



## Badanie wytwarzania korpusów granatów kumulacyjno-odłamkowych metodą wyciskania na gorąco

JERZY STĘPIEŃ, JAN MATERNIAK\*, ZDZISŁAW KACZMAREK\*\*,  
DARIUSZ SZAŁATA\*\*

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

\*Politechnika Poznańska, 60 965 Poznań, ul. Piotrowo 3

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

**Streszczenie.** Celem badań było opracowanie założeń do technologii wyciskania na gorąco korpusów ze stali 45H1, przeznaczonych na wyroby specjalne dla przemysłu obronnego. Przedstawiono założenia technologiczne wykonania korpusów, obejmujące parametry nagrzewania wsadu, wyciskania oraz obróbki cieplnej odkuwek. Przeprowadzono analizę możliwości zaadaptowania istniejących urządzeń w FPS do budowy stanowiska prototypowego do wyciskania korpusów. Opracowana technologia zapewnia uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych korpusów:  $R_m$  min 1000 MPa,  $Z$  min 35% i KCU min 50 J/cm<sup>2</sup>.

**Słowa kluczowe:** wyciskanie na gorąco, właściwości wytrzymałościowe, struktura materiału

**Symbole UKD:** 669.14

### 1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono wyniki projektu celowego pt.: „Opracowanie i wdrożenie technologii produkcji korpusów wyciskanych na gorąco przeznaczonych na wyroby dla przemysłu obronnego” zrealizowanego we współpracy Fabryki Produkcji Specjalnej (FPS) w Bolechowie i Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach. Opracowano założenia technologiczne wykonania korpusów metodą wyciskania odkuwek na gorąco, obejmujące parametry nagrzewania wsadu, wyciskania oraz obróbki cieplnej odkuwek. Wykonano adaptację istniejących urządzeń w FPS do budowy stanowiska prototypowego do wyciskania korpu-

sów, jak również opracowano wstępne założenia do wykonania stanowiska do produkcji przemysłowej.

Do wykonania prób technologicznych wyciskania korpusów wykorzystano urządzenia i przyrządy znajdujące się na wyposażeniu FPS, m.in. prasę PK 1600 z oprzyrządowaniem. Jako nowe narzędzia wykonano matrycę i stempel oraz zespół zdzieraka.

## 2. Opracowanie charakterystyki stali 45H1

Materiał badań stanowiły próbki stali 45H1 wycięte z prętów o średnicy  $\phi = 42$  mm. Wykonano następujący zakres badań:

- wyznaczono skład chemiczny prętów ze stali 45H1;
- wyznaczono punkty przełomowe ( $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$ ) przemian fazowych podczas nagrzewania ciągłego za pomocą dylatometru DIL 805 firmy Bähr, a na podstawie uzyskanych wyników badań początku przemiany austenitycznej zachodzącej w stali podczas nagrzewania ( $A_{C3}$ ) wyznaczono temperatury austenizacji próbek użytych do opracowania wykresu przemian fazowych, zachodzących podczas ciągłego chłodzenia badanej stali;
- opracowano wykres przemian fazowych stali 45H1 na podstawie badań dylatometrycznych, badań struktury i pomiaru twardości dla poszczególnych szybkości chłodzenia;
- wyznaczono krzywe odpuszczania dla dwóch temperatur hartowania: 850°C i 830°C oraz odpuszczania w zakresie od 350°C do 600°C;
- określono właściwości mechaniczne stali po wstępnej obróbce cieplnej;
- wyznaczono krzywe zależności naprężenia od odkształcenia stali w temperaturach 900, 1025 i 1150°C;
- wyznaczono wstępne parametry nagrzewania odcinków prętów do wyciskania korpusów GKO i wstępne parametry obróbki cieplnej korpusów.

Charakterystyki stali 45H1 opracowano pod kątem zaprojektowania wyciskania na gorąco z zastosowaniem nagrzewania indukcyjnego wsadu. Wyznaczono temperaturę wyciskania i spodziewane wartości naprężeń podczas wyciskania korpusów na prasie mechanicznej:

- temperatura wyciskania,
- naprężenie maksymalne

oraz wyznaczono wstępne parametry obróbki cieplnej korpusów GKO, polegającej na:

- normalizowaniu w powietrzu,
- hartowaniu w oleju,
- odpuszczaniu i chłodzeniu w wodzie.

### 3. Wyniki badań

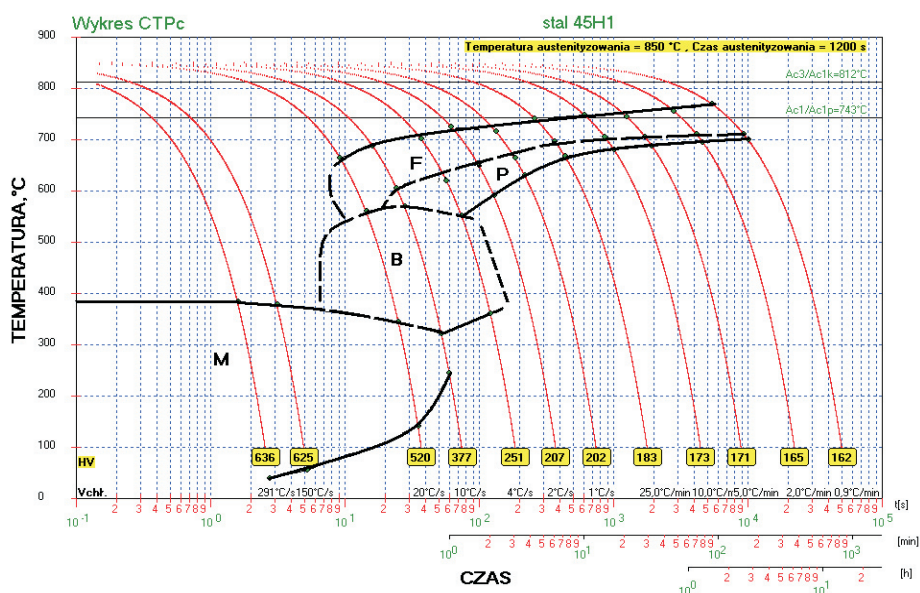
Wyniki badań składu chemicznego prętów  $\phi = 42$  mm ze stali 45H1 podano w tabeli 1.

TABELA 1

Skład chemiczny prętów  $\phi = 42$  mm ze stali 45H1

Skład chemiczny [%], analiza kontrolna	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
	0,43	0,73	0,31	0,018	0,018	1,05	0,18	0,05	0,30	0,026

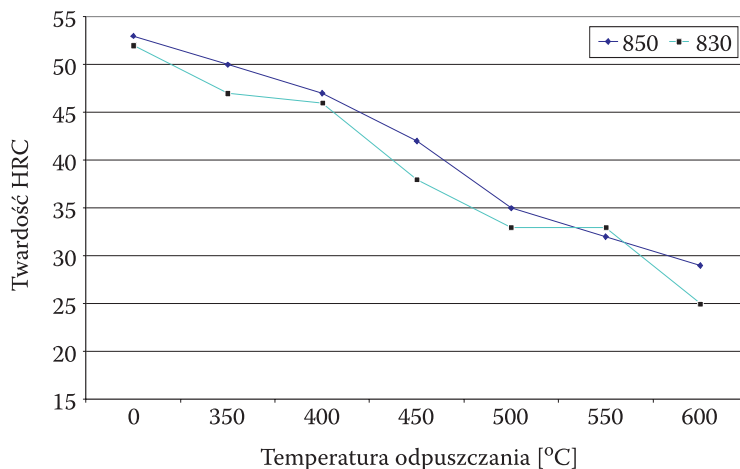
Na rysunku 1 przedstawiono wykres przemian fazowych CTP<sub>C</sub> zachodzących podczas chłodzenia ciągłego w zakresie szybkości od 292°C/s do 1°C/min z temperatury austenizacji  $T_a = 850^\circ\text{C}$ , po czasie austenizowania 1200 s.



Rys. 1. Wykres przemian fazowych CTP<sub>C</sub> zachodzących w stali 45H1 po chłodzeniu ciągłym z temperatury austenizacji 850°C

Wykresy odpuszczania dla różnych wariantów ulepszenia cieplnego próbek wyciętych z prętów ze stali 45H1 przedstawiono na rysunku 2.

Na podstawie wyników badań przemian fazowych zachodzących w stali 45H1, o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1, podczas chłodzenia ciągłego z temperatury austenizacji  $T_a = 850^\circ\text{C}$  i przebiegu krzywych odpuszczania po hartowaniu w oleju



Rys. 2. Krzywe odpuszczania stali 45H1 w zakresie od 350 do 600°C w ciągu 1,5 h, dla dwóch temperatur hartowania 850 i 830°C

z temperatur 850 i 830°C wyznaczono parametry obróbki cieplnej prętów ze stali 45H1 polegającej na:

- normalizowaniu w powietrzu po wygrzaniu pręta w temperaturze 860°C przez 1 h;
- hartowaniu w oleju z temperatury 850°C po wygrzaniu pręta w temperaturze przez 1 h;
- odpuszczaniu w temperaturze 600°C przez 1,5 h i chłodzeniu w wodzie.

Po obróbce cieplnej uzyskano następujące właściwości mechaniczne prętów:  $R_m = 1054$  MPa;  $R_{0,2} = 997$  MPa;  $A_5 = 17,0\%$ ;  $Z = 51\%$ ;  $KCU2 = 53$  J/cm<sup>2</sup> (w temperaturze pokojowej);  $U_{-40^\circ\text{C}} \text{ ISO-V} = 16$  J.

Na rysunku 3 przedstawiono krzywe naprężenie-odkształcenie określone za pomocą symulatora procesów metalurgicznych GLEEBLE SYSTEM 3800 w zakresie odkształceń ściskających do 0,8 stosując prędkość odkształcenia  $10 \text{ s}^{-1}$  w temperaturach 900°C, 1025°C i 1150°C. Na podstawie krzywych naprężenie-odkształcenie wyznaczono wartości odkształcenia, dla których naprężenia osiągały maksymalne wartości i określono wartości naprężenia dla maksymalnych odkształceń ( $\varepsilon = 0,8$ ) zastosowanych w eksperymencie.

W każdej temperaturze odkształcenia największe wartości naprężeń występują przy odkształceniu około 0,4 i wynoszą odpowiednio:

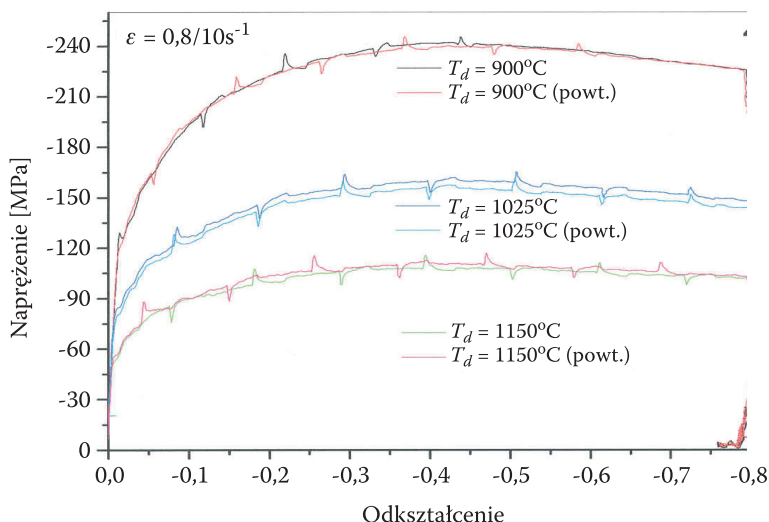
- w temp. 900°C — 241 MPa
- w temp. 1025°C — 160 MPa
- w temp. 1150°C — 111 MPa,

a po odkształceniu 0,8 wynoszą odpowiednio:

w temp. 900°C — 226 MPa

w temp. 1025°C — 145 MPa

w temp. 1150°C — 101 MPa.

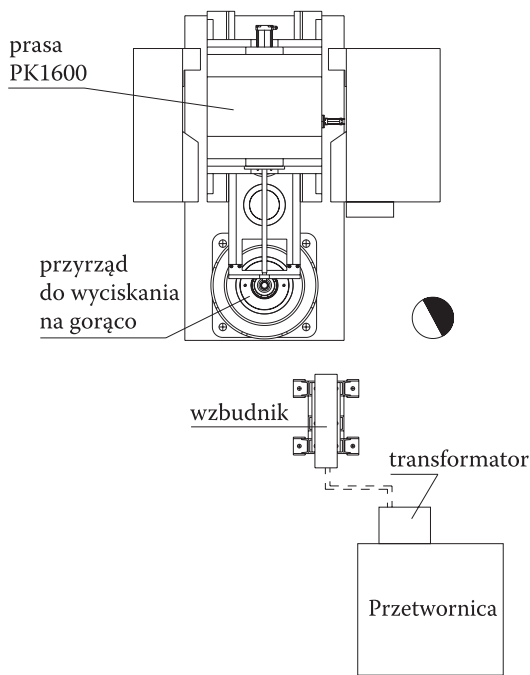


Rys. 3. Krzywe naprężenie-odkształcenie dla stali 45H1 w zakresie odkształceń ściskających do 0,8 przy prędkości odkształcenia  $10 \text{ s}^{-1}$  w temperaturach 900°C, 1025°C i 1150°C

#### 4. Prototypowe stanowisko do wyciskania na gorąco z zastosowaniem nagrzewania indukcyjnego korpusów

Przyjęto, że stanowisko prototypowe do wytwarzania korpusów metodą wyciskania na gorąco zostanie umieszczone w obrębie prasy kolanowej PK 1600, będącej na wyposażeniu FPS w Bolechowie, a do jego budowy zaadaptowano istniejące w FPS urządzenia. Przyjęto również wstępne założenia do wykonania stanowiska do produkcji przemysłowej.

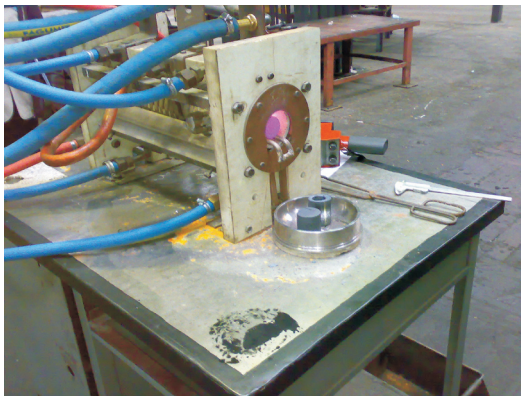
Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat prototypowego stanowiska do wyciskania na gorąco korpusów

## 5. Przeprowadzenie prób technologicznych

Wykonanie korpusów wyciskanych na gorąco rozpoczęto od nagrzania wsadu we wzbudniku. Wsad składał się z 9 sztuk odcinków pręta. Proces nagrzewania wsadu („przedgotówek”), pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Proces nagrzewania wsadu („przedgotówek”)

Po nagraniu wsadu do temperatury pomiędzy  $995 \div 1035^{\circ}\text{C}$ , przystąpiono do wykonania operacji wyciskania na gorąco. „Przygotówka”, po wyjęciu ze wzbudnika została umieszczona w gnieździe matrycy (rys. 6). Wcześniej, narzędzia (stempel i matryca) zostały pokryte smarem, w celu zmniejszenia tarcia powierzchniowego i zmniejszenia zużycia narzędzi. Następnie wykonano operację wyciska korpusu na gorąco.



Rys. 6. „Przygotówka”, po wyjęciu ze wzbudnika umieszczona w gnieździe matrycy

## 6. Przeprowadzenie badań właściwości mechanicznych oraz makrostruktury i mikrostruktury korpusów wykonanych z partii próbnej

Proces wyciskania na gorąco prowadzono stopniowo, zwiększając głębokość wciskania stempla. Wciskanie stempla do materiału wsadowego nagrzanego do temperatury  $1025^{\circ}\text{C}$  rozpoczęto od 35 mm, a zakończono przy wgłębieniu na głębokość 52 mm.

Po wyciskaniu na gorąco korpusu na prasie kolanowej PK-1600 uzyskano jednorodny rozkład makrostruktury na przekroju wzdłużnym do kierunku działania stempla podczas wyciskania. Makrostruktura korpusu obrobionego cieplnie również jest jednorodna na przekroju wzdłużnym, o czym świadczą wyniki pomiaru twardości (tab. 2).

TABELA 2

Wyniki pomiarów twardości HV10(98N) wzdłuż ścianki wgłębienia w kierunku dna korpusu obrobionego cieplnie po wyciskaniu na gorąco na głębokość 52 mm

Głębokość wciskania	Wyniki pomiarów twardości HV10(98N)										
	52 mm	287	283	276	270	287	276	283	287	281	281

Obróbka cieplna polegała na hartowaniu w wodzie z temperatury 840°C po wytrzymaniu w temperaturze austenitowania przez 1 h i odpuszczaniu w temperaturze 650°C przez 1,5 h z zastosowaniem chłodzenia w wodzie. Wyniki badań właściwości mechanicznych korpusów po obróbce cieplnej przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Wyniki badań właściwości mechanicznych „świadków” korpusów obrobionych cieplnie po wyciskaniu na gorąco na głębokość 52 mm

Właściwości mechaniczne	$R_e$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	Z [%]	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]
Wymagania	–	min 1000	min 35	min 50
Wartość minimalna	924	1040	50	50,2
Wartość maksymalna	1009	1090	53	114,0
Wartość średnia	997	1054	51	77,8

## 7. Wnioski

- Do wykonania korpusów GKO zastosowano metodę wyciskania na gorąco w matrycy półotwartej. Metoda ta polega na tym, że metal w postaci pręta po nagraniu do stanu plastycznego, pod wpływem nacisku narzędzia wyciskany jest przez otwór matrycy i otrzymuje kształt odpowiadający kształtowi stempla i matrycy.  
W celu zmniejszenia współczynnika tarcia i częściowego ich schłodzenia zastosowano smarowanie narzędzi.
- W wyniku przeprowadzonych badań opracowano parametry wyciskania na gorąco i obróbki cieplnej korpusów:
  - ustalono **średnią temperaturę wyciskania** na gorąco wyprasek na prasie mechanicznej i **głębokość wciskania stempla**,
  - ustalono parametry obróbki cieplnej korpusów polegające na:
    - normalizowanie w powietrzu;
    - hartowanie w wodzie;
    - odpuszczanie i chłodzenie w wodzie.
- Struktura korpusów obrobionych cieplnie po wyciskaniu na gorąco na prasie kolanowej PK-1600 jest jednorodna na przekroju wzdłużnym, a twardość zmienia się w zakresie od 276 do 287 HV10 (89N).
- Opracowana technologia zapewnia uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych korpusów. Uzyskane wartości minimalne  $R_m = 1040$  MPa,  $Z = 50\%$  i  $KCU_2 = 50,2$  J/cm<sup>2</sup> są wyższe od wymaganych minimów:  $R_m = 1000$  MPa,  $Z = 35\%$  i  $KCU_2 = 50$  J/cm<sup>2</sup>.



Praca została zrealizowana przez Instytut Metalurgii Żelaza w Gliwicach oraz Fabrykę Produkcji Specjalnej Sp. z o.o. w Bolechowie w ramach Projektu Celowego nr 148450/C-T00/2006 pt.: „Opracowanie i wdrożenie technologii produkcji korpusów wyciskanych na gorąco przeznaczonych na wyroby dla przemysłu obronnego”, dofinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

J. STĘPIEŃ, J. MATERNIAK, Z. KACZMAREK, D. SZALAŁATA

**Tests of manufacturing high-explosive dual purpose bodies  
by hot extrusion method**

**Abstract.** The purpose of the research was to develop technological assumptions for hot extrusion of the HEDP bodies from 45H1 steel for special products used in the defence industry. The technological assumptions for bodies, including the parameters of charge heating, extrusion and heat treatment of forgings, were presented. The possibility of adaptation of the equipment existing in the FPS for construction of the prototype body extrusion stand was reviewed. The developed technology ensures obtaining the required mechanical properties of the HEDP bodies:  $R_m$  min 1000 MPa,  $Z$  min 35% and  $KCU$  min 50 J/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** hot extrusion, strength properties, metal structure

**Universal Decimal Classification:** 669.14

