatania obrotowego na zimno”, zrealizowanego w latach 2007-2009 [1-5].

Przedmiotem pracy było dobranie gatunku stali na korpusy oraz opracowanie technologii i wykonanie:

- wytapiania, odlewania i przetapiania elektrożużłowego stali
- kucia na gorąco wlewków elektrożużłowych
- walcowania na gorąco rur grubościennych
- obróbki skrawaniem rur grubościennych na tuleje
- obróbki cieplnej tulei
- zgniatania obrotowego na zimno korpusów o średnicy 227 mm oraz
- łączenia płaszczy korpusów z głowicą i usterzeniem.

## **2. CEL PRACY**

Celem pracy było opracowanie założeń do technologii wykonania partii prototypowej korpusów raketowych silników kalibru 227 mm i wykonanie partii modelowej korpusów z wytypowanej stali 15HGMV, w oparciu o opracowane charakterystyki materiałowe i wyniki [1, 2].

## **3. ZAKRES I WYNIKI WYKONANYCH BADAŃ I ANALIZ**

Założenia do technologii wykonania partii prototypowej korpusów raketowych o kalibrze 227 mm opracowano w zakresie:

- wytapiania, odlewania i przetapiania elektrożużłowego stali: wykonano wypyty stali 15HGMV w indukcyjnym piecu otwartym, które odlano w formie elektrod przeznaczonych do przetapiania elektrożużłowego i przetopiono na zbieżne wlewki elektrożużłowe o przekroju kwadratowym 292/336 mm i długości 1300 mm
- kucia na gorąco wlewków elektrożużłowych: wykonano kęsiska o masie ok. 1030 kg i przekroju kwadratowym 280x280 mm o ściętych narożach pod kątem 45° i przekątnej 363 mm (rys. 1)



Rys. 1. Obraz kęsisk kutych na prasie na wymiar o przekroju kwadratowym 280x280 mm ze ściętymi narożami w celu uzyskania przekątnej 363 mm

Fig. 1. A Picture of slabs, which were forged in a press to a 280x280 mm square section, which rounded corners in order to obtain a 363 mm diagonal

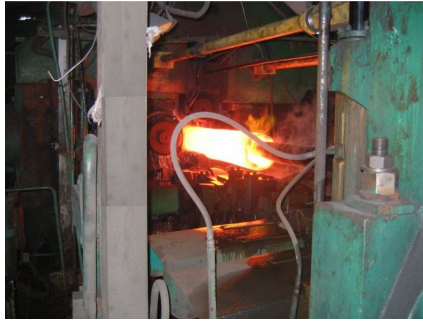
- walcowania na gorąco rur grubościennych: wykonano rury o średnicy zewnętrznej 267 mm i grubości ścianki 32 mm. Etapy procesu walcowania rur przedstawiono na rysunkach 2-5:



Rys. 2. „Szkłanka” po przebiciu dna  
Fig. 2. A „bottle” with a Pierce bottom



Rys. 3. „Szkłanka” w czasie walcowania w walcierce wydłużającej  
Fig. 3. A „bottle” during rolling in an elongating mill



Rys. 4. Walcowanie rury w walcierce pielgrzymowej

Fig. 4. Rolling in a pilger mill



Rys. 5. Rury po walcowaniu na gorąco i ostudzeniu

Fig. 5. Hot-rolled and cooled-down tubes

- obróbki skrawaniem: rury grubościenne pocięto na odcinki, które przetoczono na tuleje o dwóch grubościach ścianki: 8,5 i 10,0 mm – pocięte odcinki rur pokazano na rysunku 6, a przykładową tuleję po obróbce skrawaniem, stanowiącej wsad do zgniatania obrotowego na zimno przedstawiono na rysunku 7



Rys. 6. Rury pocięte na odcinki

Fig. 6. Tubes cut into segments

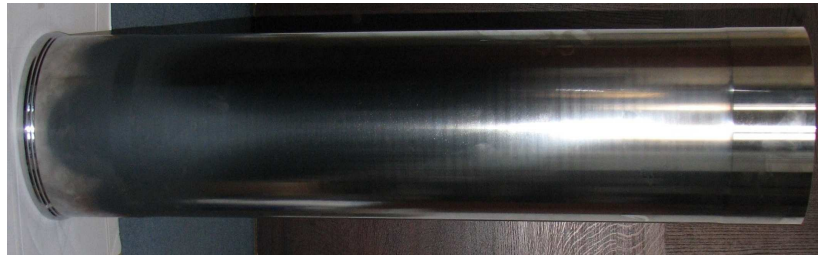


Rys. 7. Wsad przygotowany do zgniatania obrotowego na zimno

Fig. 7. A charge prepared for flow forming

- obróbki cieplnej tulei: przed zgniataniem obrotowym na zimno tuleje o grubości ścianki 8,5 mm lub 10,0 mm poddano obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu w oleju i odpuszczaniu

- zgniatania obrotowego na zimno: tuleje o grubości ścianki 8,5 mm lub 10,0 mm zgniatano obrotowo w jednym przejściu na korpusy o grubości ścianki 2,1 mm i średnicy 227 mm. Na rysunku 8 przedstawiono korpus po zgniataniu obrotowym na zimno:

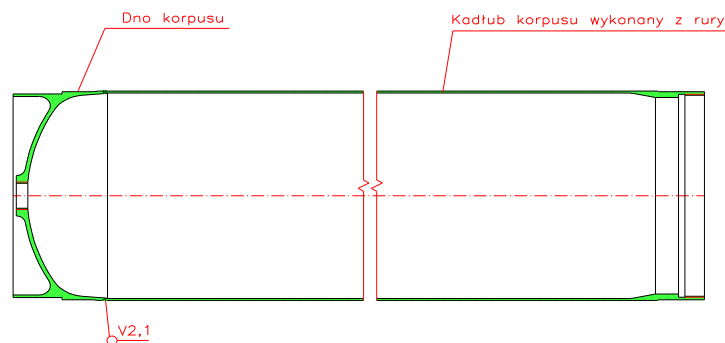


Rys. 8. Korpus otrzymany metodą zgniatania obrotowego na zimno

Fig. 8. A body obtained after flow forming

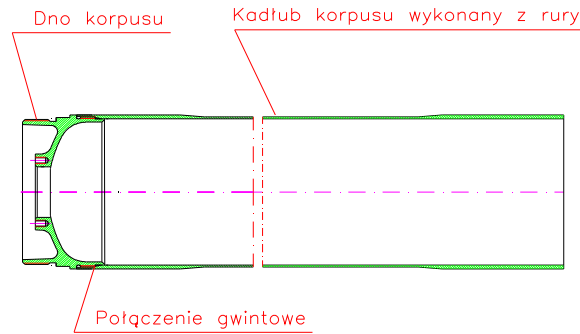
oraz

- łączenia płaszczy korpusów z głowicą i usterzeniem: jak wynika z analizy wytwarzania korpusów innych kalibrów, optymalnym rozwiązaniem jest wytwarzanie korpusu z rury grubościennej [3]. Od strony głowicy w korpusie niezbędne jest wykonanie dna, które może być spawane lub skręcane z płaszczem korpusu [4]. Konstrukcję korpusu z dnem dospawanym przedstawia rysunek 9, a z dnem skręcane z płaszczem korpusu – rysunek 10.



Rys. 9. Korpus kalibru 227 mm z dnem dospawanym

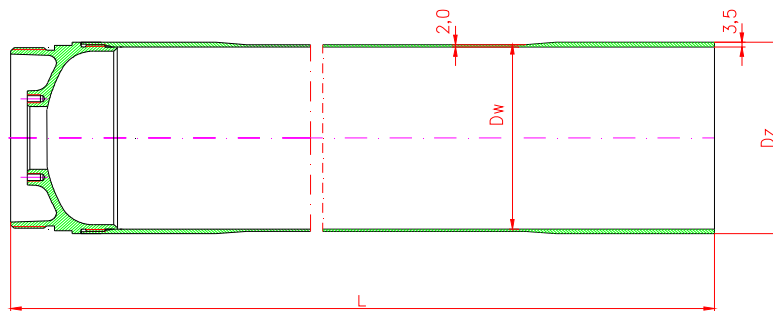
Fig. 9. A 227 mm caliber body with a welded bottom



Rys. 10. Korpus kalibru 227 mm z dnem skręcanym

Fig. 10. A 227 mm caliber body with a screwed bottom

Po analizie właściwości obu przedstawionych rozwiązań, do partii prototypowej zalecono zastosowanie połączenia korpusu z dnem poprzez skręcanie [4]. Na obecnym etapie prac badawczych brak jest szczegółowych rozwiązań dotyczących konstrukcji dyszy, jak również układu usterzenia. Wiadomo jednak, że połączenie będzie skręcane. Konieczne jest więc wykonanie w tylnej części korpusu ścianki o większej grubości, aby umożliwić nacięcie gwintu [4]. Z uwagi na znaczną długość korpusu, co jest wymuszone masą paliwa dla uzyskania założonego zasięgu, konieczne jest uzyskanie minimalnej grubości ścianki ocenianej na 2,0 mm. Aby możliwe było nacięcie gwintu od strony głowicy i układu usterzenia, obszary te będą miały grubość ścianki wynoszącą 3,5 mm. Proponowana konstrukcja korpusu została przedstawiona na rysunku 11 [4].



Rys. 11. Konstrukcja kadłuba korpusu

Fig. 11. A body shell

#### **4. PODSTAWOWE PARAMETRY TECHNOLOGII WYKONANIA KORPUSÓW O KALIBRZE 227 MM**

Korpusy prototypowe o średnicy 227 mm należy wykonać ze stali 15HGMVŽ metodą zgniatania obrotowego na zimno tulei po obróbce cieplnej. Zgniatanie obrotowe należy przeprowadzić w jednym przejściu z grubości ścianki tulei 10,0 mm na grubość ścianki korpusu w najcieńszej strefie równej 2,1 mm i wymagane jest, aby w tej strefie granica plastyczności wynosiła powyżej 1100 MPa, wytrzymałość powyżej 1250 MPa, a wydłużenie  $A_5$  powyżej 8%. Dopuszcza się małą różnicę między granicą plastyczności i wytrzymałością po zgniataniu obrotowym na zimno. Przedstawione parametry obowiązują przy założeniu, że ciśnienie gazów w trakcie spalania paliwa osiąga poziom 19,5 MPa. Jako materiał wyjściowy do wykonania korpusów należy zastosować rury grubościenne o średnicy zewnętrznej 267 mm i grubości ścianki 32 mm, z których należy wytoczyć tuleje o grubości ścianki 10 mm. Przed operacją zgniatania obrotowego na zimno, tuleje należy ulepszyć cieplnie. Po obróbce cieplnej właściwości wytrzymałościowe muszą spełniać następujące kryteria:  $R_e > 850$  MPa oraz  $R_m > 950$  MPa. Po zgniataniu obrotowym na zimno korpusy w strefie środkowej muszą charakteryzować się wytrzymałością  $R_m \geq 1250$  MPa i wydłużeniem  $A_5 > 8\%$  [5].

Dla partii prototypowej korpusów o średnicy 227 mm, ostateczny wybór sposobu połączenia płaszcza korpusu z dnem będzie możliwy po analizie konfiguracji całej konstrukcji. Nastąpi to po decyzji Departamentu Polityki Zbrojeniowej MON w sprawie przyjęcia założeń, realizowanej w Polsce części, systemu MLRS – P. Znajomość szczegółów związanych z doбором systemu, sterowania i wyrzutni pozwoli na ostateczne określenie konstrukcji całego zestawu. Preferowaną konstrukcją jest połączenie korpusu z głowicą za pomocą złącza gwintowego.

Wykonanie partii prototypowej korpusów o średnicy 227 mm ze stali 15HGMVŽ będzie możliwe po rozstrzygnięciu konkursu na zastosowanie krajowego systemu obronnego i podjęciu decyzji przez Ministerstwo Obrony Narodowej.

#### **5. PODSUMOWANIE**

W pracy wykonano badania właściwości fizycznych i technologicznych stali 15HGMVŽ, w celu określenia możliwości jej zastosowania do produkcji korpusów kalibru 227 mm. Szczegółowo określono wymagania materiału po ulepszaniu cieplnym, stanowiącego wsad do zgniatania obrotowego oraz finalne właściwości wyrobu, którego ostatnim etapem jest zgniatanie obrotowe na zimno.

Twardość i wytrzymałość ulepszonej cieplnie stali 15HGMVŽ po odkształceniu 0,95 w jednym przepuszcie wzrasta o ok. 20%.

Odształcenie rzeczywiste 1,40 spowodowało zwiększenie wytrzymałości w stosunku do stanu ulepszanego cieplnie o 26-38%, a odształcenie rzeczywiste równe 1,56 wywołało wzrost wytrzymałości o 30-40%, w zależności od właściwości stanu wyjściowego i schematu odształcenia. Uzyskane wyniki pomiarów stanowią podstawę do opracowania zoptymalizowanych parametrów ulepszania cieplnego stali 15HGMVŻ przed zginiataniem obrotowym, w celu uzyskania wymaganego podwyższenia właściwości wytrzymałościowych w wyniku zastosowania określonego schematu odształcenia i uzyskania plastyczności (wydłużenia  $A_5$ ) większej od wymaganego minimum.

Na podstawie rozkładów twardości w zależności od odległości od powierzchni na przekroju korpusów ze stali 15HGMVŻ po zginiataniu obrotowym można stwierdzić niewielki spadek twardości występujący od powierzchni w głąb materiału na głębokości do 0,8 mm. Jest to wpływ niejednorodności odształcenia w procesie zginiatania obrotowego. Intensywność odształcenia jest największa w warstwie przypowierzchniowej. Stwierdzona niejednorodność struktury i właściwości na przekroju ścianek nie wpływają ujemnie na eksploatacyjne cechy korpusów, pod warunkiem spełnienia wymaganych właściwości przez materiał, zmierzonych dla całego przekroju.

## 6. WNIOSKI

Poniżej przedstawiono główne wnioski sformułowane na podstawie badań laboratoryjnych właściwości fizycznych stali, prób przemysłowych wytwarzania półwyrobów i wyrobów finalnych oraz badań właściwości technologicznych:

1. Wytypowany gatunek stali 15HGMVŻ przetapianej elektrożuźlowo w postaci walcowanej na gorąco rury grubościennej o średnicy zewnętrznej 267 mm i grubości ścianki 32 mm może być stosowany do produkcji korpusu silnika rakietowego o kalibrze 227 mm.
2. Opracowana technologia wykonania korpusu z materiału wyjściowego w postaci rury grubościennej została pozytywnie zweryfikowana i będzie mogła być wykorzystana w produkcji seryjnej.
3. Istnieją możliwości ewentualnych zmian wymiarów średnicy i grubości rury wyjściowej na mniejsze, w celu zmniejszenia naddatku na obróbkę skrawaniem (do wykorzystania po podjęciu ostatecznych decyzji przez MON).
4. Zastosowanie technologii wykonania korpusu łączącej obróbkę skrawaniem, obróbkę cieplną i zginiatanie obrotowe prowadzi do uzyskania wymaganych właściwości korpusu, w szczególności zapewnia uzyskanie założonej wytrzymałości finalnej wyrobu przy zachowaniu właściwości plastycznych.



5. Konstrukcja korpusu może ulec niewielkim modyfikacjom w stosunku do przedstawionej, po doborze głowicy oraz układu dyszy i usterzenia.
6. Preferowanym sposobem połączenia korpusu z głowicą jest zastosowanie złącza gwintowego.
7. Partia prototypowa korpusów o średnicy 227 mm powinna zostać wykonana z zastosowaniem założeń i parametrów technologii opracowanych w niniejszej pracy.

*Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt rozwojowy nr R00-O0034/3.*

## **LITERATURA**

- [1] Stępień J., Garbarz B., *Opracowanie konstrukcyjnych i materiałowych założeń do projektu modelowych korpusów raket o kalibrze 227 mm*, Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ nr PR-0009-1, sierpień 2007.
- [2] Garbarz B., Marcisz J., Stępień J., Zalecki W., *Dobór gatunku stali na modelowe korpusy raket o kalibrze 227 mm i opracowanie charakterystyk materiałowych niezbędnych do zaprojektowania technologii: przeróbki plastycznej na gorąco, obróbki cieplnej i zgniatania obrotowego na zimno*, Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ nr PR-0009-3, czerwiec 2008.
- [3] Stępień J., *Wykonanie w warunkach przemysłowych metodą zgniatania obrotowego na zimno modelowych korpusów*, Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ nr PR-0009-12, grudzień 2008.
- [4] Szałata D., Kaczmarek Z., *Alternatywny dobór technologii łączenia dna pocisku rakiety z korpusem silnika raketowego*, Sprawozdanie z pracy badawczej FPS Bolechowo, czerwiec 2009.
- [5] Marcisz J., Stępień J., *Badania kontrolne procesów technologicznych na poszczególnych etapach wytwarzania modelowych korpusów raket o kalibrze 227 mm w warunkach przemysłowych oraz określenie właściwości korpusów*, Sprawozdanie z pracy badawczej IMŻ nr PR-0009-13, marzec 2009.

## **Manufacturing Technology for Prototype Bodies of 227 mm Rato Booster Rockets**

Jerzy STEPIEŃ, Jarosław MARCISZ, Bogdan GARBARZ,  
Marek BURDEK, Zdzisław KACZMAREK, Dariusz SZALAŁATA,  
Jan MATERNIAK

**Abstract.** The paper presents the results of examinations carried out to determine the possibilities of application of 15HGMVŽ steel to produce the bodies of RATO booster rockets of 227mm caliber. The studies of basic physical properties, cold formability, temperatures of phase transformations, and the mode of precipitation during tempering of 15HGMVŽ steel were carried out.

**Keywords:** materials engineering, 15HGMVŽ steel, RATO booster rockets