

Konstrukcja i możliwości technologiczne uniwersalnej walcarki kuźniczej

Design and technological capabilities of a universal forging mill

JANUSZ TOMCZAK
ARKADIUSZ TOFIL *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.158>

English version available on: www.mechanik.media.pl

Prezentowano wybrane wyniki prac badawczych związanych z opracowaniem i weryfikacją konstrukcji wielozadaniowej walcarki kuźniczej, przeznaczonej do realizacji takich procesów, jak: walcowanie kuźnicze wzdłużne, walcowanie poprzeczno-klinowe oraz dzielenie bezodpadowe prętów. W trakcie prac konstrukcyjnych wykorzystano nowoczesne narzędzia numeryczne CAD/CAE, ułatwiające projektowanie i analizę konstrukcji. Zaprojektowana walcarka charakteryzuje się dużą uniwersalnością – z uwagi na możliwość realizacji 2 odmiennych kinematycznie procesów walcowania kuźniczego (wzdłużnego i poprzecznego) oraz dzielenia bezodpadowego półfabrykatów. Jej możliwości technologiczne są znacznie większe w porównaniu z maszynami stosowanymi obecnie w przemyśle. Weryfikację przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych przeprowadzono podczas prób uruchomieniowych. Uzyskane wyniki w pełni potwierdziły przydatność wielozadaniowej walcarki kuźniczej do kształtowania odkuwek i przedkuwek oraz dzielenia prętów.

SŁOWA KLUCZOWE: walcarki kuźnicze, walcowanie kuźnicze, walcowanie poprzeczno-klinowe, dzielenie bezodpadowe

*The paper presents selected results of the research related to the development and verification of a multi-purpose construction of forging mill suitable for the following processes: longitudinal roll forging, cross-wedge rolling, and steel bar cropping. Modern CAD/CAE numerical tools have been used to facilitate the design and analysis of the construction. The designed forging mill is characterized by high versatility due to the possibility of two different kinematic processes of roll forging (longitudinal and transverse) as well as semi-products waste-free cropping. Its technological capabilities are considerably higher as compared to the machines currently used in industry. Verification of adopted construction solutions was made during the commissioning tests. The achieved results have fully confirmed the usefulness of multi-task forging mill for rolling forgings and preforms as well as cropping process. **KEYWORDS:** roll forging mills, longitudinal rolling, cross wedge rolling, bar cropping processes*

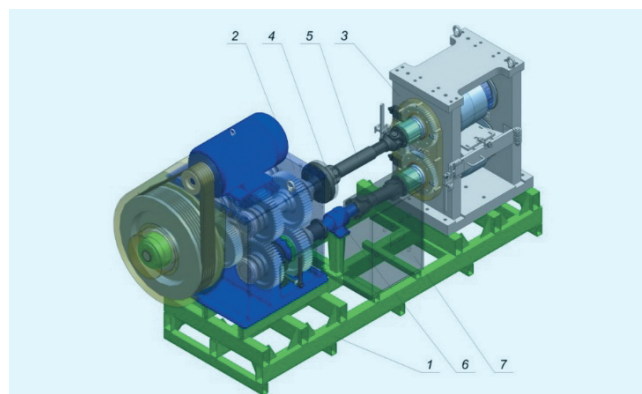
Krajowy przemysł kuźniczy charakteryzuje się dużą różnorodnością asortymentu wytwarzanych wyrobów i stosunkowo niewielkimi seriami produkowanych odkuwek. Taka specyfika produkcji powoduje konieczność stosowania dość szerokiej grupy maszyn kuźniczych. Dotyczy to również procesów walcowania kuźniczego, gdzie kuźnie wykorzystują różnego typu walcarki do kształtowania odkuwek i przedkuwek. Oferowane obecnie walcarki kuźnicze są przeznaczone głównie do realizacji jednego schematu walcowania: wzdłużnego lub poprzecznego [1–5]. Brakuje natomiast maszyn uniwersalnych, które pozwoliłyby na realizację obu procesów. Ponadto dostępne na rynku walcarki kuźnicze (głównie zagranicznych producentów) są

stosunkowo drogie, a ich eksploatacja staje się opłacalna dopiero w przypadku produkcji wielkoseryjnej i masowej. W związku z tym za celowe uznano rozwijanie własnych konstrukcji walcarek kuźniczych, dostosowanych do potrzeb krajowego rynku. Jedną z innowacyjnych maszyn, która powstała w efekcie tych prac, jest uniwersalna walcarka kuźnicza, przeznaczona do realizacji: walcowania poprzecznego, walcowania wzdłużnego oraz dzielenia bezodpadowego [6, 7]. Maszynę zainstalowano w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Chełmie. Obecnie na świecie praktycznie nie spotyka się walcarek o tak szerokich możliwościach technologicznych.

Konstrukcja uniwersalnej walcarki kuźniczej

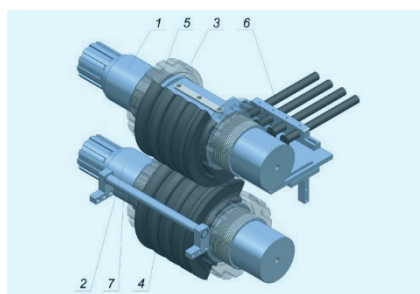
Wielozadaniowa walcarka kuźnicza jest bardzo uniwersalna – pozwala na prowadzenie 2 odmiennych kinematycznie procesów walcowania kuźniczego oraz bezodpadowego dzielenia półfabrykatów. Głównym założeniem determinującym jej konstrukcję była możliwość zmiany kierunku obrotów walców – takie rozwiązanie zapewnia realizację procesów walcowania poprzecznego (walce obracają się w tym samym kierunku) oraz walcowania wzdłużnego (walce obracają się w przeciwnych kierunkach) w jednym agregacie. Wymiary narzędzi określono na podstawie asortymentu odkuwek wydłużonych, kształtowanych przez krajowe kuźnie [8,9]. Przyjęto, że średnica robocza walców powinna umożliwiać umieszczenie na nich narzędzi klinowych o długości w rozwinięciu do 1400 mm (w przypadku walcowania poprzeczno-klinowego) oraz kształtowanie odkuwek o długości do 900 mm (w przypadku walcowania wzdłużnego). Ponadto walcarka powinna być przystosowana do bezodpadowego dzielenia prętów stalowych o średnicy do 60 mm. Ze względów eksploatacyjnych walce po wykonaniu pełnego obrotu muszą mieć możliwość natychmiastowego zatrzymania się.

Zaprojektowana walcarka kuźnicza ma segmentową strukturę i składa się z 7 podstawowych zespołów (rys. 1).

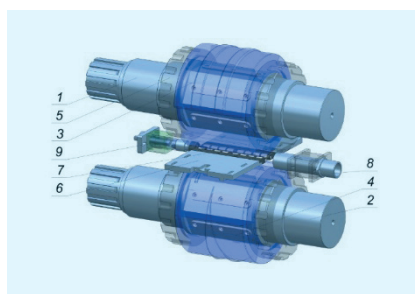


Rys. 1. Model przestrzenny uniwersalnej walcarki kuźniczej: 1 – rama nośna, 2 – zespół napędowy, 3 – klatka robocza, 4 – sprzęgło ustawiania kąтового, 5 – wały przegubowe, 6 – przetwornik momentu obrotowego, 7 – skrzynka elektryczna

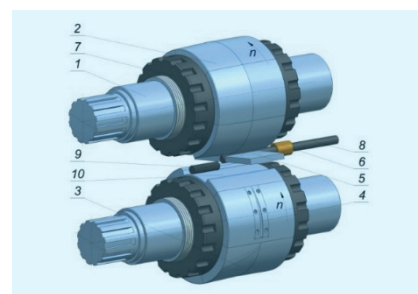
* Dr hab. inż. Janusz Tomczak (j.tomczak@pollub.pl), dr hab. inż. Arkadiusz Tofil (atofil@pwsz.chelm.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej



Rys. 2. Sposób uzbrojenia przestrzeni roboczej walcarki do walcowania wzdłużnego: 1, 2 – wały robocze; 3, 4 – zestawy segmentów roboczych; 5 – nakrętka czołowa; 6 – zespół zderzaków; 7 – wspornik



Rys. 3. Sposób uzbrojenia walcarki do walcowania poprzecznego: 1, 2 – wały; 3, 4 – segmenty robocze; 5 – nakrętka czołowa; 6 – prowadnice; 7 – głowice prowadnic; 8 – podajnik wsadów; 9 – zderzak



Rys. 4. Schemat dzielenia bezodpadowego prętów: 1 – wał, 2 – narzędzia górne, 3 – narzędzia dolne, 4 – nóż, 5 – prowadnica, 6 – tuleja wprowadzająca, 7 – nakrętka czołowa, 8 – pręt do dzielenia, 9 – odcięty półwyrob, 10 – gniazdo do usuwania półfabrykatów

Ramę nośną wykonano jako ażurową konstrukcję spawaną. Do ramy przymocowano z jednej strony zespół napędowy, a z drugiej – klatkę walców roboczych. Do przekazania momentu obrotowego z zespołu napędowego do klatki walców roboczych wykorzystuje się dostępne w sprzedaży wały przegubowe. W układzie przeniesienia napędu na górny wałek klatki roboczej umieszczono sprzęgło, umożliwiające ustawianie położenia kąowego narzędzi. Natomiast w układzie przeniesienia napędu na dolny wałek umieszczono zespół pomiarowy, składający się z przetwornika momentu obrotowego oraz przetwornika przemieszczenia kąowego. Układ pomiarowy służy do rejestracji parametrów siłowych oraz kinematycznych procesu walcowania. Walcarkę wyposażono w zintegrowany układ zasilania elektrycznego oraz sterowania. Umożliwia on zasilanie energią elektryczną napędowego silnika elektrycznego oraz dodatkowego osprzętu sterującego. Podstawowym zespołem walcarki jest klatka walców roboczych, w której realizowany jest proces odkształcania materiału. Korpus klatki walcowniczej wykonano jako konstrukcję składaną z pionowych płyt stalowych, które pełnią rolę stojaków. Spięte są one za pomocą 2 płyt poziomych, które usztywniają konstrukcję. W stojakach klatki roboczej osadzono wały robocze z umieszczonymi na nich segmentami narzędziowymi. W czasie pracy urządzenia, zależnie od konfiguracji walcarki, wały mogą się obracać w tym samym kierunku z jednakową prędkością lub w przeciwnych kierunkach. W zależności od metody walcowania przestrzeń roboczą klatki uzbraja się w narzędzia konstrukcyjnie dostosowane do realizowanego procesu. Do wzdłużnego walcowania kuźniczego stosuje się segmenty narzędziowe montowane jedynie na części obwodu walców (maksymalnie do 270° na obwodzie walców [10–12]). Na powierzchniach roboczych segmentów wykonane są wykroje w kształcie bruzd, w których następuje zgniatanie materiału podczas przeciwnego obrotu walców. Schemat uzbrojenia walcarki do walcowania kuźniczego wzdłużnego pokazano na rys. 2.

Podczas walcowania wzdłużnego walce obracają się w przeciwnych kierunkach, a umieszczone na nich segmenty robocze chwytają materiał, powodując jego zgniatanie i przemieszczanie wzdłuż osi walcowanej odkuwki. W przypadku walcowania poprzecznego lub dzielenia bezodpadowego segmenty narzędziowe zazwyczaj znajdują się na całym obwodzie walca. Schemat rozmieszczenia narzędzi do walcowania poprzecznego pokazano na rys. 3. W tym przypadku narzędzia mają kształt klinów umieszczonych na powierzchniach segmentów roboczych. Dodatkowo walcowany materiał jest utrzymywany w przestrzeni roboczej przez 2 prowadnice. Półfabrykat podawany jest do przestrzeni roboczej wzdłuż osi walco-

wania. Ustalenie osiowe wsadu jest realizowane za pomocą zderzaka osiowego.

Na uniwersalnej walcierce kuźniczej można też wykonywać bezodpadowe dzielenie prętów. Idea dzielenia bezodpadowego polega na zaadaptowaniu procesu walcowania poprzeczno-klinowego narzędziami obrotowymi do ukształtowania pierścieniowego karbu w miejscu podziału, a następnie na cyklicznym przeginaniu łamanego pręta podczas jego ruchu obrotowego między stożkowymi powierzchniami narzędzi (rys. 4).

Pręty do dzielenia są podawane do przestrzeni roboczej w tulei wprowadzającej, znajdującej się w stojaku klatki roboczej. Długość dzielonego półwyrobu ustalana jest za pomocą zderzaka, umieszczonego w drugim stojaku. Ucinki prętów usuwane są samoczynnie z przestrzeni roboczej, dzięki czemu proces może być realizowany w sposób ciągły bez konieczności zatrzymywania walcarki.

Na podstawie opracowanej konstrukcji maszyny wykonano prototypową walcarkę kuźniczą. Widok maszyny pokazano na rys. 5, a jej ważniejsze dane techniczne zestawiono w tabelicy.



Rys. 5. Prototypowa walcarka kuźnicza do walcowania wzdłużnego i poprzecznego oraz dzielenia bezodpadowego

TABLICA. Parametry użytkowe uniwersalnej walcarki kuźniczej

Moc silnika napędowego, kW	37
Prędkość obrotowa silnika elektrycznego, obr/min	960
Prędkość obrotowa wałów roboczych, obr/min	16,5
Moment nominalny na wale napędowym, Nm	12500
Moment maksymalny na wale napędowym, Nm	20000
Średnica nominalna walców, mm	430
Długość beczki walców, mm	300
Minimalna odległość osi, mm	430
Maksymalna odległość osi, mm	470
Masa maszyny, kg	9500
Wysokość maszyny, mm	2120
Szerokość maszyny, mm	1430
Długość maszyny, mm	3490

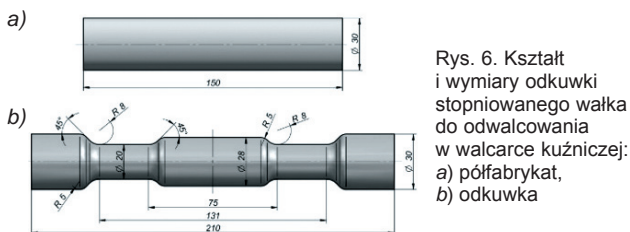
Próby ruchowe

W celu potwierdzenia możliwości technologicznych uniwersalnej walcarki kuźnicznej przeprowadzono próby walcowania poprzecznego i wzdłużnego odkuwek oraz dzielenia bezodpadowego prętów. Przyjęto, że w procesach walcowania będą kształtowane stalowe odkuwki wałków stopniowanych z półfabrykatu w kształcie odcinka pręta (rys. 6).

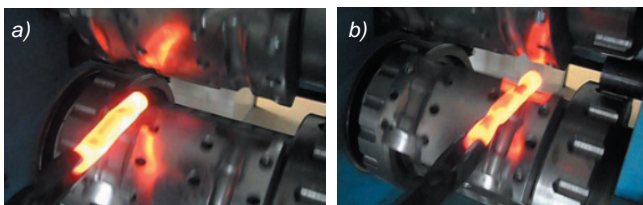
Wsady do walcowania wzdłużnego i poprzecznego wykonano ze stalowych prętów z gatunku C45, które nagrzewano do temperatury 1150°C. W trakcie prób walcowania wzdłużnego wsad przez cały czas był utrzymywany w kleszczach. Po wprowadzeniu nagrzanego materiału do wykroju owalnego i ustaleniu jego położenia przy pomocy zderzaków walce wprawiano w przeciwbieźny ruch obrotowy. Po wykonaniu pełnego obrotu przez narzędzia walce zatrzymywały się, a przedkuwka była przenoszona z obrotem o 90° do kolejnego wykroju – kołowego. Następnie znów uruchamiano przeciwbieźny ruch obrotowy walców i kształtowano stopnie odkuwki o przekroju kołowym (rys. 7).

Do walcowania poprzeczno-klinowego odkuwek walce uzbrojono w narzędzia o klinowych powierzchniach roboczych (rys. 8a). Następnie wprowadzano nagrzaną wsad do strefy wejściowej narzędzi, po czym walce wprawiano w ruch obrotowy w tym samym kierunku. W trakcie walcowania półfabrykat utrzymywany był w przestrzeni roboczej przez 2 prowadnice. Po wykonaniu przez narzędzia pełnego obrotu następowało automatyczne zatrzymanie walców i usunięcie ukształtowanej odkuwki z przestrzeni roboczej (rys. 8b).

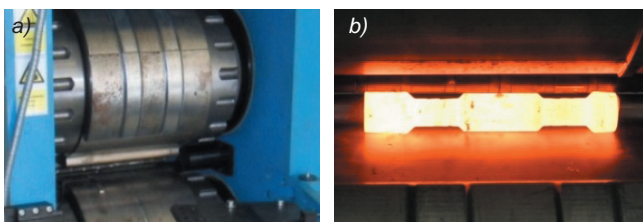
Badania obejmowały również próby dzielenia prętów stalowych o średnicy $\varnothing 30$ mm na odcinki o długości $l = 100$ mm. W tym celu walcarkę uzbrojono w zestaw narzędzi umożliwiających jednoczesne wygniatanie karbu, a następnie obrotowe zginanie materiału aż do jego pęknięcia w obszarze tego karbu (rys. 9a). Podczas procesu dzielony pręt podawany jest między walce, które obracają się ze stałą prędkością w tym samym kierunku. Długość



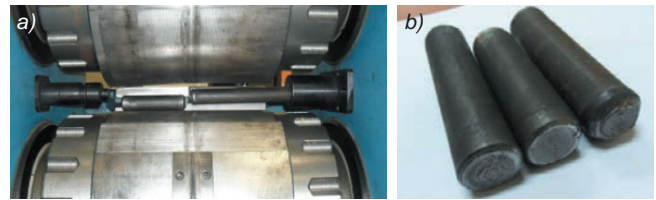
Rys. 6. Kształt i wymiary odkuwki stopniowanego wałka do odwalcowania w walcarki kuźnicznej: a) półfabrykat, b) odkuwka



Rys. 7. Próby walcowania kuźnicznego odkuwki wałka stopniowanego: a) przedkuwka po 1. przepuszczeniu, b) odkuwka po 2. przepuszczeniu



Rys. 8. Próby walcowania poprzeczno-klinowego odkuwki wałka stopniowanego: a) narzędzia klinowe, b) ukształtowana odkuwka



Rys. 9. Realizacja procesu dzielenia bezodpadowego: a) końcowy etap procesu z rozdzielonym półfabrykatem, b) otrzymane odcinki prętów

dzielenych odcinków ustalana jest przy pomocy zderzaka. Proces dzielenia odbywa się w czasie pełnego obrotu walców. Uzyskane półwyroby charakteryzują się zadowalającą powierzchnią rozdzielania (rys. 9b), wolną od wad, które występują podczas łamania prętów innymi metodami.

Podsumowanie

Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne wielozadaniowej walcarki kuźnicznej może zainteresować krajowe i zagraniczne zakłady z branży kuźnicznej. Innowacyjność prezentowanej walcarki wynika z możliwości realizowania na niej walcowania wzdłużnego i poprzecznego oraz dzielenia bezodpadowego prętów. Obecnie na rynku nie ma tego typu maszyn, a oferowane walcarki specjalizowane (walcarki poprzeczne i wzdłużne) są stosunkowo drogie i przeznaczone do kształtowania wąskiej grupy wyrobów. W przypadku krótkich serii produkcyjnych i szerokiej gamy wyrobów zakup 2 maszyn specjalizowanych staje się nieopłacalny. W rezultacie kuźnie są zmuszone do wykorzystywania alternatywnych technologii, które charakteryzują się większą materiał- i energochłonnością, co jest przyczyną niskiej konkurencyjności takich zakładów. Należy zaznaczyć, że procesy walcownicze – dzięki licznym zaletom – znajdują coraz szersze zastosowanie. Duży potencjał mają też procesy dzielenia bezodpadowego, które z powodzeniem mogą być realizowane w walcarkach uniwersalnych.

Weryfikacja doświadczalna opracowanej konstrukcji walcarki wielozadaniowej w pełni potwierdziła możliwości technologiczne maszyny. Uzyskane odkuwki były zgodne z przyjętymi założeniami (geometrycznymi i wymiarowymi). Przeprowadzone próby ruchowe wykazały również, że opracowana konstrukcja spełnia przyjęte założenia odnośnie do sztywności i nośności.

LITERATURA

1. "ASM Metal Handbook". Vol.14. "Forming and Forging". 1996.
2. Bartnicki J., Pater Z. "The aspects of stability in cross-wedge rolling processes of hollowed shafts". *Journal of Materials Processing Technology*. 155–156 (2004): s. 1867–1873.
3. "Cross-Wedge and Forging Rolls". www.lasco.de (dostęp: 03.05.2016 r.).
4. Pater Z. "Cross-Wedge Rolling". *Comprehensive Materials Processing*. 3 (2014): s. 211–279.
5. Pater Z. "Walcowanie poprzeczno-klinowe". Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2009.
6. Tofil A., Pater Z., Tomczak J. "Dwuwalcowa klatka walcownicza, zwłaszcza do walcowania poprzecznego, wzdłużnego oraz dzielenia bezodpadowego". Polski patent nr PL 215512, 2013.
7. Tofil A., Tomczak J., Pater Z. "Przekładnia redukcyjna ze zmiennym kierunkiem obrotów wałów wyjściowych, z możliwością pomiaru momentu obrotowego". Polski patent nr PL 219484, 2013.
8. Tofil A. "Procesy kształtowania półwyrobów w uniwersalnej walcarki kuźnicznej". Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2016.
9. Bulzak T., Tomczak J., Pater Z. "Prognozowanie wpływu konstrukcji walcarki ramowo-konsolowej na możliwości jej użytkowania". *Mechanik*. 87, 2 (2014): s. 100–104.
10. Lisowski J. "Walcowanie kuźnicze". Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1974.
11. Grass H., Kremaszky C., Werner E. "3-D FEM-simulation of hot forming processes for the production of a connecting rod". *Computational Materials Science*. 36 (2006): s. 480–489.
12. Li R., Jiao S. "Numerical simulation for precision roll-forging of automobile front axle". *Advanced Materials Research*. 602–604 (2013): s. 1850–1854.