

Prof. dr inż. Tadeusz RUT, dr inż. Wojciech WALCZYK
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Ulepszona metoda TR kucia pojedynczych wykorbień wałów półskładanych do wolnoobrotowych silników Diesla

*Improved TR method of forging single throws semi-built
crankshafts for slow speed Diesel engines*

Streszczenie

Przedstawiono ulepszony sposób kucia wykorbień pojedynczych. Umożliwia on kształtowanie wykorbień nowej konstrukcji na prasach kuźniczych o mniejszym nacisku. Zmniejszono liczbę dodatkowego oprzyrządowania stosowanego przy kuciu według starej metody. Nowy sposób kucia zapewnia prawidłowy przebieg włókien oraz dużą dokładność odkuwek przy równoczesnym uniezależnieniu się od czynnika ludzkiego. Dzięki minimalnym wpływom uzyskuje się znaczne oszczędności stali (możliwość stosowania mniejszych wlewków) oraz znacznie zmniejsza się koszt obróbki skrawaniem. Zarówno sposób jak i urządzenie do kucia pojedynczych wykorbień wałów półskładanych jest przedmiotem patentu (PL 171075).

Abstract

The paper presents an improved way of forging single crank throws. It enables forming new design crank throws to be effected on forging presses with smaller capacity. The number of additional tooling necessary in forging by the old method has been reduced. The new way ensures correct grain flow and high accuracy of forgings with less influence of the human factor. Due to minimum flashes, significant amounts of steel can be saved (possibility to use smaller ingots) and the machining cost can be reduced. Both the method and the device for forging single crank throws are the subject of patent PL 171075.

Słowa kluczowe: kucie, metoda TR, wał korbowy, wykorbiecie pojedyncze, przyrządy i urządzenia kuźnicze typu TR

Key words: forging, TR method, crankshaft, single crank throw, TR type forging devices

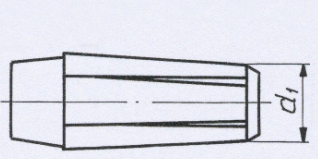
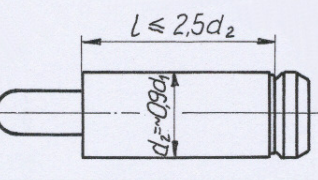
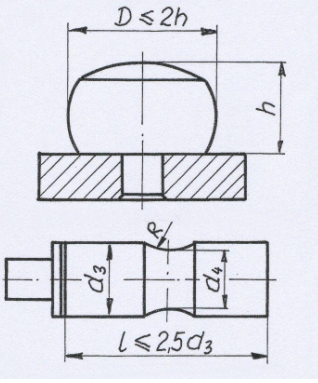
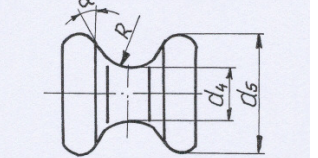
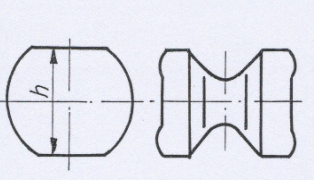
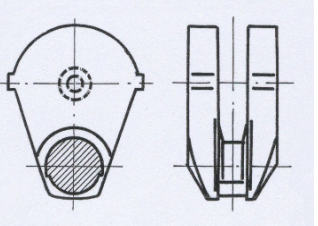
1. WPROWADZENIE

W Instytucie Obróbki Plastycznej w latach 1978-1982 opracowano nowy sposób kucia wykorbień pojedynczych [1, 2, 4].

Na rys.1 pokazano w sposób uproszczony przebieg kucia wykorbień pojedynczych wg patentu PL102814. W dwóch kolejnych operacjach wykonywanych w dwóch różnych urządzeniach odkuwano przedkuwkę w kształcie szpuli. Następnie szpula ta przekuwana była w urządzeniu głównym na gotową odkuwkę wykorbiecia pojedynczego. Do stosowania tego sposobu potrzebne były trzy niezależne urządzenia. Jedno do spęczania wstępniaka na

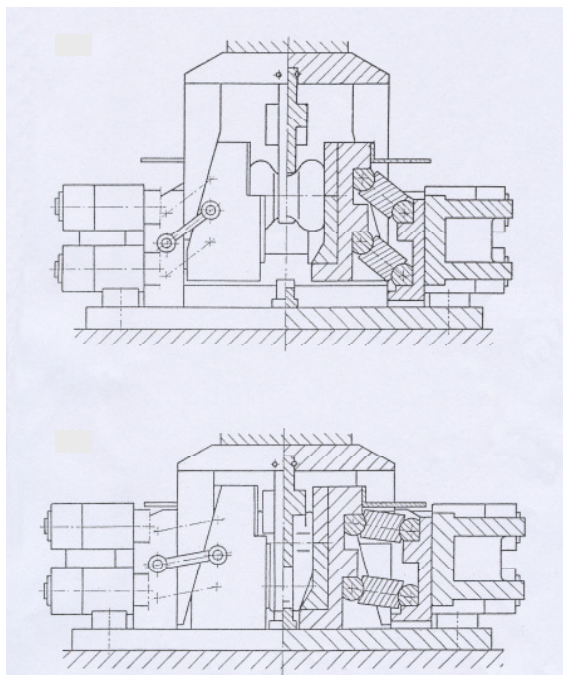
przedkuwkę o kształcie szpuli, drugie do spłaszczania tej przedkuwki i wreszcie trzecie urządzenie główne do ostatecznego kształtowania wykorbień. Wszystkie te urządzenia były montowane na prasie kuźniczej. Na rys. 2 pokazano w sposób uproszczony kucie wykorbiecia w urządzeniu. Natomiast na rys. 3 przedstawiono odkuwki modelowe wykonane ze stali w podziale 1:10.

Firma Kobe Steel z Japonii zakupiła licencję na kucie wykorbień wałów półskładanych i na podstawie dokumentacji technicznej opracowanej w Instytucie wykonała urządzenie do kucia (typ TR 13 K).

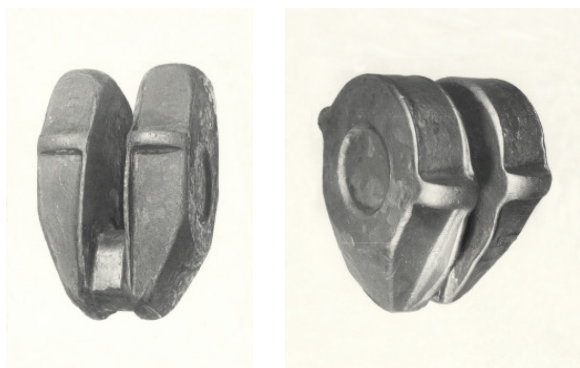
| Operacja | | Szkic detalu | Uwagi |
|----------|---|--|--|
| 1 | Kontrola wlewka |  | Nagrzewanie |
| 2 | Odkucie części chwytowej. Zaokrąglenie wlewka przez kucie. Obcięcie stopy. |  | |
| 3 | Spęczanie Wydłużenie przedkuwki. Odkucie przewężenia kowadłami profilowanymi. Odcięcie odpadu od strony chwytu |  | Dogrzewanie Wielkość d_3 zależy od objętości ramienia wykorbienia |
| 4 | Spęczanie szpuli |  | Dogrzewanie |
| 5 | Splaszczanie |  | Dogrzewanie |
| 6 | Kucie dokładne w przyrządzie kuźniczym |  | |

Rys. 1. Przebieg procesu kucia wykorbienia według patentu PL102814

Fig. 1. Forging a crank throw acc. to patent PL102814



Rys. 2. Kucie wykorbień w urządzeniu modelowym
 Fig. 2. Forging a crank throw in the model device



Rys. 3. Odkuwki modelowe
 Fig. 3. Model forgings

W urządzeniu tym zastosowano oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne polegające na sprzężeniu pędni klinowej z równoległowodową pędnią dźwigniowo-przegubową. Symetrycznie rozmieszczone dwie pary przekładni napędowych pozwalają na zmianę ruchu pionowego suwaka prasy na ruch translacyjny dwóch korpusów narzędziowych usytuowanych naprzeciw siebie. Taki układ kinematyczny pozwala na zmianę kierunku działania nacisku poprzeczki prasy hydraulicznej z pionowego na nacisk poziomy matryc spęczających.

Warto zauważyć, że nacisk poziomy pod koniec suwu poprzeczki prasy jest około 2-razy większy od nominalnego nacisku prasy. Ta właściwość urządzenia pozwala na odkuwanie wykorbień pojedynczych znacznych wymiarów

na prasach kuźniczych do kucia swobodnego. Kinematyka urządzenia umożliwia przesadzenie czopa korbowego z równoczesnym kształtowaniem ramion wykorbień. W efekcie uzyskuje się wykorbień z zachowaniem ciągłości włókien.

W 1985 roku – Kobe Steel przystąpiła do kucia pojedynczych wykorbień półskładanego wału do silnika okrętowego typu RT58 na prasie kuźniczej o nacisku 80 MN.

Na rys. 4 pokazano odkuwkę wykorbień wału korbowego do silnika typu RT58 odkutego w Kobe Steel.



Rys. 4. Odkuwka wykorbień wału półskładanego do silnika okrętowego typu Sulzer RT58

Fig. 4. A forging of a crank throw of a semi-built crankshaft for a Sulzer TR58 marine diesel engine

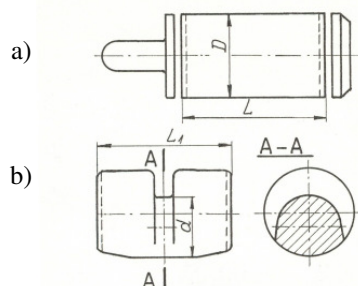
2. NOWY PROCES KUCIA WYKORBIEN NOWEJ KONSTRUKCJI

W latach 90-tych konstruktorzy silników okrętowych dążyli do zmniejszenia ich gabarytów przez zmniejszenie grubości ramion oraz skrócenie długości czopów korbowych. Zwiększono natomiast promień wykorbień. Sposób kucia wykorbień o nowych kształtach musiał być dostosowany do trendu zmian konstrukcyjnych silników okrętowych.

W Instytucie podjęto badania nad przystosowaniem opisanej metody kucia wykorbień pojedynczych nowej konstrukcji. Wykorzystu-

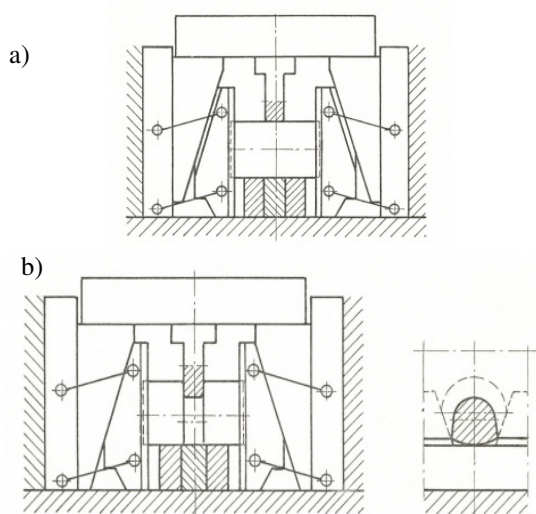
jąc doświadczenia z wdrożenia urządzenia TR13K w Kobe Steel uproszczono konstrukcję urządzenia i zmniejszono liczbę narzędzi.

W pierwszym wariantcie kucia wykorbienie ze wstępnym kształtowaniem obrysu ramion wykorbienia podczas kucia przedkuwki* wykorbienia, przedkuwka wykonywana jest podobnie jak przedstawiono na rys. 1 (operacje 1÷3).



Rys. 5. Materiał wyjściowy po przekuciu wlewa i obcięciu odpadów (a), przedkuwka wstępna (b)

Fig. 5. The initial material after forging the ingot and cutting off the waste (a), an initial blank (b)



Rys. 6. Schematy urządzenia do kucia: a) położenie wyginaka przed zabiegiem kształtowania czopa korbowego, b) położenie wyginaka po ukształtowaniu czopa korbowego

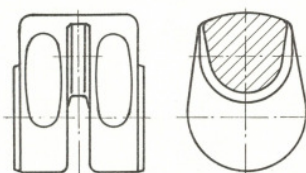
Fig. 6. Diagrams of the forging device: a) bending tool position before the operation of crank pin forming, b) bending tool position after the operation of crank pin forming

Drugi wariant kucia i kształt przedkuwki pokazano na rys. 5. Przedkuwka ta może być również wykonana w urządzeniu do kucia wykorbień (rys. 6a i 6b), gdzie pokazano zabieg kształtowania czopa korbowego, jego kształt przed zabiegiem kształtowania czopa (a) oraz po jego ukształtowaniu (b).

Proces kształtowania wykorbienia podzielono na dwie podstawowe operacje.

2.1. Kształtowanie wstępne odkuwki wykorbienia

Kształtowanie wstępne odkuwki wykorbienia o promieniu około $1/2$ promienia nominalnego odkuwki przedstawiono na rys.7.

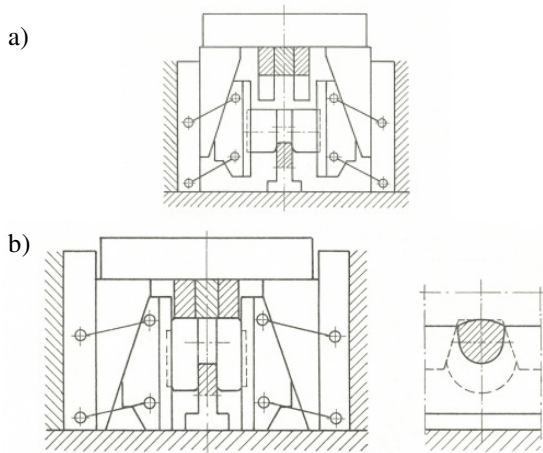


Rys. 7. Przedkuwka wykorbienia po pierwszym zabiegu spęczania z równoczesnym przesadzaniem czopa korbowego

Fig. 7. Crank throw blank after the first operation of upsetting with simultaneous joggling of the crank pin

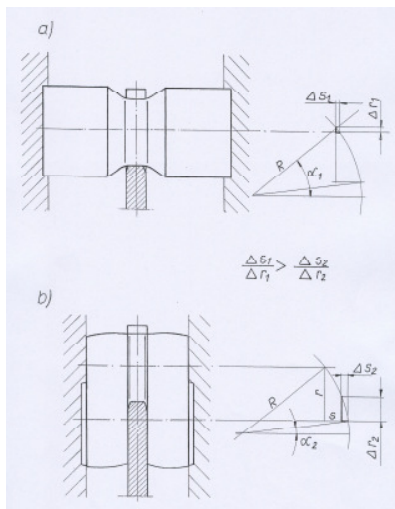
Zabieg kucia wykonuje się poprzez spęczanie z równoczesnym przesadzaniem czopa korbowego z zastosowaniem wyginaka mocowanego do podstawy urządzenia (rys. 8). Stosunek drogi spęczania (S) do drogi przesadzania (r) jest funkcją kąta pochylenia dźwigni kolanowej (α). Z rys. 9 wynika, że na początku operacji kształtowania wykorbienia (rys. 8a) przeważa spęczanie nad przesadzeniem. Dzięki temu w pierwszej fazie operacji kucia następuje nagromadzenie materiału, który w drugiej fazie (rys.8b) jest przemieszczany i tworzy ramię wstępnego wykorbienia. Pod koniec operacji kształtowania wstępnej odkuwki wykorbienia ramiona naciskane kowadłem o trapezowym wykroju (kowadło to podwieszone jest do głowicy urządzenia) ulegają spłaszczeniu i przybierają formę wykroju kowadła. Zarys wykroju kowadła trapezowego jest tak dobrany, aby podczas formowania końcowego odkuwki wykorbienia można było uzyskać założony kształt ramion.

* Sposób i urządzenie do kucia pojedynczych wykorbień wałów półskładanych są przedmiotem patentu PL 1710 75.



Rys. 8. Schemat urządzenia do kucia wykorbień: a) przed zabiegiem kształtowania wstępnej odkuwki wykorbień z zastosowaniem wyginaka mocowanego do podstawy urządzenia, b) po zabiegu kształtowania wstępnej odkuwki wykorbień

Fig. 8. A diagram of the forging device: a) before the initial forming of the crank throw with the use of the bending tool fixed to the base of the device, b) after the initial forming of the crank throw forging

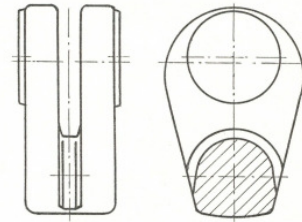


Rys. 9. Stosunek drogi spęczania (s) do drogi przesadzania (r): a) na początku operacji kucia, b) pod koniec operacji kształtowania wykorbień

Fig. 9. The ratio of the upsetting path (s) to the joggling path (r): a) at the beginning of the forging operation, b) at the end of the crank throw forming operation

2.2. Kształtowanie końcowe odkuwki wykorbień

Kucie wykorbień na gotowo wykonuje się za pomocą wyginaka zamocowanego w głowicy urządzenia. Rys. 10 przedstawia odkuwkę wykorbień.



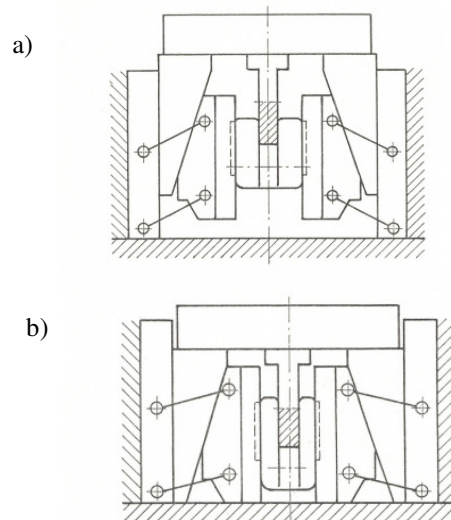
Rys. 10. Odkuwka wykorbień

Fig. 10. A sketch of the crank throw forging

Na rys. 11 pokazano uproszczony schemat urządzenia do kucia wykorbień (rys. 7).

Na rys. 11a przedstawiono położenie przedkuwki w urządzeniu do kucia tuż przed zabiegiem kucia, a na rys. 11b położenie odkuwki w urządzeniu pod koniec zabiegu kucia.

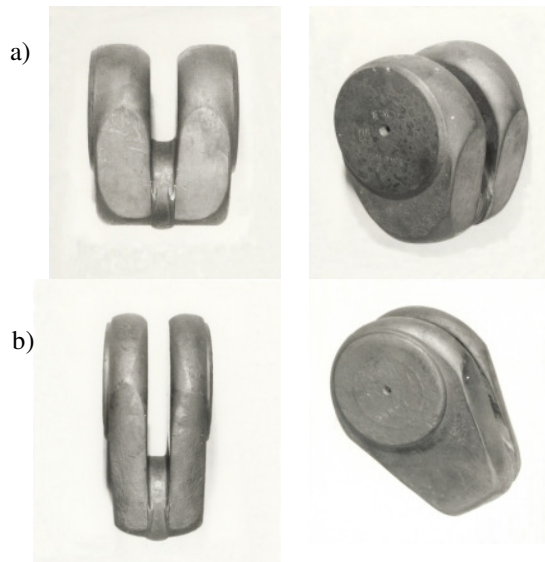
Jak wynika z rys 10 i 11 zewnętrzne kontury ramion wykorbień kształtowane są swobodnie. Zewnętrzny obrys ramion zachowuje kształt płaski.



Rys. 11. Schemat urządzenia do kucia wykorbień: a) przed zabiegiem kształtowania odkuwki, b) po zabiegu kształtowania odkuwki wykorbień

Fig. 11. A diagram of the forging device: a) before the operation of forging, b) after the operation of crank throw forging

Na rys. 12 przedstawiono modelowe odkuwki stalowe wykonane w podziale 1:10 wykorbień wału korbowego typu Sulzer RT58. I tak na rys 12a pokazano przedkuwkę wykorbień, wykonaną w urządzeniu (rys. 8b), a na rys. 12b odkuwkę modelową po odkuciu w urządzeniu (rys.11b). Należy podkreślić, że zewnętrzne kontury ramion kształtowane były przy pomocy kowadła podwieszzonego do głowicy urządzenia.



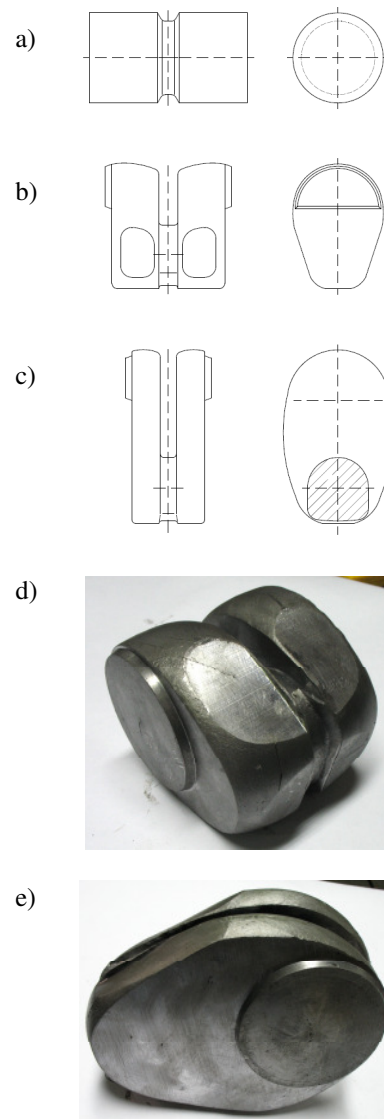
Rys. 12. a) Przedkuvka odkuta w urządzeniu (rys. 8b),
b) odkuwka modelowa wykonana z odkuwki wstępnej odkuta w urządzeniu (rys. 11b)

*Fig. 12. a) A blank forged in the device (fig. 8b),
b) a model forging made of the blank forged in the device (fig. 11b)*

3. BADANIA MODELOWE PROCESU KUCIA WYKORBIEN POJEDYNCZYCH

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu przeprowadzono kucie modelowe wykorbień pojedynczych w podziałce 1:12. Materiałem modelowym był ołów. Na rys. 13 pokazano przedkuvkę wstępną (rys. 13a), przedkuvkę (rys. 13b) i odkuvkę wykorbienia (rys. 13c). Pomiary nacisków prasy przy kuciu odkuwek modelowych wykorbień pojedynczych wału korbowego typu 7-8S60MC wykazały, że nacisk prasy przy kuciu przedkuvki (rys. 13d) jest większy od nacisku przy kuciu odkuwki wykorbienia. (rys 13e).

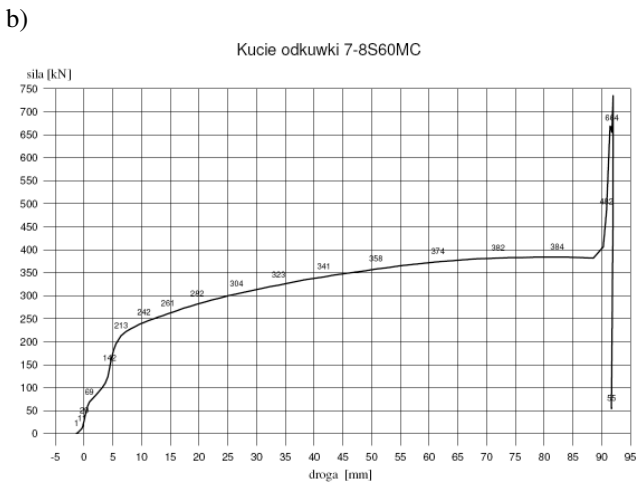
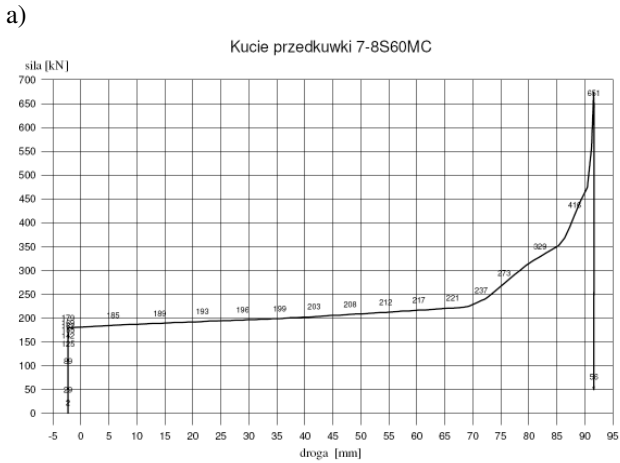
Na rys 14a i 14b pokazano wykres przebiegu siły w zależności od drogi (suwu roboczego suwaka prasy) w procesie kucia przedkuvki i odkuwki.



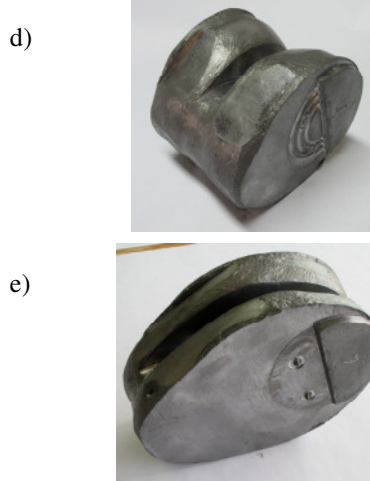
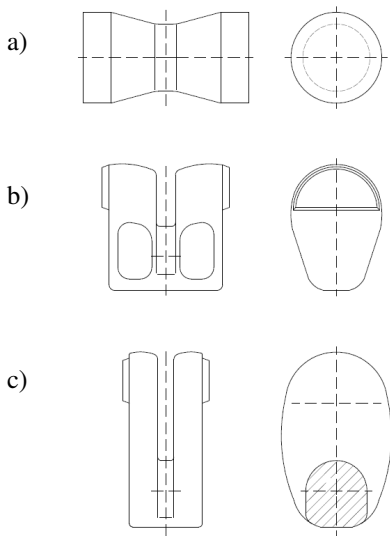
Rys. 13. Schemat kucia wykorbienia w matrycach wielodzielnych: a) przedkuvka wstępna z przewężeniem kształtu A, b) przedkuvka, c) odkuvka, d) przedkuvka modelowa wału 7-8S60MC, e) odkuvka modelowa wału 7-8S60MC

Fig.13. A diagram of forging a crank throw in split dies: a) a blank with an A shape narrowing, b) a blank, c) a forging, d) a model blank of a 7-8S60MC crankshaft, e) a model forging of a 7-8S60MC crankshaft

W przedkuvce wstępnej (rys. 13a) i przedkuvce (rys. 15a) zastosowano przewężenia symetryczne o różnych kształtach.

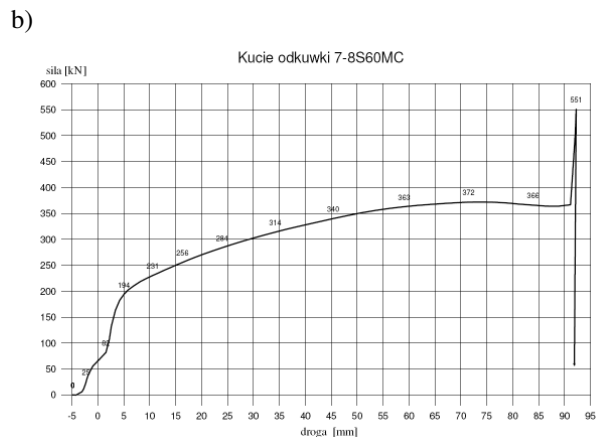
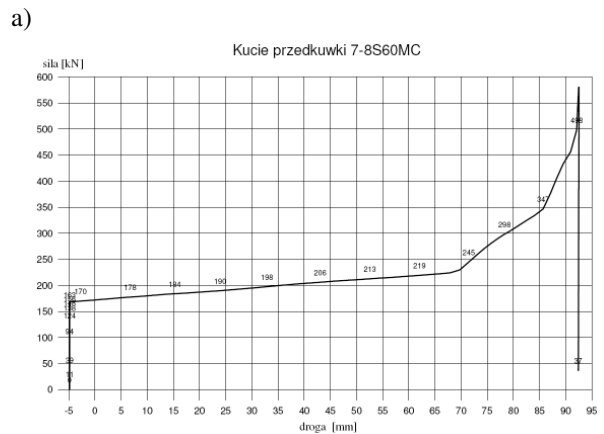


Rys. 14. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 7-8S60MC (rys. 13): a) kucie przedkuwki, b) kucie odkuwki
 Fig. 14. A diagram of the forging force for a model forging, 7-8S60MC (fig.13): a) when forging the blank, b) when forming the forging



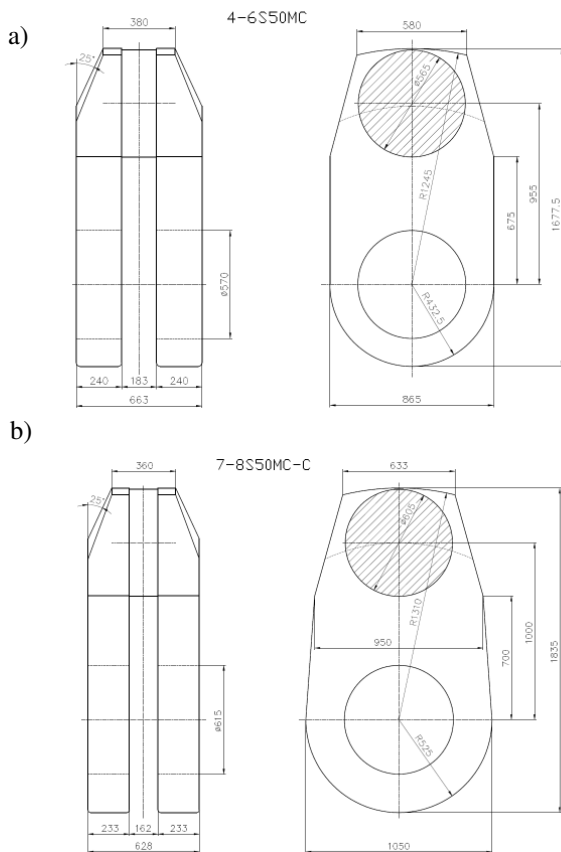
Rys. 15. Schemat kucia wykorbień w matrycach wielodzielnych: a) przedkuwka wstępna z przewężeniem kształtu B, b) przedkuwka, c) odkuwka, d) przedkuwka modelowa wału 7-8S60MC, e) odkuwka modelowa wału 7-8S60MC

Fig. 15. A diagram of forging a crank throw in split dies: a) a blank with a B shape narrowing, b) a blank, c) a forging, d) a model blank of a 7-8S60MC crankshaft, e) a model forging of a 7-8S60MC crankshaft



Rys. 16. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 7-8S60MC (rys. 15): a) kucie przedkuwki, b) kucie odkuwki

Fig. 16. The forging force of the 7-8S60MC model forging (fig.15): a) when forming a blank, b) when forming a forging



Rys. 17. Kształt ramion wykorbień: a) ramiona o powierzchniach bocznych równoległych, b) ramiona o powierzchniach bocznych lekko zukosowanych

Fig. 17. The shape of the crank throw arms: a) arms with parallel side surfaces, b) arms with slightly oblique side surfaces

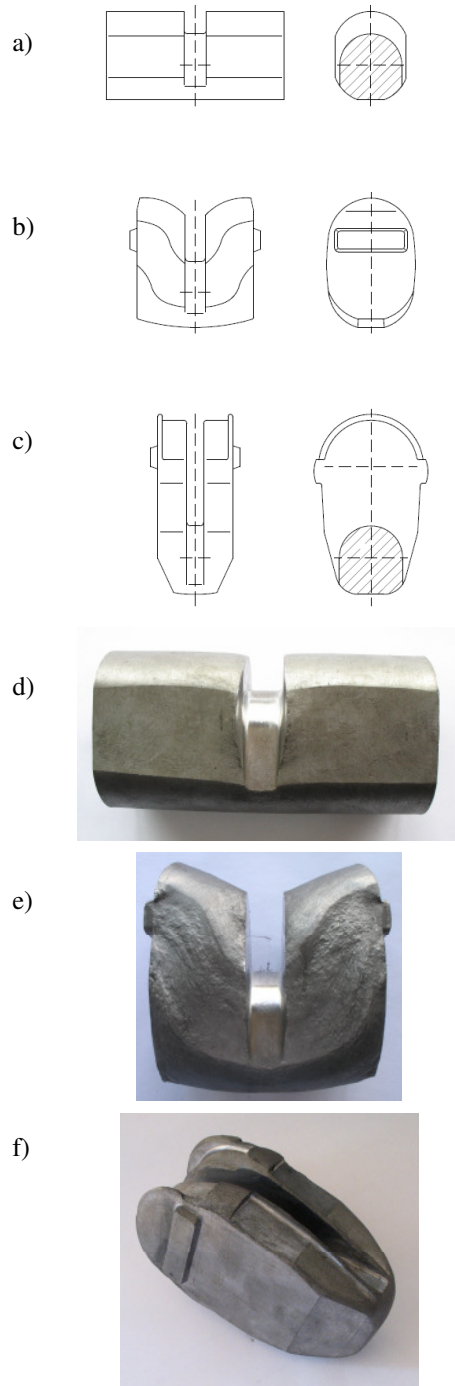
Przebieg nacisków prasy podczas kucia przedkuwki (rys. 15d) oraz odkuwki (rys. 15e) pokazano na rys. 16a oraz rys. 16b.

Konstruktorzy silników okrętowych zmienili w ostatnich latach kształt ramion wykorbień w ten sposób, że przyjęli małe zukosowanie powierzchni bocznych ramion (rys. 17b). Niektóre typy wykorbień mają boczne powierzchnie ramion równoległe (rys. 17a).

W przypadku kształtowania bocznych powierzchni ramion w wykrojach matrycowych wystarczy przedkuwkę wstępną odpowiednio spłaszczyć (rys. 18a). Na rys. 18 przedstawiono przebieg kucia wykorbienia z przedkuwki wstępnej wykonanej na mniejszej prasie (rys. 18a) oraz przedkuwki wykonanej w urządzeniu do kucia wykorbień (rys. 18b).

Na zewnętrznej stronie przedkuwki widoczny jest występ technologiczny wyciśnięty podczas kształtowania przedkuwki wykorbienia. Występ ten potrzebny jest do ustawienia

przedkuwki w narzędziach w urządzeniu przed operacją kształtowania wykorbienia. Występ ten służy również do mocowania przedkuwki w żądanym miejscu w narzędziach kształtujących wykorbienia.



Rys. 18. Schemat kucia wykorbienia ze spłaszczonej przedkuwki wstępnej: a) przedkuwka wstępna ze spłaszczonymi powierzchniami bocznymi, b) przedkuwka, c) odkuwka, d) przedkuwka wstępna modelowa wału 4-6S50MC, e) przedkuwka modelowa wału 4-6S50MC, f) odkuwka modelowa wału 4-6S50MC
Fig. 18. A diagram of forging a crank throw from a flattened blank: a) a blank with flattened side surfaces, b) a blank, c) a forging, d) an initial model blank of a 4-6S50MC crankshaft, e) a model blank of a 4-6S50MC crankshaft, f) a model forging of a 4-6S50MC crankshaft

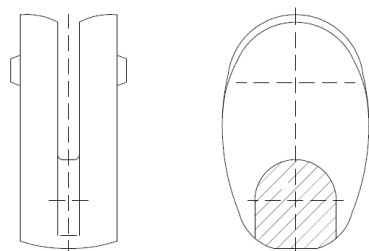
Omawiane występy technologiczne mogą mieć różne kształty. Na przykład na rys. 13d i e występ technologiczny stanowi odcinek materiału wyjściowego o kształcie okrągłym. Natomiast na rys. 15d, e i 18e, f pokazano przykłady występow technologicznych o różnych kształtach wyciśniętych podczas kształtowania przedkuwek. Na rys. 15d i e pokazano występy technologiczne widoczne na odkuwkach modelowych wykonane zgodnie z rys. 15b, a na rys. 18e i f uchwyty technologiczne wykonane według wzoru z rys. 18b.

Odkuwka wykorbień po dwóch zabiegach kształtowania ramion jest pokazana na rys. 18c. Jeden zabieg dotyczy kształtowania ramion wykorbień przez matryce boczne podczas spęczania ramion z równoczesnym przesadzaniem czopa korbowego przez wyginak. Podczas drugiego zabiegu, po przysunięciu odpowiednich płyt do górnej części wyginaka, następuje ponowny ruch wyginaka w kierunku czopa korbowego. Podczas tego zabiegu następuje kształtowanie górnej części ramion.

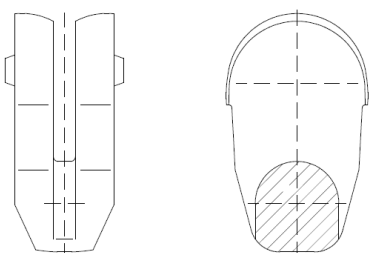
Na rys. 19 pokazano różne obrysy zewnętrzne ramion wykorbień w zależności od sposobu ich kształtowania:

- bez stosowania narzędzi ograniczających płynięcie na obwodzie ramion (rys. 19a),
- z niewielkim ograniczeniem ramion w dolnych ich częściach (rys. 19b),
- z zamknięciem wszystkich powierzchni bocznych ramion (z zachowaniem miejsca na wypływkę) – (rys. 19c).

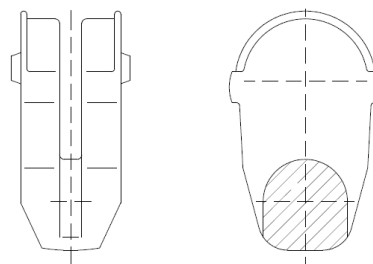
a)



b)



c)



Rys. 19. Kształty obrysów ramion wykorbień w zależności od sposobu ich kształtowania: a) bez stosowania narzędzi ograniczających płynięcie na obwodzie ramion, b) z niewielkim ograniczeniem ramion w dolnych ich częściach, c) z zamknięciem wszystkich powierzchni bocznych ramion (z zachowaniem miejsca na wypływkę)

Fig. 19. Crank throw outline shapes depending on the way of their forming: a) without tools limiting flow on the arm peripher, b) with a small limitation of the arms in their lower part, c) closing of all the arm side surfaces (maintaining space for flashes) upper arm parts

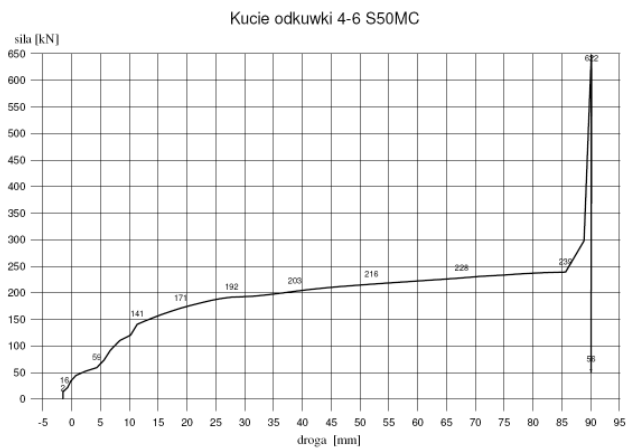
Na rys. 20 pokazano odkuwkę modelową wykorbień wału silnika typu 4-6S50MC, wykonaną z przedkuwki pokazanej na rys. 19a.



Rys. 20. Odkuwka modelowa wykorbień wału silnika typu 4-6S50MC wykonana według sposobu pokazanego na rys. 19a

Fig. 20. A model forging of a 4-6S50MC crankshaft throw made according to the method shown in fig. 19a

Rys. 21 przedstawia wykres nacisku prasy w zależności od drogi suwaka zarejestrowanego podczas kucia odkuwki modelowej z rys. 20.



Rys. 21. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 4-6S50MC (rys. 20)

Fig. 21. The curve of the forging force of forming the 4-6S50MC model forging (fig. 20)

Na rys. 22 pokazano przedkuwkę (a) oraz wykorbienie (b) kute z niewielkim ograniczeniem powierzchni bocznych ramion w dolnej ich części oraz z równoczesnym kształtowaniem górnych części ramion (wg. rys. 19b). Przebieg sił prasowania tego wykorbienia (rys. 23) wskazuje, że zadowalający kształt wykorbienia udało się uzyskać przy stosunkowo niedużym nacisku prasy.

a)

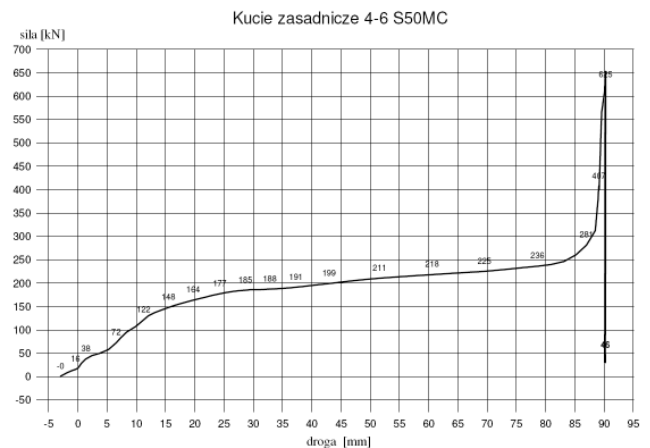


b)



Rys. 22. Przedkuwka (a) i odkuwka modelowa (b) wykorbienia wału silnika typu 4-6S50MC wykonana według sposobu pokazanego na rys. 19b

Fig. 22. A blank (a) and model forging (b) of a 4-6S50MC engine crankshaft throw made according to the method shown in fig. 19b



Rys. 23. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 4-6S50MC (rys. 22)

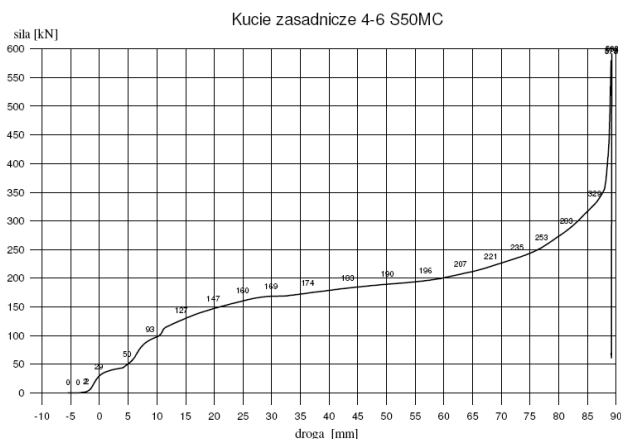
Fig. 23. The curve of the forging force of forming the model 4-6S50MC forging (fig. 22)

Odkuwkę modelową wykorbienia przy swobodnym kształtowaniu górnych części ramion pokazano na rys. 24. Wykres nacisku prasy zarejestrowany podczas kucia pokazuje rys. 25.



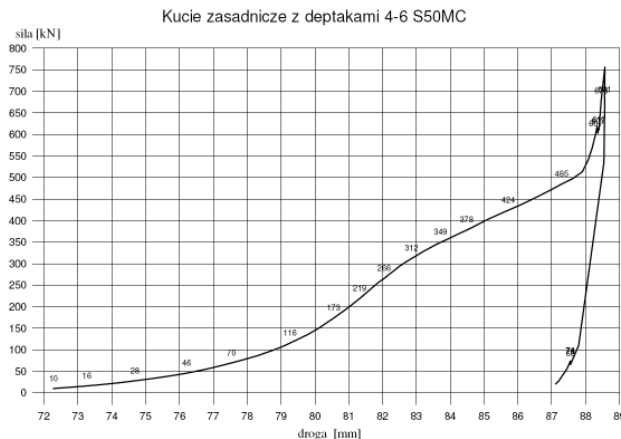
Rys. 24. Odkuwka modelowa wykorbienia wału silnika typu 4-6S50MC przy swobodnym kształtowaniu górnych części ramion

Fig. 24. A model forging of a 4-6S50MC engine crankshaft throw made by free forming of the arm upper parts



Rys. 25. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 4-6S50MC (rys. 24)

Fig. 25. The forging force of the model 4-6S50MC forging (fig. 24)



Rys. 27. Przebieg siły w procesie dotłaczania odkuwki modelowej 4-6S50MC (rys. 26)

Fig. 27. The sizing force of the model 4-6S50MC forging (fig. 26)

Kształt odkuwki modelowej z rys. 24 po dodatkowym zabiegu kształtowania górnych części ramion pokazano na rys. 26. Przebieg nacisku prasy podczas tego zabiegu przedstawiono na rys. 27.

Kształt odkuwki modelowej wykorbień wykonanej w jednej operacji (rys. 19c) przedstawiono na rys. 28.



Rys. 26. Kształt odkuwki modelowej (rys. 24) po dodatkowym zabiegu kształtowania (dotłaczania) górnych części ramion

Fig. 26. The shape of a model forging after the additional operation of forming (sizing) the upper parts of the arms

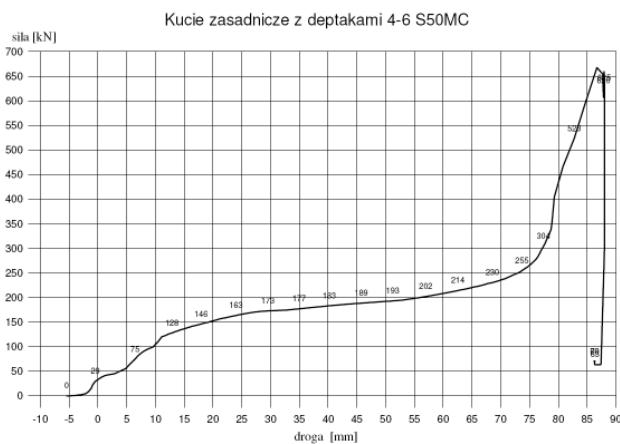


Rys. 28. Odkuwka modelowa wykorbień wału silnika typu 4-6S50MC wykonana według sposobu pokazanego na rys. 19c

Fig. 28. A model 4-6S50MC forging made by the method shown in fig. 19c

Należy zauważyć, że nacisk prasy pod koniec operacji kucia (około 700 kN) odczytany z rys. 29, jest odpowiednio większy od nacisku (około 500 kN) przy prasowaniu górnej części ramion. Wobec powyższego wariant kucia dla danego typu wykorbień należy dobrać w zależności od nominalnego nacisku prasy kuźni-

czej. Spłaszczony kształt przedkuwki wstępnej zapewnia równomierny rozkład objętości materiału na ramionach wykorbienia. Wobec powyższego sposób przygotowania przedkuwki wstępnej o kształcie pokazanym na rys. 18a i 18d wydaje się najbardziej racjonalny. Tym bardziej, że uprzednie kształtowanie czopa korbowego z równoczesnym jego przesadzeniem pozwala w efekcie na uzyskanie zwiększonego promienia wykorbienia co okazuje się bardzo użyteczne, gdyż wały korbowe nowej konstrukcji charakteryzują się dużymi skokami.



Rys. 29. Przebieg siły kucia odkuwki modelowej 4-6S50MC (rys. 28)

Fig. 29. The forging force of the 4-6S50MC model forging (fig. 28)

4. WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE

Przy kuciu odkuwek wykorbień wałów pojedynczych muszą być spełnione wymagania technologiczne mające wpływ na wytrzymałość zmęczeniową poszczególnych części wykorbienia wału półskładanego. Najbardziej obciążone miejsca wykorbienia znajdują się w sąsiedztwie czopa korbowego i wewnętrznych części ramion. W tym miejscu występują też duże naciski w czasie kształtowania odkuwki wykorbienia. Można oczekiwać, że ewentualne wady wewnętrzne ulegną w tej strefie całkowitemu zgrzaniu tym bardziej, że w tej strefie zauważyć można największe zagęszczenie włókien. Kierunek tych włókien jest zgodny z kierunkiem działania sił co bardzo korzystnie wpływa na wytrzymałość zmęczeniową. Jeżeli kąt pomiędzy kierunkami przebiegu włókien i powierzchnią przyległą do tych

włókien mieści się w granicach od 0° do 22° , to wytrzymałość zmęczeniowa zachowuje stałą wartość. Ulega ona jednak wyraźnemu spadkowi, gdy wspomniany kąt osiąga wartość 45° , a minimum wartości osiąga wytrzymałość zmęczeniowa w przypadku gdy włókna są prostopadłe do powierzchni.

Duże zagęszczenie włókien jest wynikiem znacznego lokalnego odkształcenia i zachodzi w miejscu, gdzie występują duże naciski w czasie kucia. Wykorbienia kute tą metodą, z punktu widzenia wytrzymałości zmęczeniowej, są więc wyrobem dobrej jakości, ponieważ kierunek przebiegu włókien jest zgodny z kierunkiem działania obciążenia wału.

Jak wynika ze schematów kucia przedstawionych na rys. 18a i 18d, czop korbowy kształtowany jest w przedkuwce wstępnej poprzez wyciskanie. Zabieg ten dokonuje się przy pomocy stempla z wykrojem o kształcie zbliżonym do wykroju wyginaka stosowanym przy kształtowaniu przedkuwki (rys. 18b i 18e). Podczas tego wyciskania można łatwo osiągnąć w czopie korbowym stopień przekucia równy 3, przyjmując, że średnica materiału wyjściowego $D = \sqrt{3} d$, przy czym d jest średnicą czopa. Taki stopień przekucia jest wymagany przez niektóre towarzystwa klasyfikacyjne dokonujące odbioru jakościowego wałów korbowych silników okrętowych.

4.1. Warunek prawidłowego kształtowania ramion wykorbienia

Kształtowanie przedkuwki wykorbienia (rys. 7) dokonuje się przez spęczanie z równoczesnym przesadzaniem czopa korbowego z zastosowaniem wyginaka mocowanego do podstawy urządzenia (rys. 8).

Warunkiem prawidłowego kształtowania ramion wykorbienia jest zachowanie równości przemieszczanych objętości materiału podczas kształtowania ramion wykorbienia. Objętości te rozważane podczas odkształcenia jednostkowego, odpowiadają stosownie małym przyrostom ds i dr . Przyrównując te objętości (rys. 30) możemy z pewnym uproszczeniem napisać zależność:

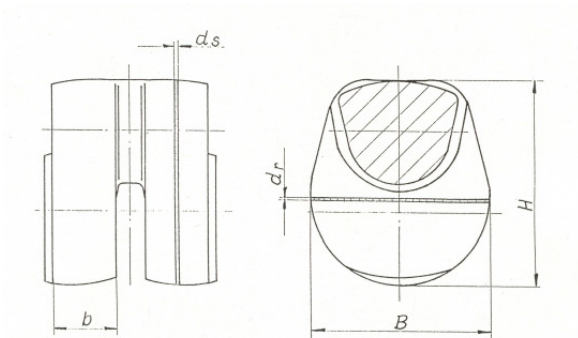
$$\frac{\pi}{4} B H b = \frac{\pi}{4} B (H + dr) (b - ds)$$

stąd

$$\frac{ds}{dr} = \frac{b}{H}$$

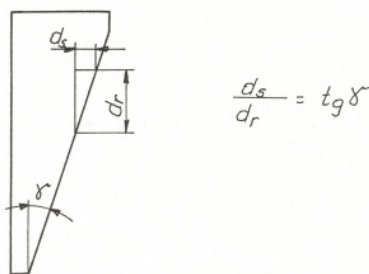
Wobec tego, że γ oznacza kąt pochylenia klina napędowego pędni klinowo-dźwigniowej urządzenia (rys. 31) możemy napisać:

$$\frac{b}{H} \leq \text{tg} \gamma$$



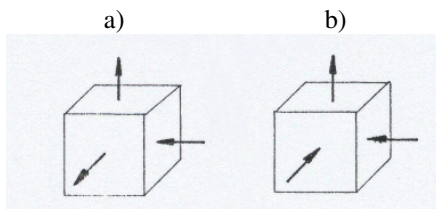
Rys. 30. Wykorbiecie z zaznaczeniem odkształceń jednostkowych ds i dr

Fig. 30. A sketch of a crank throw with the specific strains of ds and dr indicated



Rys. 31. Kłina napędowy w urządzeniu do kucia z rys. 11

Fig. 31. A sketch of the driving wedge in the forging device of fig. 11



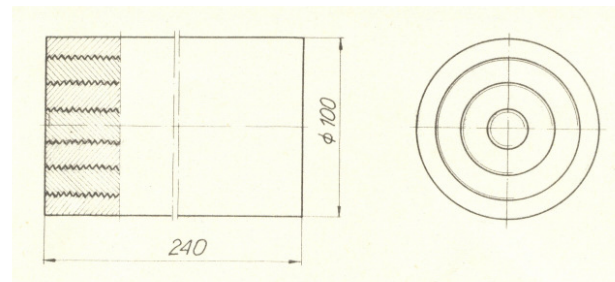
Rys. 32. Stan odkształceń w wykorbieciu podczas kucia wykorbiecia

Fig. 32. The strain state in the crank throw when forging the crank throw

Nie spełnienie tego warunku podczas kucia może spowodować zmianę stanu odkształcenia w ramionach ze stanu pokazanego na rys. 32a na stan wg rys. 32b i w konsekwencji może wystąpić przewężenie na ramionach wykorbiecia lub pocienienie czopa korbowego, podczas kształtowania odkuwki wykorbiecia, gdy wyginak zamocowany jest do górnej poprzeczki urządzenia. Dlatego też wymóg ten musi być brany pod uwagę przy projektowaniu przedkuwki.

4.2. Wpływ technologii kucia na zgrzewanie wad wewnętrznych stali

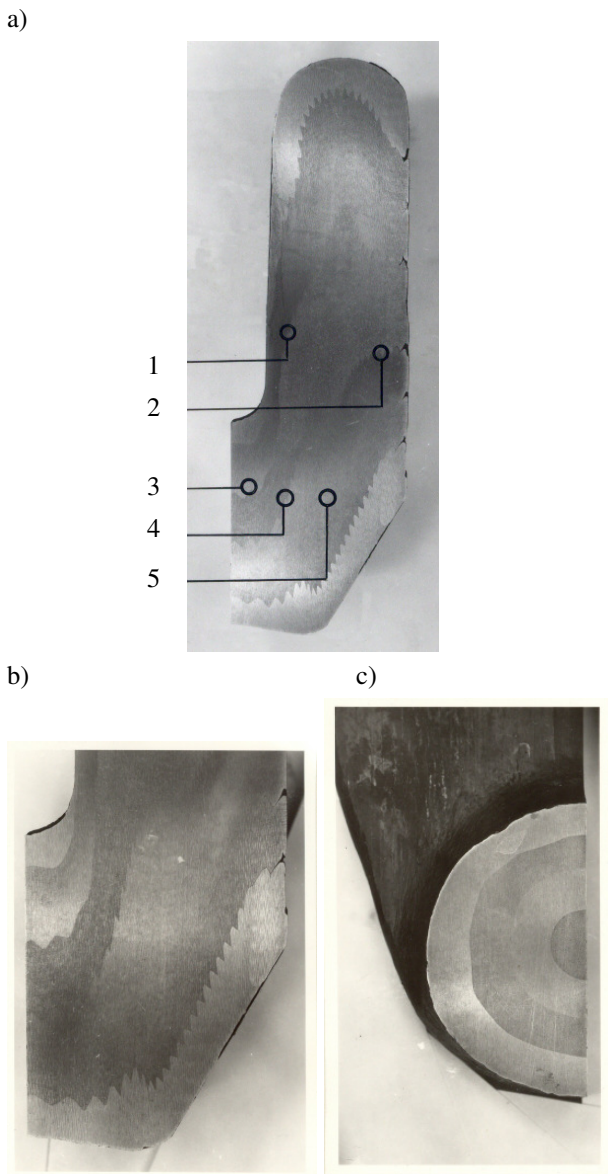
W Instytucie przeprowadzono w latach poprzednich badania dotyczące wpływu technologii kucia na zgrzewanie się wad wewnętrznych. Wykonano próbki stalowe złożone z gwintowanych tulei (rys. 33).



Rys. 33. Próbka stalowa złożona z gwintowanych tulei
Fig. 33. A steel sample consisting of threaded sleeves

Założono przy tym, że szczeliny między połączeniami gwintowanymi odpowiadają wadom wewnętrznym w materiale wsadowym. Wszystkie próby kucia modelowego przeprowadzono w zakresie temperatur 1200°C do 900°C na prasie hydraulicznej o nacisku 250 ton. Każda operacja kucia przebiegała za jednym suwem roboczym suwaka prasy z szybkością odkształcenia około 12 mm/s.

Na rys. 34a, b i c pokazano próbki wycięte z odkuwki modelowej wykorbiecia. Już na podstawie oględzin tych próbek można wnioskować o całkowitym zgrzaniu się szczelin między zwojami gwintów [2, 3].

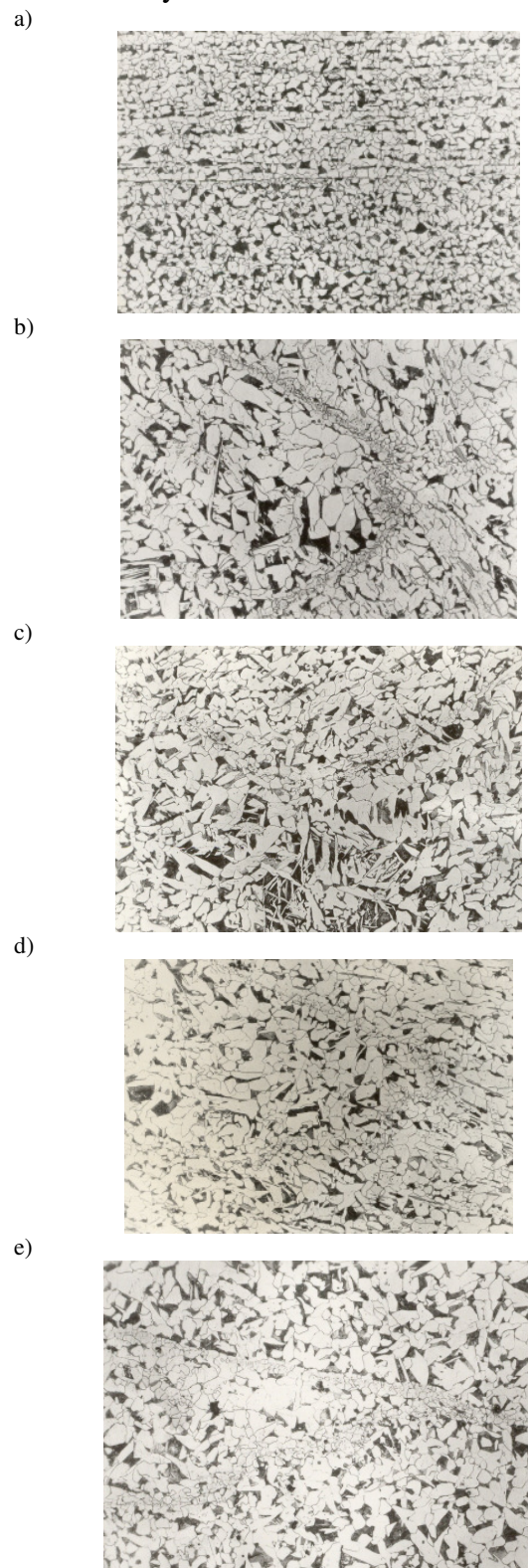


Rys. 34. Próbkki wycięte z odkuwki wykorbienia:
a) przekrój ramienia z naniesionymi miejscami badania mikrostruktury, b) fragment przejściowy ramienia w czop korbowy, c) fragment przekroju czopa korbowego

*Fig. 34. Samples cut out of the crank throw forging:
a) an arm cross section with the places of microstructure examination indicated, b) transition of the arm into the crank pin, c) a fragment of a crank pin cross section*

W celu upewnienia się co do prawidłowości tego wnioskowania przeprowadzono badania mikrostruktury. Badania w pełni potwierdziły zgrzanie się szczelin, (rys. 35a do 35e), gdzie można zobaczyć mikrostrukturę miejsc zaznaczonych na próbce z rys. 34a. Wyniki badań potwierdzają, że w czasie kucia wykorbień zachodzić będzie zgrzewanie wad wewnętrz-

nych, a miejsca zgrzane będą się charakteryzować dobrymi własnościami mechanicznymi.



Rys. 35. Mikrostruktury miejsc zaznaczonych na rys. 34a:
a) mikrostruktura z miejsca 1, b) mikrostruktura z miejsca 2,
c) mikrostruktura z miejsca 3, d) mikrostruktura z miejsca 4,
e) mikrostruktura z miejsca 5

*Fig. 35. Microstructures of the points indicated in fig.34a:
a) microstructure from point 1, b) microstructure from point 2,
c) microstructure from point 3, d) microstructure from point 4,
e) microstructure from point 5*

5. ZALETY NOWEJ METODY KUCIA ODKUWEK POJEDYNCZYCH WYKORBIENI WAŁÓW KORBOWYCH

Jak wiadomo siła spęczająca osiąga maksymalną wartość przy końcu suwu roboczego urządzenia kuźniczego. Jest to bardzo ważne, ponieważ i opór kucia jest w tym momencie największy. Współczynnik wykorzystania nacisku prasy, wyrażony stosunkiem największej (możliwej do osiągnięcia) poziomej siły spęczającej do nominalnego nacisku prasy, wynosi w przypadku urządzenia TR80WPC $\cong 2$. Innymi słowy nacisk między matrycami kształtującymi, pod koniec procesu kucia, jest dwukrotnie większy od nominalnego nacisku prasy. Pozwala to na kucie pojedynczych wykorbień wału korbowego typu S60MC na prasie o nacisku 80MN. Ponadto górna część wykorbień może być dotłaczana przy powtórnych roboczym suwie suwaka prasy. Wykorzystuje się wówczas do tego pełny nacisk prasy.

Nowa metoda kucia zapewnia dużą dokładność odkuwek, wysoką powtarzalność wykonania tych odkuwek, przy równoczesnym uniezależnieniu się od czynnika ludzkiego. Duża dokładność kształtu kutych wykorbień zapewnia zarówno znaczne oszczędności stali jak i kosztów obróbki skrawaniem. Dlatego nowa metoda kucia pozwala na zastosowanie mniejszych wlewków niż np. przy metodzie gięcia.

Nowa metoda kucia zapewnia prawidłowy przebieg włókien w wykorbień. W miejscach przejścia czopa korbowego w ramiona wykorbień, gdzie zachodzą największe obciążenia podczas pracy silnika, obserwuje się największe zagęszczenie włókien, przy czym kierunek tych włókien zgodny jest z kierunkiem działania sił. Stosując zalecane parametry kształtowania przedkuwki wskutek dużych nacisków przy kształtowaniu wykorbień, uzyskuje się całkowite zgrzanie wad wewnętrznych. Ponadto, nowa metoda kucia zapewnia poprawę mechanicznych własności kutych wyrobów, w tym również wytrzymałości zmęczeniowej.

Opisany proces kucia ma znaczne szanse dalszego rozwoju. Wydajność kucia znacznie przewyższy dotychczasowe efekty uzyskiwane przy tradycyjnych metodach kucia wykorbień. Istnieje możliwość dokładnego kucia wykor-

bień. Pojedyncze wykorbieńa kute nową metodą będą wyższej jakości i tańsze w produkcji.

LITERATURA

- [1] Rut T.: New Forging Method of Semi-Built-up Crankshafts. Proceedings "The 8th International Forgemasters Meeting" Japan, Kyoto October 23 – 28, 1977 s. 1÷29, 53 rys. bibliogr. 5 poz.
- [2] Rut T.: Nowa metoda kucia wykorbień wałów półskładanych. Sposób kucia i urządzenia. Obróbka Plastyczna, Tom XVII, zeszyt 3/4 (1978), s. 132÷144.
- [3] Rut T.: Neues Verfahren für das Schmieden von Kurbelkröpfungen halbgebauter Kurbelwellen. VDI-Z. H. 7/1980, s. 25÷29
- [4] Rut T., Walczyk W.: Rozwój kucia w przyrządach i urządzeniach na prasach – metoda TR. Mat. Konf. MANUFACTURING'01 Współczesne problemy wytwarzania, Poznań, 8÷9 listopada 2001 Tom1 s. 189÷223, 42 rys.