



## Wyciskanie na gorąco elementów amunicji z kęsa kwadratowego lub okrągłego\*

Jan MATERNIAK<sup>1</sup>, Zdzisław KACZMAREK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

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

**Streszczenie.** Praca zawiera informacje dotyczące prac badawczych Instytutu Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej oraz Fabryki Produkcji Specjalnej w Bolechowie. Przedstawione prace są związane z technologią wytwarzania amunicji artyleryjskiej na potrzeby polskiego przemysłu obronnego. Wybrane zagadnienia przedstawione w publikacji dotyczą materiałów na łuski o zwiększonej wytrzymałości oraz produkcji i technologii łusek kalibru 120 i 125 mm.

**Słowa kluczowe:** technologia, wyciskanie na gorąco, amunicja artyleryjska

### 1. WSTĘP

Technologia wyciskania stosowana w przemyśle maszynowym umożliwia wytwarzanie półwyrobów drażonych i pełnych z kęsa lub odcinka pręta. Realizacja procesu wyciskania na prasach mechanicznych lub hydraulicznych wymaga stosowania bardzo dużych sił. Dlatego ekonomicznie uzasadniona produkcja seryjna wymaga stosowania pras specjalistycznych. Prasy do wyciskania charakteryzują się, w stosunku do pras uniwersalnych, zwartą ramową budową, zwiększoną energią koła zamachowego oraz dobrym prowadzeniem suwaka. Wyciskanie na zimno jest możliwe z uwagi na występujące siły i naprężenia w narzędziach praktycznie do średnicy około 60 mm oraz dla stosunku wysokości do średnicy mniejszego niż 1,5.

\* Artykuł został opracowany na podstawie referatu prezentowanego podczas IX Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 25-28 września 2012 r.

Naprężenia osiowe na czole stempla oraz promieniowe na wewnętrznej powierzchni matrycy nie powinny przekraczać 2000 MPa. Dlatego dla większych średnic wykorzystuje się wyciskanie na gorąco.

W procesie wyciskania na zimno, obrabiany materiał doznając znacznych odkształceń, umacnia się, zwiększając granicę plastyczności i wytrzymałości przy obniżonym wydłużeniu. Wpływ prędkości odkształcania na parametry wytrzymałościowe jest stosunkowo nieznaczny i w praktyce pomijany.

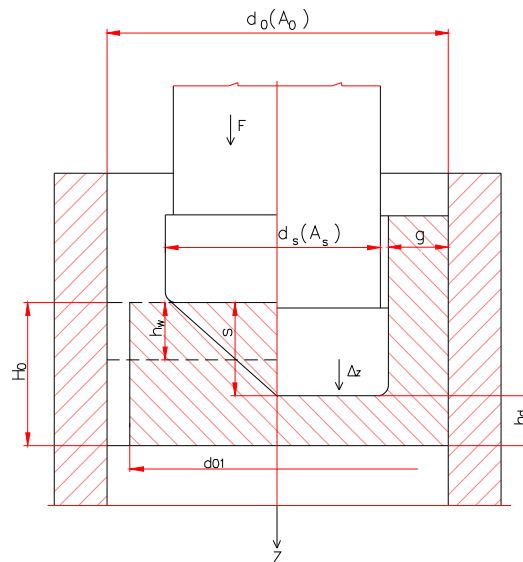
Wyciskanie na gorąco umożliwia rekrytalizację materiału w trakcie trwania procesu, stąd wzrost parametrów wytrzymałościowych w funkcji odkształcania jest dużo mniejszy niż w procesie wyciskania na zimno. Naprężenie uplastyczniające jest w pierwszym rzędzie funkcją temperatury materiału wyciskanego. Jednak w obróbce plastycznej na gorąco występuje zależność naprężenia uplastyczniającego od prędkości odkształcania. Ponieważ w każdej objętości wyciskanego materiału prędkości odkształcania są różne, przy ocenie sił i naprężeń wykorzystuje się doświadczalne parametry uwzględniające wzrost naprężenia uplastyczniającego od prędkości liniowej suwaka lub ewentualnie bijaka młota. Parametr zwiększający naprężenie uplastyczniające w określonej temperaturze obróbki w stosunku do uzyskanego na wolnobieżnej maszynie wytrzymałościowej zawiera się w zakresie od jedności dla hydraulicznych pras wolnobieżnych, poprzez około dwa dla pras mechanicznych, do trzech dla pras specjalnych pracujących z bardzo dużymi prędkościami suwaka. Przy wyciskaniu na gorąco średnie naciski pod stemplem nie przekraczają 800 MPa i pozwalają uzyskać bardzo duże odkształcenia w granicach  $\phi \leq 4,6$ . Do zasadniczych wad wypraski wyciskanej na gorąco można zaliczyć dużą różnościennosc, owalizację przekroju poprzecznego, brak współosiowości otworu do powierzchni zewnętrznej, dużą chropowatość powierzchni oraz powstawanie rys i zatarć od główki stempla. Dlatego istnieje konieczność stosowania obróbki skrawaniem wyciśniętej na gorąco wypraski przed ewentualnym wyciąganiem ścianki na gorąco lub na zimno. Osobnym problemem jest trwałość narzędzi, a zwłaszcza główki stempla, która wynosi bez regeneracji około od 100 do 200 wyprasek.

Pierwszą operacją obróbki plastycznej elementów amunicji, takich jak łuski, korpusy silników raketowych, pocisków lub głowic dla średnic większych od 60 mm jest najczęściej operacja wyciskania przeciwbieżnego na gorąco. Materiałem wyjściowym jest odcinek kęsa lub pręta o przekroju poprzecznym okrągłym lub kwadratowym z zaokrąglonymi narożami.

W pracy analizowano korzyści wynikające z zastosowanego materiału wyjściowego o przekroju okrągłym lub kwadratowym w zależności od wielkości siły niezbędnej do realizacji procesu oraz stanu naprężeń w narzędziach.

## 2. PROCES WYCISKANIA PRZECIWBIEŻNEGO MATERIAŁU O PRZEKROJU OKRĄGŁYM

Schemat procesu wyciskania przeciwbieżnego przedstawia rysunek 1. Materiał wyjściowy w postaci kęsa lub odcinka pręta o średnicy  $d_0$  i długości  $l_0$  jest wyciskany przeciwbieżnie stemplem o średnicy  $d_s$ . Powstaje grubościenna tuleja o grubości ścianki  $g$  i grubości dna  $l_d$ . Luz między średnicą matrycy  $d_0$  a średnicą materiału wyjściowego  $d_{01}$  w procesie wyciskania na gorąco wynosi kilka milimetrów w zależności od średnicy matrycy. Luz zapewnia możliwość smarowania przez natrysk. Jako smar stosuje się wodne zawiesiny grafitu. Dzięki temu można osiągnąć stosunek wysokości do średnicy w przedziale od 2,0 do 2,2. Dla większych wartości stosunku wysokości do średnicy konieczne jest wyciskanie dwustopniowe z naniesieniem smaru we wstępnie wykonany otwór. Zbyt duży luz może prowadzić do znacznej różnicy w grubości ścianki na obwodzie oraz do mimośrodowości osi symetrii wypraski. Zaletą metody wyciskania przeciwbieżnego w stosunku do operacji wytłaczania z krążka blachy jest możliwość zmian grubości dna bez potrzeby zamawiania krążka blachy o określonej grubości.



Rys. 1. Schemat wyciskania przeciwbieżnego

Fig. 1. Inverted extrusion scheme

W procesie wyciskania przeciwbieżnego obrabiany materiał jest poddany naprężeniom ściskającym, co zapobiega powstawaniu pęknięć lub zerwania ścianki jak przy wytłaczaniu.

Naprężenie osiowe  $\sigma_z$  na czole stempla jest zależne od naprężenia uplastyczniającego w temperaturze wyciskania  $\sigma_{pT} \approx R_{mT}$ , odkształcenia w ściance wypraski oraz warunków tarcia o ścianki narzędzi. W procesach wyciskania na zimno, czynnikiem znacznie zwiększającym naprężenie  $\sigma_z$  jest wpływ umocnienia materiału na skutek odkształcenia.

Odkształcenie w ściance wyciskanej wypraski jest niejednorodne. Od strony stempla, teoretycznie odkształcenie jest nieskończenie duże. Dlatego w obliczeniach technologicznych stosuje się pojęcie średniego odkształcenia promieniowego, którego wartość można obliczyć z zależności:

$$\varphi_{r0} = \ln \frac{d_0 d_s}{d_0^2 - d_s^2} + \frac{d_0^2}{d_0^2 - d_s^2} \ln \frac{d_0}{d_s} \quad (1)$$

Naprężenie osiowe można obliczyć z licznych wzorów doświadczalnych lub w oparciu o założenie równości pracy siły zewnętrznej  $F$  na drodze  $S$  i pracy odkształcenia plastycznego.

Przyjmując granicę plastyczności w temperaturze wyciskania  $T$  równą wytrzymałości materiału w tej temperaturze  $R_{mT}$ , otrzymujemy zależność:

$$\sigma_z = \frac{A_0}{A_s} \varphi_{r0} R_{mT} \quad (2)$$

W procesie wyciskania na gorąco, znaczny wpływ na naprężenie osiowe ma tarcie materiału o ściankę matrycy oraz część cylindryczną stempla. Dlatego wzór (2) z uwzględnieniem tarcia uzyska postać:

$$\sigma_z = \frac{A_0}{A_s} R_{mT} \left[ \varphi_{r0} + \frac{\mu d_s}{3 h_d} + \frac{2 \mu h_s}{g} \right] \quad (3)$$

W zależności od stosowanej prasy, wytrzymałość materiału w temperaturze  $T$  należy zwiększyć o współczynnik „ $a$ ” wynoszący dla:

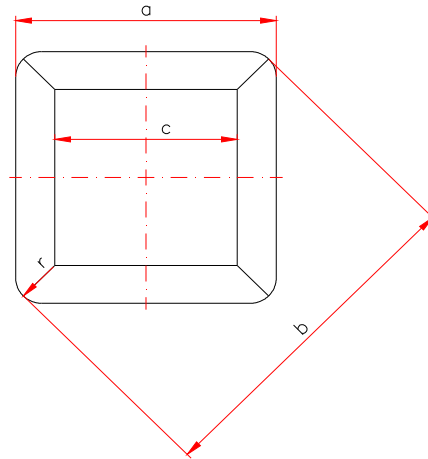
- wolnobieżnej prasy hydraulicznej –  $a = 1$
- szybkobieżnej prasy hydraulicznej lub prasy mechanicznej –  
 $a = 1,5-2,0$

Siła wyciskania  $F$  jest równa:

$$F = A_s \sigma_z \quad (4)$$

### 3. WYCISKANIE WYROBU O KWADRATOWYM PRZEKROJU WYJŚCIOWYM

Wymiary przekroju poprzecznego materiału wyjściowego o przekroju kwadratowym przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Wymiary kęsa kwadratowego

Fig. 2. Square billet dimensions

Przyjmując jako znany wymiar przekątnej  $b$ , można obliczyć bok kwadratu z zależności

$$a = 0,707b + 0,586r$$

Dla znanego boku kwadratu  $a$ , wartość przekątnej wynosi

$$b = 1,414a - 0,829r \quad (5)$$

Promień naroża „ $r$ ” przyjmuje się najczęściej w przedziale  $r = (0,13 \div 0,16) a$ . Powierzchnia przekroju kwadratu  $A_k$  jest równa

$$A_k = 0,601b^2 - 0,858r^2 \quad (6)$$

Różnica powierzchni przekroju okrągłego matrycy  $A_0$  i kwadratowego materiału wyjściowego  $A_k$  jest równa

$$\Delta A = A_0 - A_k \quad (7)$$

Najmniejsza średnica stempla zapewniająca wypełnienie przekroju matrycy będzie równa

$$d_{sk} = \sqrt{\frac{4 \Delta A}{\pi}} \quad (8)$$

Aby otrzymać całkowite wypełnienie matrycy, a tym samym poprawną wypraskę, konieczne jest realizowanie procesu z użyciem stempla  $d_s \geq 1,3d_{sk}$ .

Istnieje różnica w schemacie płynięcia między wyciskaniem materiału wyjściowego o przekroju poprzecznym okrągłym oraz kwadratowym. W procesie wyciskania materiału wyjściowego o przekroju okrągłym, wyciskany materiał w początkowej fazie wypełnia luz między średnicą  $d_{0l}$  a średnicą matrycy  $d_0$ , a następnie płynie przeciwbieżnie do ruchu stempla. Natomiast między materiałem wyjściowym o przekroju kwadratowym a powierzchnią matrycy istnieją znacznie większe pustki i wypełnienie przekroju matrycy następuje po przemieszczeniu się stempla na stosunkowo dużą głębokość. W przybliżeniu głębokość ta wynosi:

$$h_w = h_0 \frac{A_0 - A_k}{A_s} \quad (9)$$

Można dobierając odpowiednio powierzchnie matrycy, stempla i materiału wyjściowego, realizować proces wyciskania tylko poprzez wypełnienie matrycy. Uzyska się tą metodą znacznie mniejsze naprężenia i siły, niż przy zwykłym wyciskaniu przeciwbieżnym.

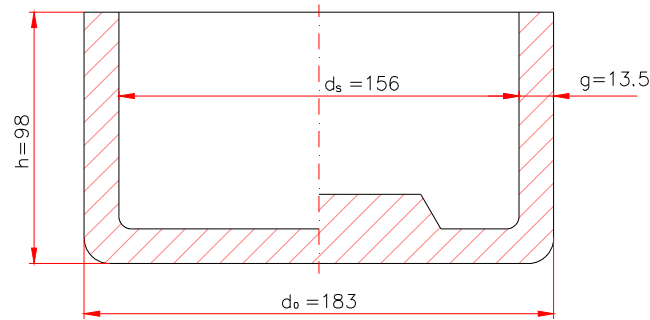
Naprężenie osiowe pod stemplem na drodze  $h_w$ , gdzie następuje tylko wypełnienie matrycy, można obliczyć przy pewnym uproszczeniu podobnie jak dla procesu spęczania z zależności (10)

$$\sigma_{zw} = R_{mT} \left[ 1 + \frac{\mu d_s}{3h_d} \right] \quad (10)$$

Siła w trakcie wypełniania wykoju jest równa  $F_w = A_s \times \sigma_{zw}$ .

#### 4. ANALIZA PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH WYCISKANIA WYPRASKI NA ŁUSKĘ KALIBRU 125 MM

Badania przeprowadzono dla łuski kalibru 125 mm do czołgu T-72 wytworzonej ze średniowęglowej stali gatunku 34 GXA. Wyciskanie było realizowane na prasie hydraulicznej o nacisku nominalnym 8MN. W temperaturze wyciskania około 1100°C (grzanie indukcyjne do około 1150°C) wytrzymałość stosowanej stali wynosi  $R_{mT} = 35$  MPa. Przyjmując wartość współczynnika zwiększającego wytrzymałość równą 1,5, otrzymuje się  $R_{mT} = 1,5 \times 35 = 52$  MPa (uwzględnia on szybkość odkształcania). Wymiary wypraski przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Podstawowe wymiary wypraski na łuskę kaliber 125 mm

Fig. 3 Basic dimensions of die stamping for 125 mm cartridge case

Narzędzia do wyciskania wypraski miały wymiar: średnica matrycy  $d_0 = 183$  mm, a średnica stempla wynosiła  $d_s = 156$  mm. Do wykonania wypraski zastosowano odcinek pręta kwadratowego o boku  $a = 127$  mm i wysokości  $h_0 = 68$  mm, natomiast promień naroża wynosił  $r = 17$  mm. Przekątna kwadratu  $b$  zgodnie z zależnością (5) wynosiła  $b = 166$  mm. Obliczona wartość luzu między stemplem a matrycą jest równa 17 mm (w stosunku do przekątnej „ $b$ ”). Powierzchnie przekroju matrycy, stempla i przekroju poprzecznego materiału obliczone zgodnie ze wzorem (6) są odpowiednio równe:

$$A_0 = 26302 \text{ mm}^2, \quad A_s = 19113 \text{ mm}^2, \quad A_k = 16561 \text{ mm}^2$$

Różnica powierzchni poprzecznych matrycy i materiału wyjściowego wyznaczonych na podstawie zależności (7) wynosi

$$\Delta A = 9741 \text{ mm}^2$$

Głębokość wnikania stempla w materiał określona zgodnie ze wzorem (9), gdy nie następuje jeszcze wyciskanie przeciwbieżne, a tylko wypełnianie przekroju matrycy, wynosi

$$h_w = 35 \text{ mm}$$

Zgodnie z rysunkiem 3, dla wymiaru  $h_d = 21$  mm, całkowity skok roboczy stempla wyniesie

$$S = h_0 - h_d = 47 \text{ mm}$$

Na ostatnim odcinku skoku roboczego stempla  $S_k = S - h_w = 12$  mm występowało wyciskanie przeciwbieżne.

Odształcenie w procesie wyciskania przeciwbieżnego na odcinku  $S_k$  obliczone zgodnie z zależnością (1) wyniesie  $\varphi_{r0} = 1,78$ . Naprężenia osiowe w procesie wyciskania przeciwbieżnego na drodze  $S_k$  obliczone wg wzoru (3), przyjmując współczynnik tarcia  $\mu = 0,4$  oraz wysokość części cylindrycznej główki stempla  $h_s = 20$  mm

$$\sigma_z = 242 \text{ MPa}$$

Siła wyciskania przeciwbieżnego (4) jest równa  $F = 4,6$  MN i jest mniejsza od nominalnej siły prasy. Wartość siły potrzebnej do realizacji procesu w początkowej fazie wyciskania wyniesie  $F_w = 2,0$  MN.

## 5. WYCISKANIE WYPRASKI NA ŁUSKĘ KALIBRU 120 MM

Łuskę do armaty Rh120 czołgu Leopard 2A2 wytwarza się ze stali gatunku Bw35HG NMV. Materiałem wyjściowym był pręt okrągły o średnicy  $d_{01} = 160$  mm. Wyciskanie realizowano na prasie kolanowej 25 MN, średnica stempla wynosiła  $d_s = 147$  mm, a matrycy  $d_0 = 180$  mm. Wysokość główki stempla  $h_s$  była równa 20 mm, grubość dna  $h_d = 15$  mm, a grubość ścianki  $g = 10$  mm. Parametry procesu wyciskania były następujące: odształcenie  $\varphi_{r0} = 1,51$  i odpowiednio naprężenie osiowe  $\sigma_z = 495 \text{ MPa}$ , a siła wyciskania wynosi  $F = 8,5$  MN.

Porównując przedstawione powyżej technologie wyciskania tulei z wsadu w postaci prętów o przekroju kwadratowym i okrągłym, stwierdzono większą użyteczność tego pierwszego.

Korzyści z zastosowania materiału o przekroju kwadratowym są następujące: można zastosować np. prasę kolanową, która ma tylko na małym odcinku końcowym możliwość wykorzystania siły nominalnej. Istotnym czynnikiem jest również możliwość wykorzystania początkowego wgłębiania się stempla na prasie hydraulicznej do uzyskania dodatkowego smarowania, co jest w procesie wyciskania przeciwbieżnego niezwykle ważne.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie analizy parametrów technologicznych wyciskania tulei na łuski pocisków artyleryjskich: łuski kalibru 125 mm – z pręta kwadratowego ze stali w gatunku 34 GXA oraz łuski kalibru 120 mm – z pręta okrągłego ze stali w gatunku Bw35HG NMV, sformułowano następujące wnioski:

- Do wyciskania przeciwbieżnego stalowych tulei grubościennych o średnicach powyżej 60 mm, możliwe jest tylko zastosowanie obróbki plastycznej na gorąco. Zalecane jest w tym celu grzanie indukcyjne, pozwalające na lepszą automatyzację procesu oraz znaczne zmniejszenie zgorzeliny.



- Jako wsad do wyciskania tulei można zastosować kęsy lub pręty o przekroju okrągłym lub kwadratowym o wymaganych tolerancjach wymiarowych.
- Przekrój kwadratowy umożliwia lepsze smarowanie, jak również mniejsze wartości siły na początkowym odcinku wgłębiania stempla w materiał. Przekrój okrągły wymaga natomiast precyzyjnego prowadzenia stempla dla uzyskania mniejszej tolerancji grubości ścianki.
- Istnieje różnica w schemacie płynięcia podczas wyciskania materiału wyjściowego o przekroju okrągłym oraz kwadratowym. Materiał o przekroju okrągłym już w początkowej fazie wyciskania wypełnia matrycę, a następnie płynie przeciwbieżnie do ruchu stempla. Natomiast materiał o przekroju kwadratowym wypełnia matrycę po przemieszczeniu stempla na stosunkowo dużą głębokość.

## LITERATURA

- [1] Materniak J., *Obróbka plastyczna. Materiały pomocnicze, Wyciskanie metali na zimno*, część I, WPP, 1994.
- [2] Kaczmarek Z., Materniak J., Badania modelowe przeciwbieżnego wyciskania wyprasek stalowych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Mechanika*, nr 40, 1994.
- [3] Kaczmarek Z., Materniak J., Parametry procesu wyciskania przeciwbieżnego z kęsa kwadratowego, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, Zeszyt 11, 1993.
- [4] Materniak J., Wąsikowski J., Zależność nacisków jednostkowych pod stemplem od odkształcenia w procesie wyciskania przeciwbieżnego, *Obróbka plastyczna*, nr 1, 1992.

## **Hot Extrusion of Components of Ammunition from a Square or Round Bar**

Jan MATERNIAK, Zdzisław KACZMAREK

**Abstract.** The publication contains information on the carried out by Materials Technology Institute at Poznań University of Technology and Special Production Plant at Bolechowo. Presented works concern technology of artillery ammunition production process, manufactured for the needs of Polish defense industry. Selected issues depicted in this publication touch on materials for cartridge cases of increased strength and the technology and the production process of cartridge cases of caliber 120 and 125 mm.

**Keywords:** production technology, hot extrusion, artillery ammunition