

Nr 100/2017, 141–151  
ISSN 1644-1818  
e-ISSN 2451-2486

## PROCES TECHNOLOGICZNY KUCIA PÓLFABRYKATU WAŁKA ROZRZĄDU

## THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORGING BLANK CAMSHAFT

**Katarzyna Panasiuk**

Akademia Morska w Gdyni, Morska 81-87, 81-225 Gdynia, Wydział Mechaniczny,  
Katedra Podstaw Techniki, e-mail: k.panasiuk@wm.am.gdynia.pl

**Streszczenie:** W artykule podjęto temat procesu technologicznego kucia półfabrykatu wałka rozrządu. Scharakteryzowano materiały stosowane na półfabrykaty wałków rozrządu. Określono warunki doboru technologii wytwarzania półfabrykatów. Przedstawiono proces kucia i matrycowania. Dokonano też opisu prac kończących produkcję półfabrykatów wałków rozrządu. Opracowano kartę technologiczną dla procesu kucia.

**Słowa kluczowe:** wałek rozrządu, proces technologiczny, kucie, półfabrykat, karta technologiczna.

**Abstract:** The article presents technological process of forging blank camshafts. It describes materials used on the camshafts blanks. The paper also sets out the conditions for the selection of manufacturing technology of semi-finished products. It shows the process of forging and stamping. The ending work in the production process of semi-finished products is described. The card for forging process of semi-finished camshafts is developed.

**Keywords:** camshaft, technological process, forging, blanks, process card.

### 1. WSTĘP

Wałek rozrządu odgrywa ważną rolę w silniku, jego podstawowym zadaniem jest otwieranie i zamykanie zaworów dolotowych i wylotowych silnika według konstrukcyjnie odpowiednich czasów sterowania. Musi on sprostać określonym wymaganiom konstrukcyjnym, wytrzymałościowym, powinien posiadać odpowiednią twardość, sprężystość, aby był elementem trwałym i niezawodnym.

Jedną z najstarszych technologii produkcji półfabrykatów wałków rozrządu i zarazem jedną z pierwszych jest kucie. Mimo że technologia produkcji bardzo się rozwinęła, wprowadzając inne metody wytwarzania, takie jak odlewanie, obróbka skrawaniem czy hydroforming, kucie w dalszym ciągu jest najlepszą metodą

wykorzystywaną szczególnie w seryjnej produkcji wałków rozrządu do silników okrętowych oraz silników samochodów ciężarowych. Technologia ta pozwala na wyprodukowanie półfabrykatów wałków rozrządu o wysokiej wytrzymałości i trwałości, co jest niezbędne w silnikach, do których są one wykorzystywane. Na świecie jest wiele firm zajmujących się produkcją kutech półfabrykatów wałków rozrządu, najczęściej nie jest to produkcja jednostkowa, ale wielkoseryjna lub masowa. Wynika to z potrzeby zminimalizowania kosztów produkcji tych elementów, gdyż do ich wytwarzania trzeba użyć złożonych matryc i płyt tnących. Produkcja jednostkowa i uwzględniająca indywidualne potrzeby klienta nie jest więc opłacalna.

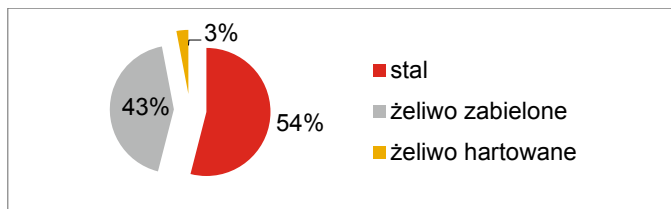
Celem tego artykułu jest omówienie technologii wytwarzania kutech półfabrykatów wałków rozrządu. Proces technologiczny kucia półfabrykatów wałków rozrządu jest niezwykle skomplikowany. Składa się na niego wiele złożonych operacji technologicznych, z których niemal każda wymaga dużej wiedzy naukowej i fachowej. Firmy, którym udało się opracować technologię produkcji półfabrykatów wałków rozrządu, nie są skore do jej rozpowszechniania. Artykuł powstał z wykorzystaniem dostępnej literatury przedmiotu, informacji uzyskanych od firm zajmujących się produkcją wałków rozrządu, a także kuźni zajmujących się tego rodzaju elementami maszyn.

## **2. MATERIAŁY STOSOWANE NA PÓLFABRYKATY WAŁKÓW ROZRZĄDU**

Wałki rozrządu (półfabrykaty) wykonuje się z:

- a) ze stali niskostopowych – są one kute, a robocze powierzchnie krzywek, czopów i mimośrodków są nawęglane do głębokości 1–1,5 mm, a następnie hartowane do twardości 54–56 HRC;
- b) ze stali niestopowych do ulepszania cieplnego, np. C45 – wałki z tego materiału są odkuwane, a ich krzywki, czopy i mimośrody hartuje się na głębokość 0,8 mm, do twardości 52 HRC;
- c) z żeliwa sferoidalnego, np. EN-GJS-800-2 – wałki te są odlewane i posiadają hartowane powierzchniowo krzywki i mimośrody na głębokość 2–7 mm, do twardości 40 HRC;
- d) z żeliwa stopowego o zawartości chromu 0,45–0,75% i molibdenu 0,45–0,55% – są odlewane, a następnie hartowane do twardości co najmniej 50 HRC.

Czopy oraz krzywki wałka powinny charakteryzować się odpowiednią twardością, rdzeń wałka rozrządu musi być miękki i elastyczny. Materiał do wytwarzania wałka powinien wyróżniać się małą gęstością. Najczęściej stosowanymi materiałami na wałki rozrządu silników z zapłonem samoczynnym są żeliwo zabielona oraz stal. Rzadziej wykorzystuje się żeliwo hartowane (rys. 1) [Adamiec 1998].



**Rys. 1.** Rodzaje materiałów stosowanych na wałki rozrządu europejskich silników z zapłonem samoczynnym

**Fig. 1.** Types of materials used on camshafts of European compression ignition engines

### 3. DOBÓR TECHNOLOGII WYTWARZANIA PÓŁFABRYKATU ORAZ PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU WYJŚCIOWEGO

Opracowanie procesu technologicznego rozpoczęto od doboru technologii wytwarzania półfabrykatu spośród aktualnie dostępnych na rynku. Po dokonaniu dokładnej analizy wybrano metodę najkorzystniejszą pod kątem wymagań technologicznych oraz jakościowych, tj. kucie matrycowe w matrycach otwartych (z wypływką). Istotnym argumentem przemawiającym za wyborem owej metody były wady innych technologii. Prasy są bardzo czułe na przeciążenia, co oznacza, iż w procesie kucia matrycowego bez wypływki konieczne są dokładne wyliczenia, dotyczące wymiarów materiału wykorzystywanego jako wsad, ponieważ musi on w 100% zgadzać się z wymiarami gotowego półfabrykatu. Nie jest to łatwe, gdyż wałek rozrządu jest elementem o złożonych kształtach i nawet niewielkie różnice w objętości mogą doprowadzić do np. zakleszczenia pras. Półfabrykat wałka, kuty w matrycach zamkniętych z wypływką, potrzebuje jedynie dobrania odpowiedniego naddatku, tak aby wypływka stanowiła jak najmniejszą objętość (ok. 20–30%).

Uwzględniając wszystkie wady i zalety technologii wykorzystywanych w produkcji półfabrykatów wałka rozrządu, można stwierdzić, że najlepszą technologią jest kucie w matrycach zamkniętych. Półfabrykaty wytwarzane w tym procesie znajdują swoje zastosowanie we wszystkich silnikach pomimo kosztów wynikających z niezbędnych matryc i oprzyrządowania. Reasumując, produkcja seryjna i wielkoseryjna jest opłacalna.

Półfabrykaty kutych wałków rozrządu powinny mieć wysoką wytrzymałość i odporność na naprężenia, trwałość eksploatacyjną. Mając to na uwadze, podjęto próbę opracowania procesu technologicznego dla tej właśnie technologii.

Pierwszym i zarazem najważniejszym elementem był dobór materiału wyjściowego – pręta walcowanego ze stali C45. Następnie zaprojektowano odkuwkę półfabrykatu wałka rozrządu tak, aby dobrać odpowiednie wymiary pręta – 920 × 65 cm.

Technologię wytwarzania półfabrykatu wałka rozrzędu rozpoczyna się od cięcia pręta na wymiar  $920 \times 65$  cm, wykorzystując do tego piły tarczowe, które charakteryzuje największa dokładność cięcia. Kolejną operacją jest walcowanie wstępne, stosowane w celu zminimalizowania naddatku na wypływkę. Część po walcowaniu wstępnym przybiera wymiary z 2 mm naddatkiem na kucie matrycowe [Feld 2000].

#### 4. PROCESY KUCIA I MATRYCOWANIA

Procesy kucia i matrycowania wykonywane są w podwyższonej temperaturze w zależności od gatunku stali (w przypadku stali C45 jest to  $800\text{--}1100^\circ\text{C}$ ). Można je określić jako połączenie procesu obróbki cieplnej i cieplnego oddziaływania na metal. Ciepłe oddziaływanie na metal powoduje prawie całkowitą utratę właściwości sprężystych, zmniejszenie oporu odkształcenia oraz zwiększenie plastyczności. Doprowadza również do rekrystalizacji i rozpuszczenia węglików, przyspieszając przy tym proces odkształcenia. Optymalne parametry dla kucia i matrycowania powinny zapewnić prawidłowy przebieg procesu i wysoką jakość odkuwek, przy jednoczesnym ograniczeniu do minimum działania ciepła.

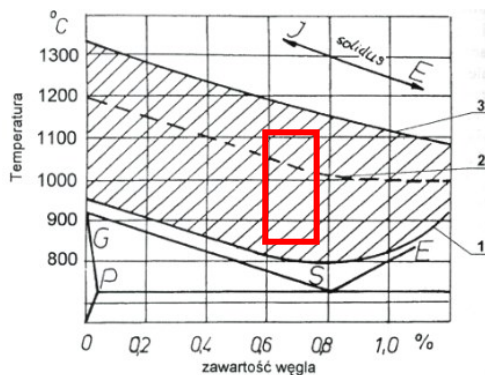
Procesy kucia i matrycowania, prowadzone w podwyższonej temperaturze (w zależności od gatunków stali w temperaturach  $750\text{--}1300^\circ\text{C}$ ), można rozpatrywać jako połączenie procesu obróbki plastycznej i cieplnego oddziaływania na metal. Ogólnie rzecz ujmując, przy kuciu wlewków konieczne jest:

- 1) przekształcenie lanej makrostruktury na włóknistą;
- 2) nadawanie odkuwkom właściwego kształtu i wymiarów;
- 3) otrzymywanie optymalnej ziarnistości przy minimalnych nieprężeniach szczątkowych [Wasiuńk 1982].

Przy kuciu i matrycowaniu odkuwek z prętów rozwiązuje się dwa ostatnie zagadnienia. Ciepłe oddziaływanie na metal powoduje utratę właściwości sprężystych, zmniejszenie oporu odkształcenia i zwiększenie plastyczności materiału. Doprowadza również do rekrystalizacji i rozpuszczania węglików, przyspieszając tym proces odkształcenia. Optymalne ciepłe parametry kucia i matrycowania powinny zapewnić prawidłowy przebieg całego procesu i wysoką jakość odkuwek przy ograniczeniu do minimum szkodliwego działania ciepła.

Jednym z najważniejszych zadań podczas opracowywania cieplnych warunków kucia matrycowego jest ustalenie zakresu temperatur kucia, tzn. różnicy pomiędzy górną temperaturą graniczną nagrzania wsadu a dolną temperaturą graniczną zakończenia kucia. Najistotniejszym czynnikiem określającym tę temperaturę jest skład chemiczny materiału. Temperatura kucia mieści się między temperaturą krzepnięcia i końca rekrystalizacji materiału [Wasiuńk 1987]. Jako że materiałem wybranym na półfabrykat wałka rozrzędu jest stal C45, temperatury dla kucia można wyznaczyć na podstawie wykresu żelazo – węgiel.

Na rysunku 2 przedstawiono zakresy temperatur kucia dla stali węglowych, z uwzględnieniem grubości materiałów [Mazurkiewicz 1997].



**Rys. 2.** Zakres temperatur kucia dla stali węglowych: 1–3 – półwyroby cienkie, 1–2 – półwyroby grube

**Fig. 2.** Forging range for carbon steels: 1–3 – thin semi-finished products, 1–2 – thick semi-finished products

#### 4.1. Określenie grubości wsadu

Procesy nagrzewania metali dzieli się na procesy nagrzewania wsadu cienkiego i grubego. Nie chodzi tutaj o grubość rzeczywistą, lecz o pojęcia klasyfikacyjne. Zaliczenie danego materiału do jednej z tych grup zależy nie tylko od jego wymiarów, ale też od przewodnictwa cieplnego i intensywności nagrzewania.

Jako kryterium grubości wsadu przyjmuje się liczbę Biota:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha$  – współczynnik przenikania ciepła  $\left[ \frac{W}{m^2 \times K} \right]$ ,

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła  $\left[ \frac{W}{m^2 \times K} \right]$ ,

$L$  – grubość wsadu – dla wsadu okrągłego należy zastąpić  $L$  promieniem  $R$  [m].

Według liczby Biota rozróżnia się wsad cienki, gdy  $Bi < 0,25$ ; mniej cienki, gdy  $0,25 \leq Bi < 0,5$ ; średnio gruby, gdy  $0,5 \leq Bi < 2,5$ ; bardzo gruby, gdy  $Bi > 2,5$ . Wartością graniczną, dzielącą wsad na gruby i cienki, jest liczba  $Bi = 0,5$  [Wasiunyk 1987].

Wyznaczanie liczby  $Bi$  dla stali C45:

$$\lambda = 50 \frac{W}{m^2 \times K} \quad [PN-EN 12524:2003],$$

$$L = 32,5 \text{ mm} = 0,325 \text{ m},$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{L} \text{ (dla materiałów jednorodnych)} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{L} = 77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = \frac{77 \cdot 0,325}{50} = 0,5$$

Bi dla stali C45 wynosi 0,5, więc materiał jest średnio gruby, temperatury kucia dla tego materiału zgodnie z wykresem żelazo – węgiel wynoszą 850–1100°C.

Dla wsadu grubego największe znaczenie mają następujące procesy nagrzewania:

- 1) przy stałej temperaturze pieca,
- 2) przy stałym strumieniu ciepła,
- 3) ze stałą prędkością wzrostu temperatury wsadu,
- 4) przy stałej temperaturze powierzchni wsadu [Wasiunyk 1987].

#### 4.2. Obliczenie czasu nagrzewania materiału

Dane potrzebne do obliczenia czasu nagrzewania materiału są następujące:

- temperatura walca –  $t' = 20^\circ\text{C}$ ,
- temperatura nagrzanego walca –  $t'' = 1050^\circ\text{C}$ ,
- temperatura pieca –  $t_{\text{piec}} = 1100^\circ\text{C}$ ,
- masa właściwa stali –  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ,
- stała promieniowania –  $C = 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ,
- ciepło właściwe –  $c = 712 \text{ J/(kgK)}$ ,
- współczynnik przewodzenia ciepła –  $\lambda = 50 \text{ W/mK}$ ,
- promień walca –  $R = 0,325 \text{ m}$ .

Współczynnik przenikania ciepła  $\alpha$  zależy od temperatury, należy obliczyć jego średnią wartość:

$$\alpha' = C \cdot \frac{\left(\frac{T_{\text{piec}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T'}{100}\right)^4}{T_{\text{piec}} - T} \quad (3)$$

$$\alpha' = 423 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha'' = C \cdot \frac{\left(\frac{T_{\text{piec}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T''}{100}\right)^4}{T_{\text{piec}} - T}$$

$$\alpha'' = 343 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\alpha_{sr} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2} \quad (4)$$

$$\alpha_{sr} = 383 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Liczbę Biota oblicza się według wzoru:

$$Bi = \frac{\alpha_{sr} \cdot R}{\lambda} = 2,49$$

Czas nagrzewania materiału zostanie policzony ze wzoru na liczbę Fouriera:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2} \quad (5)$$

gdzie:

$a$  – współczynnik przewodzenia temperatury,

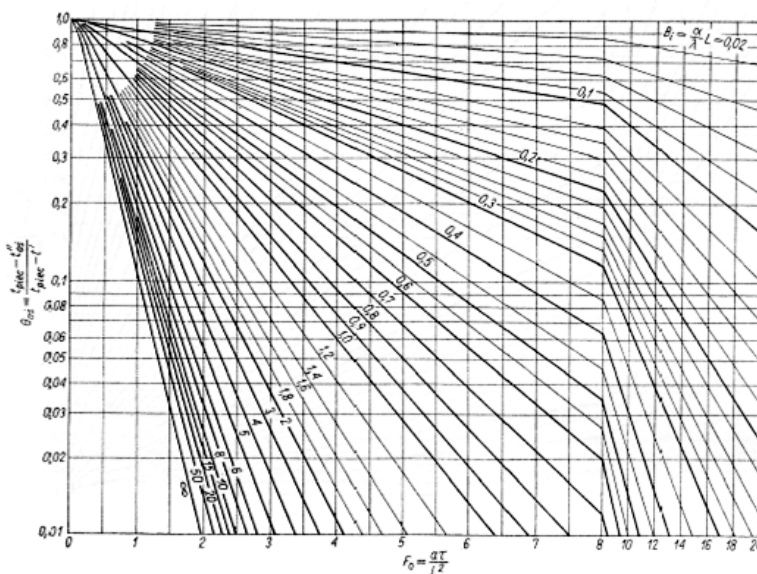
$\tau$  – czas nagrzewania,

$R$  – promień wsadu.

Współczynnik przewodzenia temperatury  $a$  oblicza się ze wzoru:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = 8,9 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (6)$$

Liczbę Fouriera odczytuje się z wykresu, mając daną temperaturę względną powierzchni walca oraz liczbę Biota (rys. 3) [Wasiunyk 1987].



**Rys. 3.** Temperatura względna powierzchni walca  $\theta$  nagranego w ośrodku o stałej temperaturze  $t_{piec} = const$

**Fig. 3.** Relative temperature of the roll Surface  $\theta$  in a constant temperature  $t_{piec} = const$

W celu obliczenia temperatury względnej  $\theta$  dla powierzchni walca wykorzystuje się wzór:

$$\theta = \frac{t_{piec} - t''}{t_{piec} - t'} = 0,046 \quad (7)$$

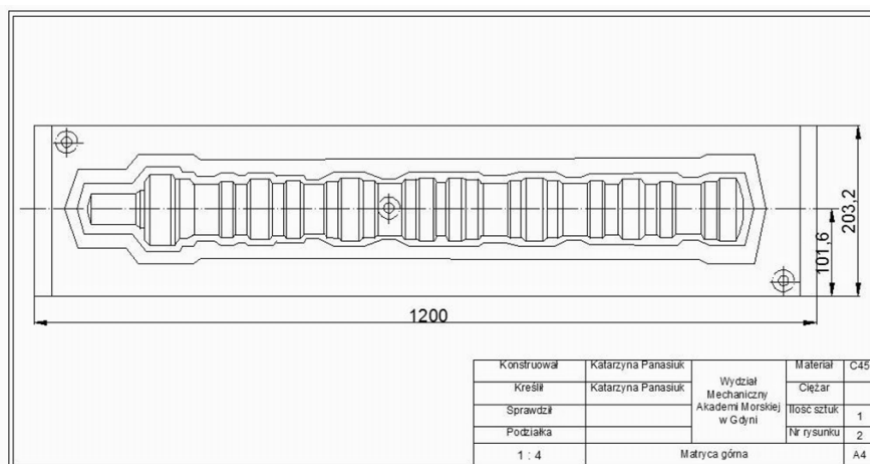
Liczba Fouriera odczytana z wykresu (rys. 3) wynosi:

$$F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{R^2} = 2,75,$$

stąd czas nagrzewania walca:

$$\tau = \frac{F_o \cdot R^2}{\alpha} = 576 \text{ min} \quad (8)$$

Po nagraniu wsadu umieszcza się go w matrycach w celu matrycowania wstępnego. Do kucia matrycowego w matrycach zamkniętych niezbędne są matryce, odpowiadające ściśle wymiarom gotowej odkuwki, stąd też rysunki matryc (górnej i dolnej) z dokładnymi wymiarami (rys. 4). Jak wcześniej wspomniano, w procesie kucia matrycowego w matrycach zamkniętych powstaje wypływka, toteż zaprojektowano płytę tnącą do zamontowania w prasach w celu okrawania nadmiaru materiału.



**Rys. 4.** Projekt matrycy górnej [Panasiuk 2016]

**Fig. 4.** Top matrix project [Panasiuk 2016]

Do kucia matrycowego dobrano prasę korbową typu Maxi, ponieważ jest ona najczęściej stosowana do elementów kutyh, szczególnie w dużych seriach. Prasy te mają stały skok roboczy, który uniemożliwia odkształcenie metalu kilkoma skokami suwaka w jednym wykroju. Stała wielkości skoku wymaga zastosowania wykrojów pomocniczych do wykonania przedkuwek, a wykonywanie operacji pomocniczych na prasach jest nieekonomiczne, dlatego też wykorzystuje się do tego walcarki w celu walcowania wstępnego materiału (tak jak w opisanym

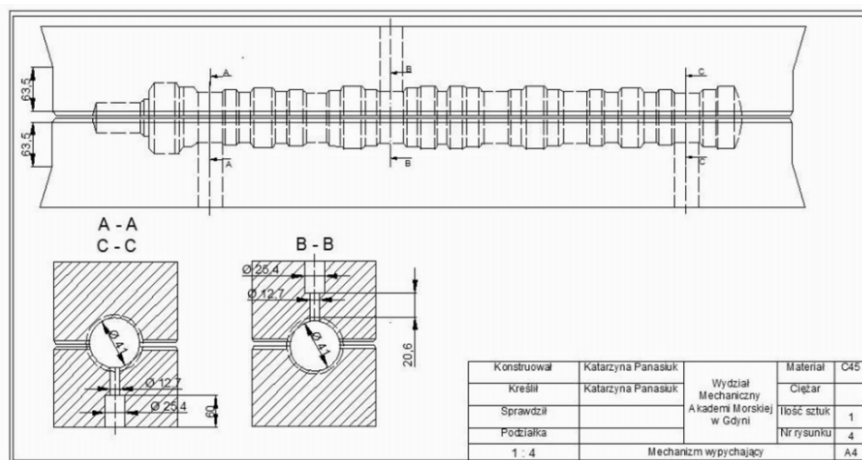


procesie). Szerokie rozpowszechnienie pras korbowych wynika z ich właściwości, w porównaniu np. do młotów: wyższy współczynnik sprawności, większa dokładność wymiarów wykonywanych odkuwek, większa wydajność w wyniku zmniejszenia w każdym wykroju liczby uderzeń do jednego, większy stopień wykorzystania metalu w wyniku zmniejszenia wielkości naddatków, odchyłek wymiarowych i zbieżności kuźniczych, lepsze warunki pracy, mniejsze koszty produkcji – koszt produkcji zmniejsza się w wyniku oszczędności materiałowych i eksploatacyjnych [Wasiunyk 1987].

Po matrycowaniu wstępnym uzyskuje się gotowe wymiary odkuwki bez krzywek, aby w kolejnej operacji matrycować na gotowo do otrzymania wymaganych wymiarów odkuwki. Warto też wspomnieć o zaprojektowanych mechanizmach wypychających, dzięki którym po matrycowaniu z łatwością zostanie usunięta odkuwka z matrycy.

## 5. OPERACJE WYKOŃCZENIOWE

Po operacjach matrycowania powstanie wypływka, więc konieczna jest zmiana oprzyrządowania – matryca górna na płytę tnącą, w celu okrawania wypływki i usunięcia zbędnego materiału [Muster 1986]. W wyniku działania mechanizmów wypychających odkuwka półfabrykatu może wymagać dodatkowej operacji – prostowania.



**Rys. 5.** Projekt mechanizmu wypychającego [Panaśuk 2016]


**Fig. 5.** Project of a push mechanism [Panaśuk 2016]

W tym celu ponownie montuje się matrycę górną zamiast płyty tnącej tak, aby wyprostować odkuwkę. Po otrzymaniu gotowej odkuwki konieczna jest obróbka cieplna – odpuszczanie. Stosuje się je w celu usunięcia naprężeń hartowniczych

oraz po to, żeby zmienić właściwości fizyczne zahartowanej stali, a przede wszystkim podnieść udarność zahartowanej stali kosztem zmniejszenia twardości.

Odpuszczanie polega na rozgrzaniu zahartowanego wcześniej przedmiotu do temperatury w granicach od 150 do 650°C, przetrzymywaniu w tej temperaturze przez pewien czas, a następnie schłodzeniu. W przypadku odkuwki półfabrykatu wałka rozrządu ze stali C45 jest on podgrzewany do temperatury 600°C, a następnie chłodzony w temperaturze powietrza. Czas trwania procesu odpuszczania wynosi 6 godzin [Sińczak 2001].

Ostatnią operacją w procesie produkcji półfabrykatu wałka rozrządu jest kontrola jakości, podczas której wałek jest dokładnie mierzony wraz z krzywkami. Po sprawdzeniu wałka rozrządu przez kontrolę jakości jest on gotowy do sprzedaży lub dalszej obróbki mechanicznej [Panasiuk 2016]. Cały proces technologiczny wytwarzania półfabrykatów wałków rozrządu został przedstawiony w formie karty technologicznej, uwzględniającej czasu dla każdej operacji wraz z wymaganym oprzyrządowaniem (rys. 6).

 <b>AKADEMIA MORSKA W GDYNI</b> WYDZIAŁ MECHANICZNY Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów		<b>KARTA TECHNOLOGICZNA</b> nr 1						Nr arkusza : 1	
		Nazwa części: <b>WAŁEK ROZRZĄDU</b>			Nr rys. części: 1			Opracowano dla produkcji: - jednostkowej - seryjnej - masowej	
Materiał wyjściowy dla 1 sztuki									
Rodzaj: Stal niestopowa (węglowa) konstrukcyjna	Gr.: C45	Wymiary z nadkami: 950 x 70[mm]			Masa kg: 5		Warunki techniczne: -		
Nr operacji	Operacja	Wydział	Stanowisko	Nr instrukcji	Kateg. zaszeregow.	t <sub>pr</sub>	t <sub>s</sub>	Uwagi	
10	Cięcie na wymiar	MECH	Piła tarczowa	1		0,10	0,12		
20	Walcowanie	MECH	Walcarka	2		0,07	0,15		
30	Nagrzewanie	MECH	Piec indukcyjny	3		0,10	9,5		
40	Matrycowanie wstępne	MECH	Prasa	4		0,10	0,20		
50	Matrycowanie na gotowo	MECH	Prasa	5		0,05	0,15		
60	Obcinanie wypłytki na gorąco	MECH	Prasa	6		0,10	0,15		
70	Prostowanie odkuwki	MECH	Prasa	7		0,10	0,15		
80	Odpuszczanie	MECH	Piec indukcyjny	8		0,10	7		
90	Kontrola jakości	MECH	QC	9		0,10	0,30		
Czas całkowity:							18,12		
Opracował: <b>Katarzyna Panasiuk</b>		Podpis :	Data: 12.02.16	Sprawdził:		Data:	Uwagi :		

**Rys. 6.** Karta technologiczna dla procesu technologicznego kucia półfabrykatu wałka rozrządu [Panasiuk 2016]

**Fig. 6.** Technology card for technological process of forging blank camshaft [Panasiuk 2016]

## 6. PODSUMOWANIE

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie procesu kucia półfabrykatu wałka rozrządu. Na podstawie dostępnej literatury przedmiotu i badań prowadzonych w firmach zebrano informacje na temat materiałów stosowanych na wałki rozrządu, wymagań technologicznych, które powinny one spełniać jako istotny element w pracy silnika. Dobrano materiał wyjściowy, dokonano wyboru wymiarów dla półfabrykatu wałka tak, aby narysować odpowiednie dla niego matryce do kucia i płytę tnącą do okrawania wypłytki oraz obliczono czas nagrzewania w piecu konieczny do przygotowania pełnej dokumentacji technicznej dla procesu produkcyjnego.

W artykule skupiono uwagę na półfabrykatkach wałków rozrządu wykonanych technologią kucia. Ta technologia zapewnia najwyższą jakość produktu. Dzięki niej wałek rozrządu jest w stanie wytrzymać wszelkie możliwe naprężenia w trakcie eksploatacji.

Inne metody, takie jak odlewanie czy też obróbka skrawaniem, stosowane są do silników samochodowych, gdzie naprężenia są znacznie mniejsze. Jest to proces skomplikowany, gdyż każda operacja jest istotna. W przypadku technologii obróbki skrawaniem gotowy pręt walcowany obrabia się na tokarkach, frezarkach, a następnie się hartuje. W efekcie trudno jest uzyskać takie wymagania technologiczne, jakie są niezbędne dla wałów silników okrętowych i samochodowych. Produkcja kutech półfabrykatów wałków rozrządu jest opłacalna, ale nie jednostkowa, tylko masowa. Prowadzi to do ciągłego rozwoju technologii oraz poszukiwania takiej, która zapewniłaby jakość wyrobu porównywalną do kucia. Na razie jednak technologie odlewania, obróbki skrawaniem, hydroformingu [Nishal 2016] nie spełniają takich wymagań technologicznych jak kucie.

## LITERATURA

- Adamiec, P.D.J., 1998, *Wybrane zagadnienia materiałów konstrukcyjnych i technologii wytwarzania pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Feld, M., 2000., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Mazurkiewicz, A.K.L., 1997, *Obróbka plastyczna – laboratorium*, Politechnika Radomska, Radom.
- Muster, A., 1986, *Kucie matrycowe*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Nishal, J., 2016. *Hydroforming*, <http://www.slideshare.net/NishalNellissery/hydro-forming-45278499>.
- Panasiuk, K., 2016, *Opracowanie procesu technologicznego kucia półfabrykatów wałków rozrządu*, praca magisterska niepublikowana, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia.
- PN-EN 12524:2003, *Materiały i wyroby budowlane*.
- Sińczak, J., 2001. *Procesy przeróbki plastycznej – ćwiczenia laboratoryjne*, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków.
- Wasiunyk, P., 1982, *Teoria procesów kucia i prasowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Wasiunyk, P., 1987, *Kucie matrycowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.