

Nr 100/2017, 152–163  
ISSN 1644-1818  
e-ISSN 2451-2486

## TECHNOLOGIE WYTWARZANIA PÓLFABRYKATÓW WAŁKÓW ROZRZĄDU DO SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

### TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING CAMSHAFTS FOR MARINE ENGINES

**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 kwestię wytwarzania półfabrykatów wałków rozrządu do silników okrętowych. Wyjaśniono pojęcia oraz przekazano istotę technologii kucia. Scharakteryzowano kucie swobodne i matrycowe oraz maszyny i narzędzia stosowane w tym procesie technologicznym. Opisano też sposoby odlewania wałków rozrządu i wytwarzania półfabrykatów, ich modelowania za pomocą właściwych obrabiarek i nowych technologii – hydroforming.

**Słowa kluczowe:** technologia, kucie swobodne, kucie matrycowe, odlewanie, obróbka skrawaniem, hydroforming.

**Abstract:** The paper presents the production of semi-finished camshafts for marine engines. It explains the concept and shows the essence of forging technology. Hammer forging and stamping as well as machines and tools used in this process are characterized. The article also describes methods of casting camshafts and production of semi-finished products, their modeling using appropriate slicers and new technology – hydroforming.

**Keywords:** technology, free forging, die forging, casting, machining, hydroforming.

## 1. WSTĘP

Powszechnie znane są różnorodne technologie wytwarzania półfabrykatów wałków rozrządu do silników okrętowych. Te technologie określają takie czynniki, jak: miejsce przeznaczenia (np. silniki okrętowe, silniki samochodowe, silniki motocyklowe itp.), zapotrzebowanie rynku (produkcja jednostkowa, seryjna lub wielkoseryjna), stawiane wymagania technologiczne (m.in. wytrzymałość mechaniczna), możliwości ekonomiczno-finansowe wytwórcy, zdolności i sprawności osób uczestniczących w procesie technologicznym.

W procesie technologicznym, mającym na celu konstruowanie wałków rozrządu zarówno do silników okrętowych, jak i pojazdów samochodowych priorytet ma kucia matrycowe. Efektem owego kucia jest wyraźny wzrost wytrzymałości wałków rozrządu oraz ich żywotności. Podobne efekty uzyskuje się także w odniesieniu do odlewanych półfabrykatów poddanych tym zabiegom.

Do silników samochodowych i motocyklowych dość często stosuje się wałki rozrządu wykonane z wałów walcowanych (tzw. prętów), uprzednio kutyh swobodnie, a następnie obrabianych w sposób mechaniczny. Wysokie wartości naprężeń, jakim podlegają w trakcie pracy wałki rozrządu silników spalinowych, stawiają przed konstruktorami i technologami zadanie zastosowania produktów o mniej skomplikowanym procesie wytwórczym.

Jedną z nowoczesnych metod wytwarzania wałków rozrządu jest technologia hydroformingu. Ma ona zastosowanie tylko w produkcji masowej i wielkoseryjnej, a nie przy tworzeniu pojedynczych egzemplarzy, nie jest bowiem opłacalna w produkcji małoseryjnej i jednostkowej.

## **2. POJĘCIE ORAZ ISTOTA TECHNOLOGII KUCIA**

Etymologicznie termin „technologia” obejmuje przetwarzanie w sposób celowy (intencjonalny), racjonalny (rozumny) i ekonomiczny dóbr naturalnych w dobra użyteczne (półfabrykaty, produkty). Z kolei termin „kucia” definiuje się jako obrabianie (przerabianie) plastycznie na gorąco lub na zimno wyrobu z metalu przez ręczne bądź mechaniczne zginiatanie go uderzeniami czy też pod naciskiem. Można powiedzieć, że technologia kucia jest to przetwarzanie plastycznie na gorąco lub na zimno określonego wyrobu (np. wyrobu żelaznego, metalu, tworzywa sztucznego itp.) przez mechaniczne zginiatanie go uderzeniem młota bądź pod naciskiem prasy lub walców. W momencie uderzenia bijaka o metal (pominąwszy ewidentne straty energii) jego energia kinetyczna jest zamieniana na pracę odkształcenia plastycznego. Wyrób uzyskany w tym procesie technologicznym nosi nazwę odkuwki. Jeżeli proces kucia jest wielofazowy, to odkuwkę – po pierwszym kuciu – określa się mianem przedkuwki (taką samą nazwę nosi ona po drugim i kolejnych etapach kucia). Wsadem do procesów kucia mogą być wlewki, kęsiska, kęsy oraz pręty. Cechami charakterystycznymi odkuwek są: kształt i wymiary zbliżone do gotowej części, drobnoziarnista struktura, włóknisty rozkład zanieczyszczeń, podwyższone właściwości mechaniczne w stosunku do materiału wyjściowego [Sińczak 2001].

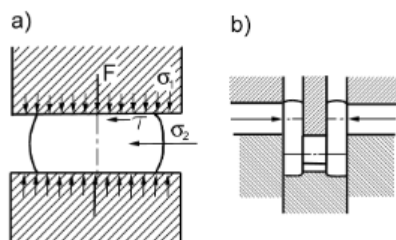
Decyzję o zastosowaniu kucia zamiast innych technologii obróbki materiału (np. odlewanie) warunkują wymagania jakościowe, dotyczące „wyższych” właściwości mechanicznych produktu. Z odkuwek wykonuje się bardzo ważne części maszyn, takie jak wirniki turbin, wały linii wałów okrętowych, wały korbowe, korbowody, elementy układu kierowniczego, haki stalowe i tym podobne.

W zależności od kształtu narzędzi i sposobu ich oddziaływania na odkształcany metal, kucie dzieli się na:

- 1) swobodne w kowadłach płaskich lub półswobodne w kowadłach kształtowych,
- 2) matrycowe w matrycach otwartych bądź w matrycach zamkniętych [Wasiuńyk 1982].

## 2.1. Ogólna charakterystyka kucia swobodnego

Kucie swobodne polega na odkształceniu metalu między narzędziami umożliwiającymi płynięcie w kilku dowolnych kierunkach (rys. 1a). Jeśli to „płynięcie metalu” jest częściowo ograniczone narzędziami, to kucie nazywa się półswobodnym (rys. 1b). Do tego sposobu kucia stosuje się specjalne kowadła kształtowe i różnego rodzaju narzędzia oraz przyrządy kształtujące fragment odkuwki (np. wykorbienia, wały korbowe). Wspomniane sposoby kucia należy odróżnić od kucia matrycowego, gdzie materiał przybiera kształt wykroju w wyniku całkowitego ograniczenia płynięcia ścianami bocznymi narzędzia. Kucie swobodne stosuje się przy niedużych seriach lub przy wykonywaniu odkuwek ciężkich. Pozwala także wykonywać odkuwki o dowolnej masie. Małe odkuwki wykonuje się ze wsadu uprzednio walcowanego, z kolei duże odkuwki – z wlewków. Maksymalna masa wlewków na odkuwki kute swobodne wynosi 500 Mg.



**Rys. 1.** Schemat kucia: a) swobodnego, b) półswobodnego [Walenty 2010]

**Fig. 1.** Diagram of forging: a) free, b) half-free [Walenty 2010]

Kucie swobodne stosuje się w następujących przypadkach:

- przy produkcji jednostkowej, gdzie wykonywanie matryc jest nieopłacalne;
- przy wykonywaniu odkuwek, których ciężar i wymiary przekraczają możliwości produkcyjne najcięższych dysponowanych zespołów matrycowych;
- przy wstępnej obróbce plastycznej wlewków ze stali stopowych lub stopów o specjalnych właściwościach na kęsiska i kęsy kute;
- przy produkcji prętów kutek ze stali stopowych lub stopów o specjalnych właściwościach, jak również ze stali z gatunków normalnych w tych przypadkach, gdy przekrój danego pręta nie jest objęty programem walcowania;
- przy szeroko pojętej regeneracji narzędzi i sprzętu warsztatowego;
- przy wykonywaniu części zamiennych i do celów remontowych [Jarocki 1957].

Odkuwki o masie do kilkunastu kg kuje się ręcznie lub na młotach sprężarkowych o masie części spadających od 50 kg do 1 Mg. Kucie swobodne średnich odkuwek wykonuje się na młotach parowo-powietrznych o masie części spadających od 500 kg do 5 Mg. Średnia masa odkuwek na tych młotach wynosi od 8 do 200 kg, a maksymalna – do 1,5 Mg. Odkuwki swobodnie kute ciężkie wykonuje się na prasach hydraulicznych o nacisku od 6 do 200 MN. Średnia masa odkuwek wykonywanych na tych prasach wynosi od 1 do 160 Mg, maksymalna – do 300 Mg [Sińczak 2001].

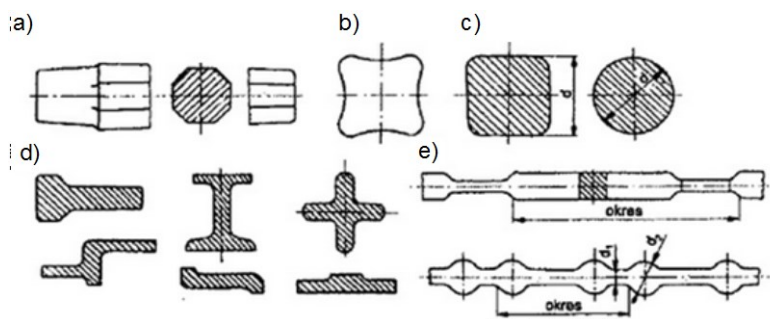
### 2.1.1. Fazy procesu kucia swobodnego

Proces technologiczny kucia swobodnego charakteryzuje się połączeniem wielu operacji kuźniczych, takich jak:

- **spęczanie** – złożona operacja technologiczna, w której wyniku zmniejsza się wysokość materiału z jednoczesnym zwiększeniem jego przekroju poprzecznego;
- **wydlużenie** – operacja kuźnicza, polegająca na wydłużeniu materiału w kierunku jednej osi, kosztem zmniejszenia jego przekroju poprzecznego;
- **dziurowanie** (określane też jako dziurkowanie) – operacja kuźnicza, podczas której w odkuwkach wykonuje się otwory lub wgłębienia. Wyróżnia się dziurowanie swobodne i matrycowe.

### 2.1.2. Rodzaje i kształty materiału wsadowego

Podstawowymi materiałami na odkuwki swobodnie kute i matrycowane, do wszystkich rodzajów maszyn i urządzeń, są konstrukcyjne stale węglowe i stopowe oraz metale nieżelazne i ich stopy. Dość często na odkuwki zarówno swobodnie kute, jak i matrycowe stosuje się materiały wyjściowe w postaci wlewków, kęsisk, kęsów, prętów, rzadziej w postaci ciekłej i proszków metali (rys. 2) [Sińczak 2001].



**Rys. 2.** Rodzaje materiałów wsadowych stosowanych na odkuwki: a) wlewki, b) kęsisko, c) kęsy i pręty, d) pręty kształtowe, e) pręty o okresowo zmiennym przekroju

**Fig. 2.** Types of batch materials for forgings: a) ingnots, b) square, c) billets and rods, d) shaped bars, e) bars with periodically varying cross section

## 2.2. Cechy charakteryzujące kucie matrycowe

Odkuwki matrycowe należą do droższych półwyrobów wyjściowych stosowanych przy produkcji części maszyn. Decyzja o ich wykorzystaniu powinna być podjęta po uwzględnieniu następujących czynników:

- seryjności produkcji, mającej wpływ na koszty matryc niezbędnych do procesu produkcji;
- możliwości takiego zbliżenia kształtu i wymiarów odkuwki do gotowej części, aby oszczędności na obróbce wykańczającej i materiale przyniosły niższy koszt całkowity wykonania części w stosunku do kosztów wykonania wyłącznie obróbką skrawaniem z materiału walcowanego [Jarocki 1957].

Szczególnie opłacalne jest stosowanie odkuwek na części, przy których wytwarzanie pozwala uniknąć obróbki skrawaniem dla niektórych powierzchni. Przedmioty metalowe, w zależności od przeznaczenia, masy i wielkości serii można wykonywać różnymi metodami: odlewaniem, obróbką skrawaniem lub za pomocą kucia. Jeżeli przedmiot ma wyróżniać się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi i nie mieć wad, jakie występują w odlewach, to należy go wykonać za pomocą kucia swobodnego lub matrycowego, nawet wtedy, gdy jego wykończenie będzie wymagało pewnych zabiegów skrawalniczych.

Kucie matrycowe w odróżnieniu od kucia swobodnego przynosi ogromne następujące korzyści:

- 1) możliwość stosowania mniejszych naddatków technologicznych,
- 2) większa dokładność wykonania odkuwek,
- 3) możliwość nadawania kształtów odkuwce, jakich nie można nadać przy kuciu swobodnym,
- 4) znaczna oszczędność w kosztach robocizny,
- 5) możliwość zatrudnienia mniej wykwalifikowanych pracowników,
- 6) duża powtarzalność, jeśli chodzi o kształt odkuwek,
- 7) łatwość określenia czasu wykonania odkuwki, co umożliwia dokładną kalkulację kosztów.

Kucie matrycowe ma też swoje wady, takie jak:

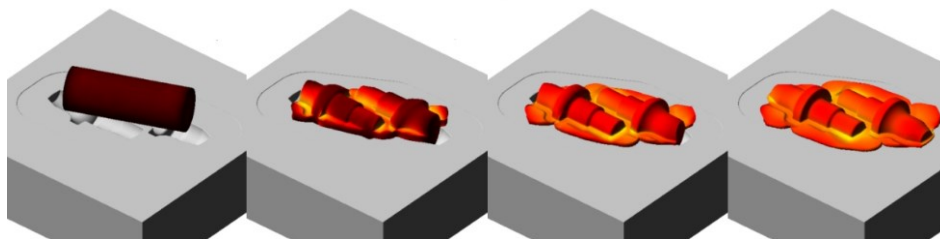
- 1) konieczność stosowania maszyn kuźniczych o podwyższonej dokładności prowadzenia matryc,
- 2) dodatkowe koszty związane z prasami do okrawania wypłytki,
- 3) duży koszt oprzyrządowania,
- 4) opłacalność tylko przy dużych seriach odkuwek,
- 5) niewielkie wymiary wykonywanych odkuwek.

Na ogół odkuwki matrycowe wykonuje się z wsadu uprzednio walcowanego i pociętego na odcinki odpowiadające masie pojedynczej odkuwki lub kilku odkuwek w zależności od wymagań danego procesu technologicznego.

**Podczas kucia w matrycach zamkniętych** rozszerzanie się materiału jest ograniczone ściankami narzędzia. Z tego powodu w całej objętości materiału panuje stan trójosiowego ściskania. W przypadku kucia w matrycach zamkniętych jednostkowy nacisk jest dwukrotnie większy aniżeli przy kuciu w matrycach otwartych, a także 3–6 razy większy w porównaniu z kuciem swobodnym.

**Podczas wyciskania materiału** jego płynięcie odbywa się bez poprzecznego rozszerzenia, któremu przeciwdziała boczny nacisk ścian matrycy. Jednostkowy nacisk, powodujący odkształcenie plastyczne, jest około 15 razy większy od nacisku występującego w kuciu swobodnym. Materiał wyciskany ma bardzo dużą plastyczność [Sińczak 2001].

Rozróżniane są dwa rodzaje kucia matrycowego – kucie z wypływką i kucie bez wypływki. Kucie z wypływką jest stosowane w matrycach otwartych. Charakterystyczne w tym procesie jest to, że materiał po wypełnieniu wykroju wypływa między matryce i tworzy pierścień, zwany wypływką. Część metalu wypływającego między matryce jest bezużytecznym odpadem, stanowiącym 20–30% (rys. 3).



**Rys. 3.** Kucie z wypływką – symulacja [Politechnika Lubelska 2016]

**Fig. 3.** Forging of a negative – simulation [Politechnika Lubelska 2016]

Do kucia bez wypływki stosuje się matryce zamknięte. W matrycach tych materiał zostaje w całości zużyty do wypełnienia wykroju, bez możliwości wypłynięcia na zewnątrz. W niektórych sytuacjach może się utworzyć w końcowym etapie kucia nieznaczna wypływka promieniowa lub osiowa [Muster 1986].

Procesy kucia matrycowego wymagają odpowiedniego oprzyrządowania i złożonych urządzeń technicznych. Jest wiele sposobów wykonania odkuwek, są to:

- 1) kucie na matrycach jedno- lub wielowykrojowych,
- 2) spęczanie i kucie z pręta lub rury,
- 3) wyciskanie,
- 4) walcowanie na walcarkach kuźniczych,
- 5) kucie na kowarkach lub maszynach specjalnych.

### 3. SPOSOBY ODLEWANIA WAŁKÓW ROZRZĄDU ORAZ ICH MODELOWANIA

Odlewy zalicza się do głównych tzw. materiałów wyjściowych. Są one stosowane zarówno do produkcji małoseryjnej, jak do wielkoseryjnej, tudzież masowej. Wykonuje się je różnymi sposobami:

- 1) odlewanie w formach piaskowych z formowaniem ręcznym,
- 2) odlewanie w formach piaskowych z formowaniem maszynowym,
- 3) odlewanie w formach metalowych tzw. kokilach,
- 4) odlewanie pod ciśnieniem,
- 5) odlewanie metodą odśrodkową,
- 6) odlewanie precyzyjne (metodą traconego wosku) [Adamiec 1998].

Odlane wałki rozrządu charakteryzują się:

- 1) twardością i wytrzymałością na naciski powierzchniowe (bieżnie krzywek), tudzież odpornością na ścieranie,
- 2) małymi nadatkami na obróbkę czopów i krzywek dzięki szlifowaniu,
- 3) zdolnościami do dużego tłumienia drgań,
- 4) obecnością grafitu, który podwyższa odporność na ścieranie,
- 5) niskim procentem braków powstających w wyniku odkształceń odlewu [Adamiec 1998].

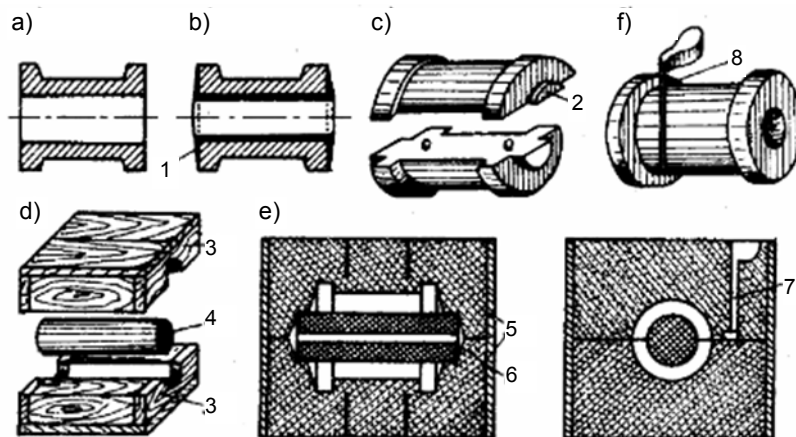
Kolejną istotną zaletą odlewanych wałków rozrządu jest to, że mogą one być kształtem zbliżone do gotowego wyrobu, a tym samym obróbka mechaniczna jest znacznie mniej pracochłonna, koszty zaś – zminimalizowane. Proces odlewania wałka rozrządu jest podobny do tzw. wałka kutego.

Na rysunku 4 przedstawiono wałek rozrządu odlewany, który można łatwo rozpoznać po widocznych zarysach formy odlewniczej [Świątek 2016].



**Rys. 4.** Wałek rozrządu odlewany

**Fig. 4.** Cast camshaft



**Rys. 5.** Etapy wykonania odlewu: a) rysunek gotowego wyrobu, b) rysunek odlewu, c) model, d) rdzennica, e) złożona forma odlewnicza, f) wybity odlew; 1 – naddatek, 2 – znaki rdzeniowe, 3 – półowki rdzennicy, 4 – rdzeń, 5 – skrzynki formierskie, 6 – gniazda rdzeniowe, 7 – forma układu wlewowego, 8 – układ wlewowy [Kaczorowski 2016]

**Fig. 5.** Stages of implementation of the cast: a) drawing of the finished product, b) drawing of model, c) model, d) core, e) complex form of foundry, f) stamped piece; 1 – bend allowance, 2 – core characters, 3 – half of a place for core, 4 – core, 5 – molding box, 6 – core socket, 7 – form filler system, 8 – filling system [Kaczorowski 2016]

#### 4. SPOSOBY WYTWARZANIA PÓLFABRYKATÓW ZA POMOCĄ SKRAWANIA

W celu zminimalizowania kosztów coraz częściej można się spotkać z wałkami rozrządu, których wytwarzanie opiera się głównie na tzw. obróbce skrawaniem. Ich produkcja może być jednostkowa i jednocześnie opłacalna. Wymiary oraz kształty wałka rozrządu mogą być dostosowane bezpośrednio do indywidualnego zamówienia klienta. Dzieje się tak dlatego, że w procesie wytwarzania tych wałków priorytet ma obróbka mechaniczna pręta. W tym procesie wykorzystuje się tokarki, frezarki i prasy, które można zaprogramować dla dowolnej obróbki. Wadą tego procesu jest to, że wałki rozrządu nadają się głównie do silników samochodowych (silniki czterosuwowe) oraz motocyklowych (dwusuwowych), natomiast w silnikach okrętowych nie spełniają swojej funkcji. Przyczyną jest wytrzymałość na obciążenia, która jest znacznie niższa aniżeli w przypadku wałków kutych lub odlewanych [Panasiuk 2016].

Proces technologiczny obejmuje następujące czynności:

- 1) cięcie pręta na wymiar (zamówienie pręta o określonym wymiarze),
- 2) frezowanie powierzchni czołowych i wykonanie nakiełków,
- 3) toczenie średnic oraz czół czopów przednich i środkowych,



- 4) odpuszczanie,
- 5) hartowanie,
- 6) prostowanie,
- 7) obróbka wykończeniowa – szlifowanie,
- 8) kontrola i ocena jakości danego wyrobu.

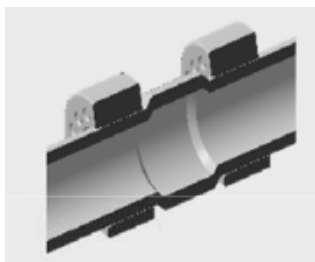
Na rysunku 6 zobrazowano wałek rozrządu, wykonany z pręta, do Volkswagena 1.4, który jest produktem przedsiębiorstwa o uznanym dorobku naukowym i technicznym [Świątek 2015].



**Rys. 6.** Wałek rozrządu wykonany za pomocą obróbki skrawaniem

*Fig. 6. Camshaft made by machining*

Na współczesnym rynku pojawiają się nowe technologie, mające wpływ na zmniejszenie masy wałka rozrządu i zwiększenie momentu obrotowego silnika oraz zwielokrotnienie jego mocy i żywotności. Taką technologią jest hydroforming. W odróżnieniu od wałków rozrządu kutych i odlewanych, w których mamy do czynienia z jedną częścią wyrobu (wałki te są wykonane wraz z krzywkami i czopami jako jeden element), wałki wykonane metodą hydroformingu są „składane” z pojedynczych elementów (wał, krzywki, czopy, koła zębate). Hydroforming pozwala na otrzymanie wyrobu o 16% lżejszego od tych wykonanych metodami tradycyjnymi [Panasiuk 2016]. Obrazuje to rysunek 7.

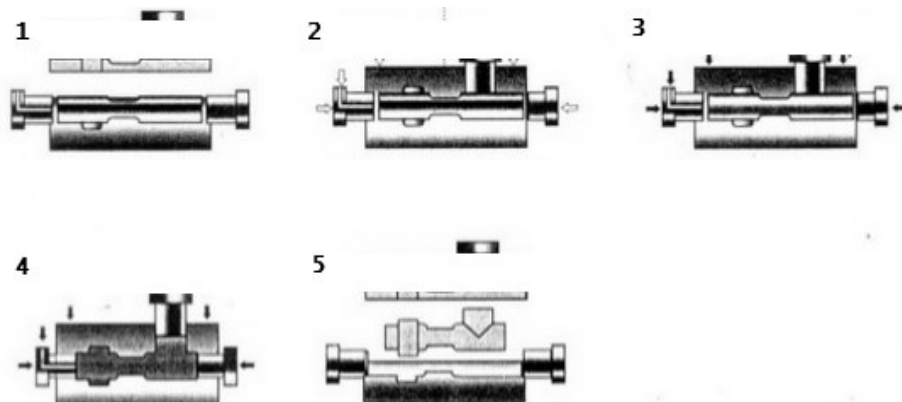


**Rys. 7.** Część wałka rozrządu wykonanego metodą hydroformingu [Nishal 2016]

*Fig. 7. Part of the camshaft made of Hydroforming [Nishal 2016]*

Jest to nowoczesny sposób wykonywania półfabrykatów, mających złożony kształt i wymiary oraz odznaczających się precyzją i walorami eksploatacyjnymi. Polega na tym, że część zimno walcowanej rury stalowej jest umieszczona w zamkniętym zestawie matrycy, płyn pod ciśnieniem wprowadza się do końca rury, dzięki czemu możliwe jest otrzymanie wymaganego kształtu.

Kolejność procesu pokazano na rysunku 8 [Nishal 2016].



**Rys. 8.** Kolejność procesu: 1 – pręt umieszcza się w matrycy, 2 – napętnia się rurę płynem z minimalną siłą nacisku, 3 – powoli zwiększa się ciśnienie z pełną siłą docisku, 4 – ciśnienie maksymalne, kalibracja, 5 – gotowy wyrób wykonany metodą hydroformingu

**Fig. 8.** Process sequence: 1 – the rod is placed in the die, 2 – the tube is filled with fluid with minimal pressure, 3 – slowly pressurized with full force, 4 – maximum pressure, 5 – finished by Hydroforming

Głównymi zaletami tej metody są:

- 1) dostosowanie kształtu materiału do formy,
- 2) zmniejszenie masy materiału poprzez bardziej efektywne projektowanie sekcji i grubości ścianki,
- 3) znaczne poprawienie wytrzymałości wyrobu i jego żywotności,
- 4) dość niskie tolerancje wymiarowe,
- 5) zmniejszenie ilości złomu.

Metoda hydroformingu ma też pewne wady, takie jak: powolny czas przebiegu procesu technologicznego, duże koszty finansowe związane z produkcją urządzeń technicznych stosowanych w tym procesie, brak dostatecznej wiedzy naukowej i fachowej, potrzeba stosowania złożonych technik spawalniczych w procesach montażowych, wysoka cena produktu jednostkowego i wzorcowego.

Reasumując, hydroforming stanowi nowatorską metodę w dziedzinie produkcji wałków rozrządu, ale skutkującą na razie wysokimi kosztami tego wyrobu. Z tego powodu polskie firmy nie przejawiają chęci wytwarzania wałków rozrządu za pomocą wspomnianej technologii.

Na rysunkach 9 oraz 10 przedstawiono wałki rozrządu wykonane metodą hydroformingu [Świątek 2016]. Elementami, po których można te wałki rozpoznać, są widoczne łączenia czopów i krzywek z wałem w wyniku ciśnienia wprowadzanego do środka wałka [Meusel 2016].



**Rys. 9.** Wałek rozrządu wykonany metodą hydroformingu

*Fig. 9. A camshaft made of Hydroforming*



**Rys. 10.** Inny wałek rozrządu wykonany metodą hydroformingu

*Fig. 10. A camshaft made of Hydroforming*

## 5. PODSUMOWANIE

Bezspornie, nowoczesne technologie wytwarzania półfabrykatów wałków rozrządu do silników okrętowych są wyzwaniem naszych czasów. W tych kategoriach należy rozpatrywać metodę hydroformingu, która znajduje zastosowanie w wielu zagranicznych firmach, stanowiąc poważną ofertę handlową adresowaną do producentów silników, zarówno samochodowych, jak i okrętowych – polskich i zagranicznych. Jest to jednak technologia złożona, specjalistyczna i kosztowna. Z dużym powodzeniem może być wykorzystana do produkcji wielkoseryjnej i masowej, a nie pojedynczej i małoseryjnej. To oznacza, że w realiach polskich trzeba rozwijać i doskonalić tradycyjne sposoby wykonywania wałków rozrządu czyli technologię kucia swobodnego i matrycowego oraz technologii odlewania. Mają one wiele zalet, które trudno przecenić. Nie są też pozbawione wad, ale można je dość łatwo rozpoznać oraz wyeliminować czy też ograniczyć ich skutki do minimum.

Niniejszy artykuł pozwala dostrzec złożoność problematyki wytwarzania wałków rozrządu, zarówno do silników okrętowych, jak i samochodowych. Może także zachęcić do pogłębiania wiedzy o technologii metali w ogóle, a technologii kucia i odlewania przede wszystkim.

## LITERATURA

- Adamiec, J., 1998, *Wybrane zagadnienia materiałów konstrukcyjnych i technologii wytwarzania pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Jarocki, J.W.P., 1957, *Kuźnictwo i prasownictwo*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa.
- Kaczorowski, R., 2016, *Techniki wytwarzania. Odlewnictwo i przetwórstwo tworzyw sztucznych*, [www.k17.p.lodz.pl/dydaktyka/Techniki\\_wytwarzania-Odlewnictwo.pdf](http://www.k17.p.lodz.pl/dydaktyka/Techniki_wytwarzania-Odlewnictwo.pdf).
- Meusel, J., 2016, *Thyssen Krupp*, [http://www.fh-zwickau.de/fileadmin/ugroups/ftz/Konferenzen/Ducati\\_2012/04\\_00\\_ThyssenKrupp\\_Meusel.pdf](http://www.fh-zwickau.de/fileadmin/ugroups/ftz/Konferenzen/Ducati_2012/04_00_ThyssenKrupp_Meusel.pdf).
- 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.
- Politechnika Lubelska, 2016, *Politechnika Lubelska*, <http://wm.pollub.pl/en/wydzial-mechaniczny/jednostki-organizacyjne/katedra-komputerowego-modelowan>.
- Sińczak, J., 2001, *Procesy przeróbki plastycznej – ćwiczenia laboratoryjne*, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków.
- Świątek, L., 2015, *Świątek Sp.z.o.o.*, [www.swiatek.com.pl/walki-seryjne](http://www.swiatek.com.pl/walki-seryjne) [www.swiatek.com.pl](http://www.swiatek.com.pl).
- Walenty, J., 2010, *Techniki wytwarzania – materiały dla studentów*, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin.
- Wasiunyk, P., 1982, *Teoria procesów kucia i prasowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.