

Zbigniew SIEMIĄTKOWSKI<sup>1</sup>

### **WYBRANE ZAGADNIENIA PRODUKCJI ODKUWEK MONOLITYCZNYCH WAŁÓW KORBOWYCH DO SILNIKÓW OKRĘTOWYCH I AGREGATÓW PRĄDOTWÓRCZYCH**

*W pracy przedstawiono zagadnienia technologiczne dotyczące produkcji wielkogabarytowych odkuwek wałów korbowych monolitycznych do średnioobrotowych silników okrętowych i agregatów prądotwórczych. Omówiono własności stali stosowanych na wały, niektóre zagadnienia wykonania odkuwek i ich obróbki cieplnej.*

### **SELECTED MATTERS OF MANUFACTURING OF CRANKSHAFT MONOLITHIC FORGING FOR MARINE ENGINES AND POWER GENERATORS**

*Paper presents technological matters of manufacturing of large-size crankshaft monolithic forging for medium revolution marine engines and power generators. Properties of steel used for shafts and some matters of forgings manufacturing and their heat treatment were described.*

## **1. WSTĘP**

Do czterosurowych spalinowych silników okrętowych i agregatów prądotwórczych zazwyczaj stosuje się monolityczne wały korbowe. Wymagania stawiane tym wielkogabarytowym wałom narzucają konieczność stosowania specjalnych technologii produkcji obejmujących: wytapianie i odlewanie stali, kucie wstępne i jakościową obróbkę cieplną oraz obróbkę mechaniczną. Ze względu na skomplikowany kształt oraz bardzo wysokie wymagania w zakresie dokładności wymiarowej, należy uznać, że najtrudniejszym etapem procesu jest finalna obróbka mechaniczna. Przebieg tego etapu produkcji jest jednak w dużej mierze uzależniony od parametrów uzyskanych w etapach poprzedzających obróbkę mechaniczną. Do takich parametrów należą wymiary odkuwki po kuciu, zmiany wymiarowe w czasie wstępnej i jakościowej obróbki cieplnej oraz operacji prostowania wału, a także naprężenia szczałkowe występujące w wałach dostarczonym do obróbki mechanicznej.

W Polsce jedynym producentem wielkogabarytowych wałów jest Celsa „Huta Ostrowiec” w Ostrowcu Świętokrzyskim, z którą od wielu lat współpracuje Instytut Budowy Maszyn

---

<sup>1</sup>Dr inż. Zbigniew Siemiątkowski – Instytut Budowy Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Radomskiej, tel.: 48-361-76-15, siemiat@pr.radom.pl

Politechniki Radomskiej. Obecnie realizowany jest projekt celowy dot. opracowania i wdrożenia technologii finalnej obróbki mechanicznej monolitycznych wałów korbowych kutyh w przyrządach TR (Tadeusza Ruta).

W tab. 1 przedstawiono podstawowe charakterystyczne wymiary i masy przykładowych dwóch typów wałów korbowych: 12W38 i 18W46 konstrukcji MAN.

Tab. 1. Charakterystyczne wymiary wałów korbowych

Typ wału	Średnica obrysu	0.5 x skok	Długość wału	Średnica czopów głównych	Średnica czopów korbowych	Odległość między ramionami wykorbień	Masa surowej odkuwki / masa gotowego wału
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	[kg]
12W38	846	237.5	5155	380	360	302	9950/ 5770
18W46	1040	290	11475	450	450	488	38000/ 21470

## 2. CHARAKTERYSTYKA STALI STOSOWANEJ NA MONOLITYCZNE WAŁY KORBOWE

Stale stosowane na odkuwki wałów korbowych monolitycznych należą do grupy stali konstrukcyjnych do ulepszania cieplnego. Do najczęściej stosowanych gatunków należą stale 42CrMo4mod, 42CrNiMo4 oraz 34CrNiMo6.

W tabeli 2 przedstawiono zakresy zawartości pierwiastków ww. gatunków stali.

Tab. 2. Skład chemiczny stali stosowanych na wały korbowe jednolite

Symbol stali	Pierwiastek, % masowy												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	H2	Sn
42CrMo4mod	0.38 0.45	0.05 0.40	0.60 0.90	max 0.020	max 0.015	0.90 1.20	0.15 0.30	0.30 0.60	0.10 0.20	0.005 0.04	max 0.25	max 2ppm	max 0.02
42CrNiMo4	0.38 0.45	max 0.40	0.50 0.90	max 0.020	max 0.015	0.90 1.20	0.15 0.30	0.80 1.00	0.09 0.15	0.005 0.04	max 0.25	max 2ppm	max 0.02
34CrNiMo6	0.30 0.38	0.05 0.40	0.50 0.80	max 0.020	max 0.015	1.30 1.70	0.15 0.30	1.30 1.70	0.07 0.20	0.005 0.04	max 0.25	max 2ppm	max 0.02

Wymagane własności mechaniczne oraz miejsca pobierania próbek do badań są wynikiem ustaleń pomiędzy producentem a klientem. W tabeli 3 podano przykładowe wymagania dot. własności mechanicznych odkuwek wałów korbowych monolitycznych w stanie ulepszonym cieplnie. Próby do badań pobiera się zwykle z głębokości równej ½ promienia odcinka próbnego będącego przedłużeniem wału zgodnie z kierunkiem przebiegu włókien odkuwki.

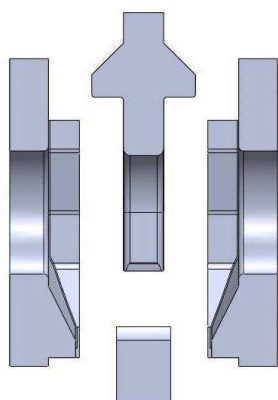
Tab. 3. Wymagane własności mechaniczne odkuwek wałów monolitycznych

Typ wału	Gatunek stali	$R_e$ min.	$R_m$	$A_5$	$Z$	$KV_{20}$	Twardość
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	J	HB
6,7 M43	42CrMo4mod	min	700	min	min	min	min
		530	850	16	50	32	205
9M43	42CrNiMo4	min	850	min	min	min	min
		640	1000	13	45	32	260
12,16,18V46	34CrNiMo6	min	900	min	min	min	260
		690	1100	13	40	32	320

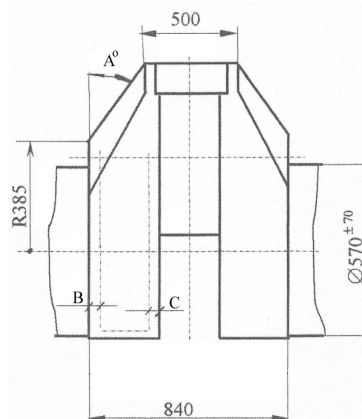
### 3. PROCES KUCIA MONOLITYCZNYCH WAŁÓW KORBOWYCH

Kucie wałów odbywa się w przyrządach TR po wcześniejszym nagraniu przedkuwki w piecu. Warunki brzegowe kucia korby są następujące: temperatura nagrzewu wsadu (przedkuwki) - 1200 °C, temperatura narzędzi - 300 °C, współczynnik tarcia między odkształcanym materiałem i narzędziami - 0,3. Czas kucia korby wynosi - 4s. Czas chłodzenia nagrzanej przedkuwki w powietrzu - 60 s, w narzędziach przed kuciem - 30 s. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe wymiary wykorbienia i widok narzędzi, które je kształtują.

a)



b)



Rys. 1. Wał korbowy jednolity: a) narzędzia kształtujące wykorbienie, b) wymiary wykorbienia

Proces kucia monolitycznych wałów korbowych odbywa się w dwóch etapach. Pierwszy etap obejmuje:

- nagrzewanie wsadu,
- zakuwanie uchwytu i zaokrąglanie wlewka,
- spęczanie i przekuwanie w celu zapewnienia odpowiedniego stopnia przerobu,

- kucie na gotowo przedkuwki.

Przedkuwkę (rys 2a) po wykonaniu przekazuje się do wstępnej obróbki cieplnej, a następnie obrabia mechanicznie (rys. 2b,c,d). W pewnych przypadkach stosuje się technologię kucia przedkuwki na gotowo z pominięciem obróbki mechanicznej.

a)



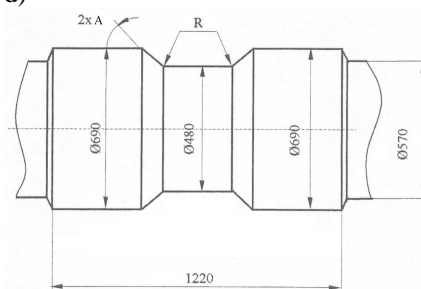
b)



c)

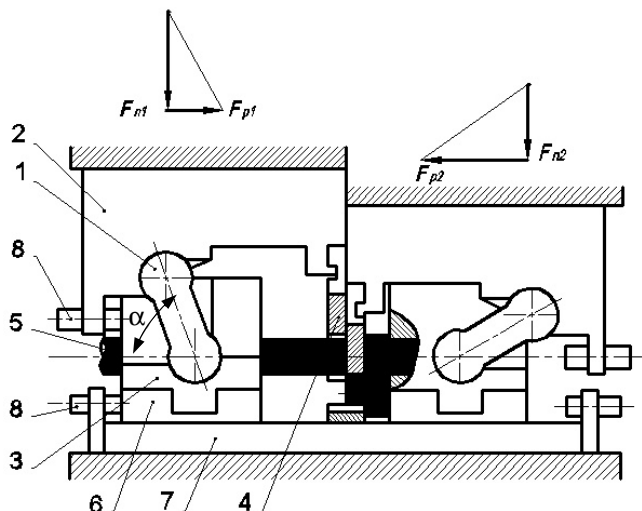


d)



Rys. 2. Przedkuwka wału korbowego monolitycznego: a) w stanie po kuciu, b,c) w stanie po obróbce mechanicznej, d) charakterystyczne wymiary przedkuwki do kształtowania jednego wykorbienia

W drugim etapie następuje proces kucia wału z uprzednio przygotowanej przedkuwki w przyrządzie TR, którego schemat przedstawiono na rys. 3. Schemat przedstawia zasadę wykorzystania pionowego ruchu poprzeczki prasy do kształtowania wykorbienia wału korbowego z pomocą wyginaka, kowadła i zbliżających się do siebie (zamykających się) bocznych narzędzi kształtujących. Powyżej szkicu urządzenia, po lewej i prawej stronie, znajdują się wykresy rozkładu sił obrazujące stosunek poziomej siły spęczającej  $F_p$  do pionowego nacisku prasy  $F_n$  odpowiednio na początku i na końcu procesu kucia.

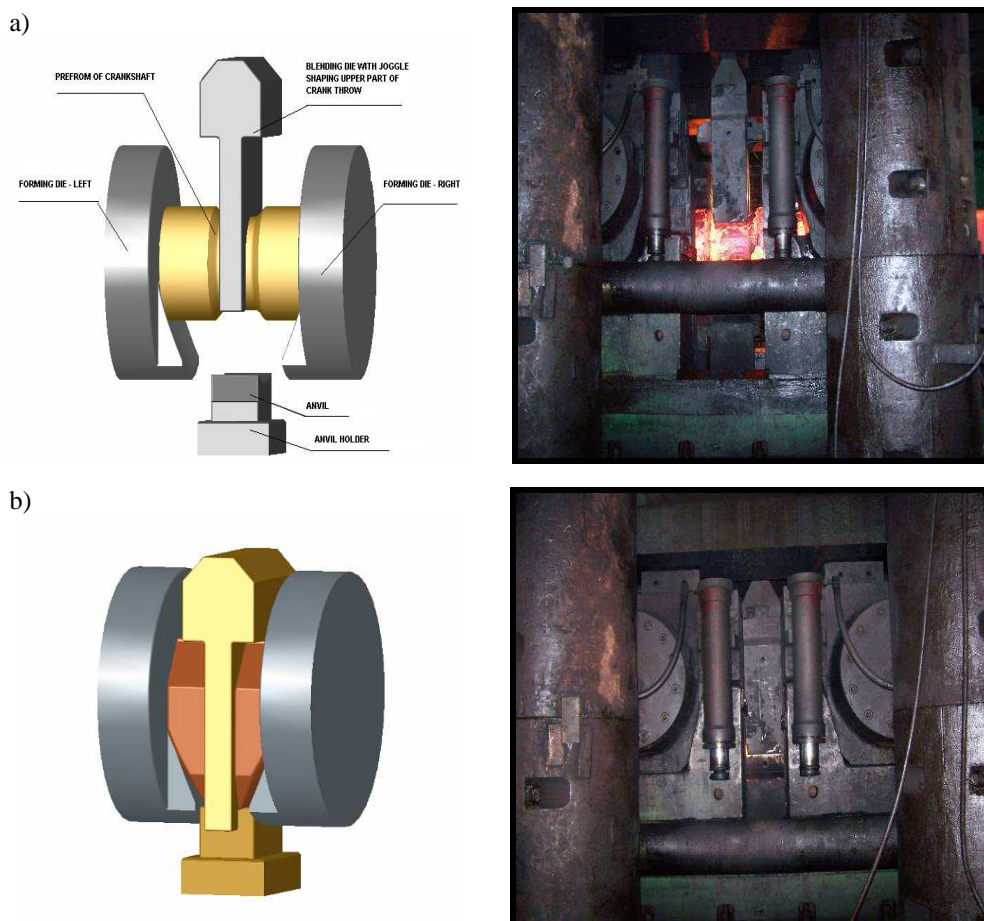


Rys. 2. Schemat urządzenia do kucia wałów metodą TR

Urządzenie zostało przedstawiono w dwóch pozycjach: w pozycji początkowej (w pełni otwarte - po lewej stronie rysunku) oraz w pozycji końcowej (w pełni zamknięte - po prawej stronie). Dzięki zastosowaniu układu dźwigni kolanowych (1) stało się możliwym uzyskanie tak pożądanego rozkładu nacisku prasy w urządzeniu na dwie składowe. Siłę pionową  $F_n$  wykorzystuje się do zaciśnięcia pręta wyjściowego 5 o przekroju kołowym między górną (3) i dolną (6) obudową narzędzi. Składowa pozioma  $F_p$  pokonuje opór spęczania pręta. Połączenie wpustowe górnej z dolną obudową narzędzi zapewnia ich równoczesny przesuw poziomy w czasie ruchu roboczego.

Konstrukcja zapewnia wzrost siły  $F_p$  w miarę zmniejszania się kąta  $\alpha$  pochylenia dźwigni kolanowej. Taki rozkład sił jest korzystny ze względu na wzrost oporu spęczania w miarę zwiększania się powierzchni przekroju poprzecznego spęczanego pręta. W początkowej fazie kucia siła wywierana przez dźwignie kolanowe jest głównie pionowa z małą składową poziomą. Powoduje ona głównie wyginanie kształtowanego pręta z równoczesnym podawaniem materiału zaciśniętego we wkładkach narzędziowych zamocowanych w obudowach narzędzi. Kształtowanie wykorbienia odbywa się przez dwustronne spęczanie z równoczesnym wyginaniem środkowej części spęczanego odcinka pręta. Przy dalszym ruchu suwaka prasy w dół kąt  $\alpha$  pochylenia dźwigni kolanowych maleje, co powoduje wzrost składowej poziomej jak pokazano na górnym prawym wykresie rozkładu sił. Ramiona wykorbienia są teraz intensywnie kształtowane składową poziomą  $F_p$  rosnącą, w miarę zmniejszania się kąta  $\alpha$ , szybciej niż opór plastyczny kształtowania, aż do ostatecznego ukształtowania wykorbienia. Po ukształtowaniu wykorbienia przeczka prasy podnosi się, otwierając narzędzia.

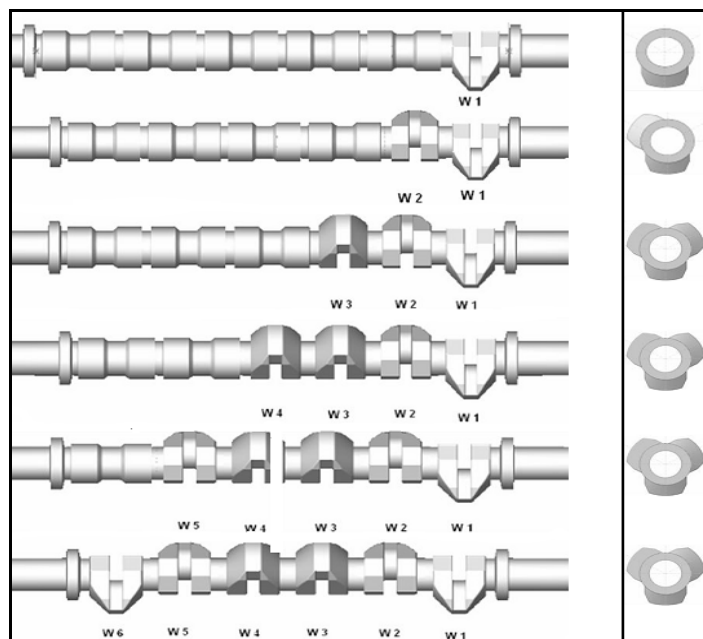
Na rysunku 4 przedstawiono rozmieszczenie narzędzi w czasie kształtowania korby wału w przyrządzie TR.



Rys. 4. Rozmieszczenie narzędzi w czasie kształtowania korby wału: a) przed, b) po kształtowaniu

Na rysunku 5 przedstawiono sekwencję procesu kucia poszczególnych wykorbień (W1-W6) w wale korbowym jednolitym oraz wał po odkuciu.

a)



b)

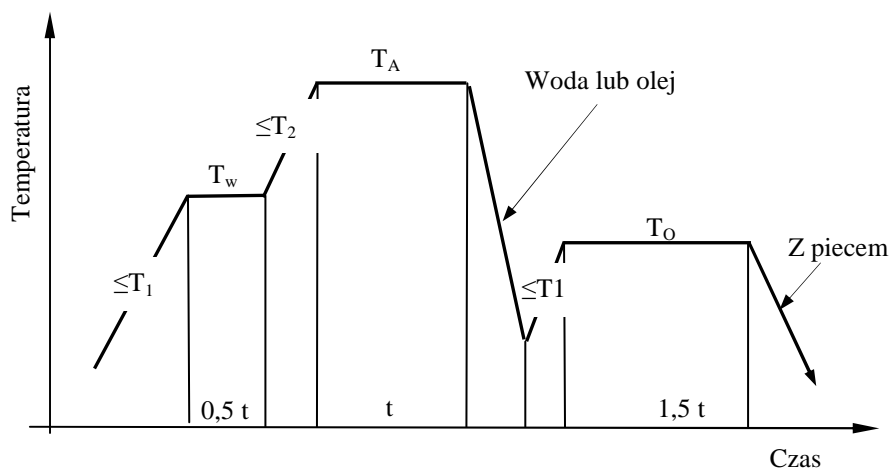


Rys. 5. Wykonanie odkuwek wałów korbowych jednolitych: a) sekwencje kucia korb, b) wał po odkuciu

Po kuciu przeprowadza się dwuetapową obróbkę cieplną odkuwek. W pierwszym etapie, bezpośrednio po kształtowaniu wału stosuje się zabieg wyżarzania normalizującego celem ujednorodnienia struktury i rozdrobnienia ziarna byłego austenitu. Obróbkę tę wykonuje się w pozycji poziomej lub pionowej, zależnie od długości wału. Z zastosowaniem obróbki

cieplnej w pozycji pionowej wiąże się wiele korzyści, m.in. minimalizuje się problem krzywienia wału, a także zapewnia większą jednorodność pola temperatury w piecu.

Przykładowy przebieg procesu ulepszania cieplnego odkuwki wału przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Przebieg ulepszania cieplnego wału korbowego

W przypadku, gdy wał podlega zabiegowi prostowania, stosuje się wyżarzanie odprężające.

### 3. WNIOSKI

Zasygnalizowane w niniejszej pracy zagadnienia stanowią trudne problemy produkcyjne podczas wykonywania monolitycznych wałów korbowych do czterosuwowych silników okrętowych i agregatów prądotwórczych. Duże masy obrabianych części, ich gabaryty, a także bardzo wysokie wymagania dotyczące czystości stali, kucia, obróbki cieplnej i mechanicznej sprawiają wiele problemów technologicznych, które nie występują w produkcji typowych części maszyn. Niejednokrotnie po to, żeby była możliwa wydajna i ekonomicznie opłacalna obróbka, konieczne jest skonstruowanie specjalnych maszyn sterowanych numerycznie, dzięki którym obniża się znacznie pracochłonność wytwarzania i znacznie ogranicza liczbę braków spowodowanych błędami pracowników.

Przedstawione problemy technologiczne sprawiają, że niewiele hut na świecie jest w stanie produkować najwyższej jakości wały korbowe jednolite. Wśród tych najlepszych firm jest również CELSA „Huta Ostrowiec” w Ostrowcu Świętokrzyskim.



#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rut T, Walczyk W.: Kucie metodą TR wałów korbowych wysokoprężnych silników średnio wolnoobrotowych. 17<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE “DESIGN AND TECHNOLOGY OF DRAWPIECES AND DIE STAMPINGS”. Poznań-Wąsowo, 22-24 September 2008.
- [2] Rut T, Walczyk W.: Ulepszona metoda TR kucia pojedynczych wykorbień wałów półskładanych do wolnoobrotowych silników Diesla. *Obróbka Plastyczna Metali t. XIX nr 3* (2008).
- [3] Ishiyama O., Fujita H., Matsumoto O., Takahashi I.: Application of Polymer Quenching for Large Forgings. 2-3-1, Shinhama, Arai-Cho, Takasago-Shi, HYOGO 676-8670, JAPAN.
- [4] Materiały z CELSA „Huta Ostrowiec” w Ostrowcu Świętokrzyskim.