

# APARATURA

## BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

### **Analiza wpływu temperatury na przebieg procesu walcowania sworzni kulistego**

*PATRYCJA WALCZUK, KONRAD LIS, ZBIGNIEW PATER*

**KATEDRA KOMPUTEROWEGO MODELOWANIA I TECHNOLOGII OBRÓBKI PLASTYCZNEJ,  
POLITECHNIKA LUBELSKA**

**Słowa kluczowe:** walcowanie poprzeczno-klinowe, sworzni kulisty, eksperyment

#### **STRESZCZENIE:**

W artykule przedstawiono analizę wpływu temperatury nagrzewania materiału wsadowego na otrzymywaną odkuwkę w procesie walcowania poprzeczno-klinowego. Efektem prac badawczych była analiza kształtu, dokładności wymiarowej, wad wewnętrznych odkuwek oraz rozkładów sił walcowania. Na podstawie uzyskanych wyników eksperymentalnych określono temperaturę nagrzewania wsadu umożliwiającą uzyskanie dobrych własności plastycznych materiału do walcowania poprzeczno-klinowego sworzni kulistych.

### **Investigation of the effect of billet temperature on a rolling process for producing ball studs**

**Keywords:** cross wedge rolling, ball studs, experiment

#### **ABSTRACT:**

The paper investigates the effect of billet temperature on a cross wedge rolling process for producing a ball stud. As a result, it is possible to examine parameters such as the shape, dimensional accuracy and internal defects of the produced part, as well as the variations in the rolling forces. The experimental results serve as a basis for determining the billet temperature which ensures high plastic properties of material used for producing ball studs by cross wedge rolling.

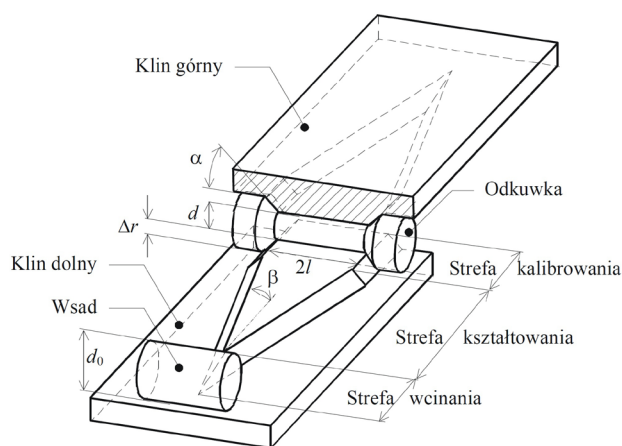
## 1. WPROWADZENIE

Sworzień to element wykorzystywany jako łącznik w przegubach. W podjętych badaniach wykorzystano jeden z jego typów, tj. sworzień kulisty. Stosowany jest on głównie w przegubach kulowych, umożliwiając obroty w trzech osiach. Wspomniane połączenie powszechnie występuje w przednim zawieszeniu pojazdów samochodowych, jako końcówki drążków kierowniczych, jak również w postaci przegubów wahacza w łączeniu ze zwrotnicą.

Jednym ze sposobów wytwarzania sworzni kulistych jest obróbka ubytkowa, charakteryzująca się jednak stratami materiałowymi w postaci wiórów, jak również pracochłonnością. Kolejną metodą jest kształtowanie plastyczne z wykorzystaniem kucia matrycowego przeprowadzanego na młotach, prasach lub kuźniarkach. Do otrzymania wyrobu finalnego, jakim jest sworzień kulisty, nie jest konieczne przygotowywanie przedkuwki ze względu na nieskomplikowany kształt. Kucie matrycowe jest obecnie główną metodą wytwarzania sworzni ze względu na możliwość produkowania odkuwek przy małych stratach materiału wskutek ciągłej optymalizacji tego procesu, a także możliwość otrzymania wyrobu finalnego o oczekiwanych wymiarach.

Jedną z nowych, alternatywnych metod wykonywania odkuwki jest walcowanie poprzeczno-klinowe [1-6]. Umożliwia ono plastyczne kształtowanie wyrobów osiowosymetrycznych za pomocą narzędzi w kształcie klinowym. Charakteryzuje się wysoką wydajnością, niskimi kosztami wytwarzania, mniejszą energochłonnością, jak również możliwością automatyzacji. Konstrukcja narzędzi klinowych umożliwia montowanie ich na walcach lub też na płaskich płytach walcarek, co zaprezentowano na Rysunku 1. Przedstawiony schemat walcowania z wykorzystaniem dwóch klinów płaskich został zastosowany przez autorów do wykonania sworzni kulistych w układzie podwójnym, które połączone zostały częścią czołową.

Głównymi parametrami w procesie walcowania poprzeczno-klinowego są kąt kształtujący  $\alpha$ , kąt rozwarcia klina  $\beta$ , średnica wsadu  $d_0$  i odkuwki po walcowaniu  $d$ , a także długość odcinka walcowanego  $l$ . W narzędziach stosowanych w omawianym walcowaniu wyróżnia się trzy strefy: wcinania, kształtowania i kalibrowania. W pierwszej z nich narzędzie zagłębia się w materiał, redu-



Rysunek 1 Schemat walcowania poprzeczno-klinowego narzędziami płaskimi [7]

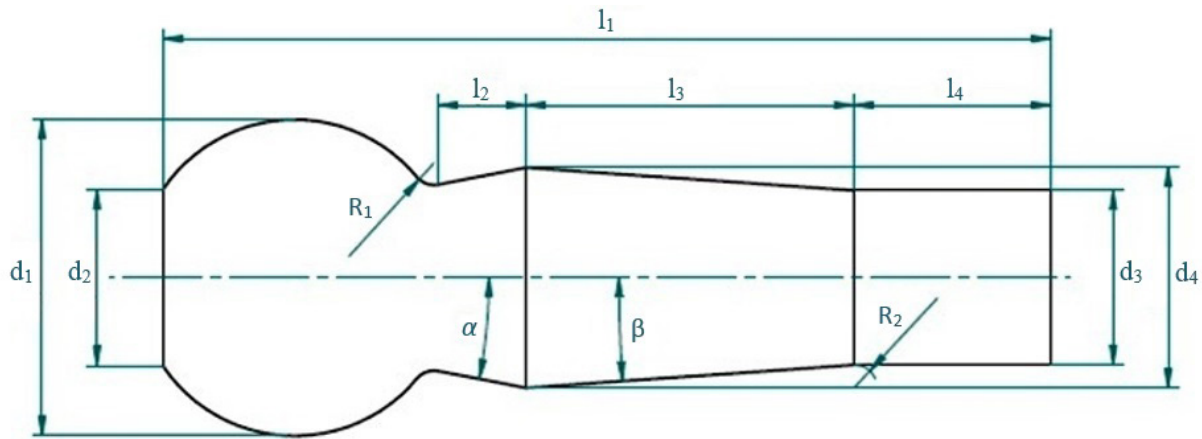
kując początkową średnicę wsadu do założonej wartości  $d$ . W kolejnej, tj. podczas kształtowania, uzyskiwana jest wymagana długość  $l$  w wyniku oddziaływania bocznych ścian klina. W ostatnim etapie – kalibrowania – dokonywane jest obciskanie materiału, powodujące usunięcie wszelkich nieregularności kształtu wyrobu walcowanego. Dodatkowo, w tej strefie umieszczane są noże odcinające, mające za zadanie oddzielenie niekształconych końców wyrobu lub rozdzielanie w przypadku jednoczesnego kształtowania dwóch lub więcej części.

## 2. PRZEBIEG BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

W badaniach doświadczalnych dokonano analizy wpływu temperatury na dokładność wykonania odkuwki sworzni kulistego, przedstawionego na Rysunku 2, którego wymiary nominalne podano w Tabeli 1.

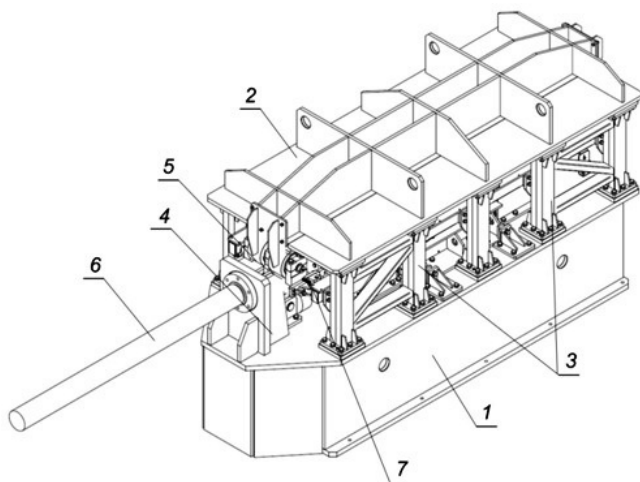
Jako materiał wsadowy zastosowano pręt ze stali w gatunku C45 o średnicy 30 mm i długości 102 mm. Następnie dokonano walcowania sworzni kulistych w układzie podwójnym (połączone ze sobą części czołowe), co uniemożliwia występowanie niepożądanych ruchów osiowych podczas kształtowania, zwiększa stabilność procesu, jak również powoduje wzrost wydajności procesu. W celu odcięcia odpadów czołowych zastosowano noże odcinające.

Do prób doświadczalnych została wykorzystana walcarka poprzeczno-klinowa, którą przedstawiono na Rysunku 3. Skonstruowana została przez pracowników Katedry Komputerowego Modelowania i Technologii Obróbki Plastycznej w ramach



Rysunek 2 Szworzeń kulisty wraz z wymiarami

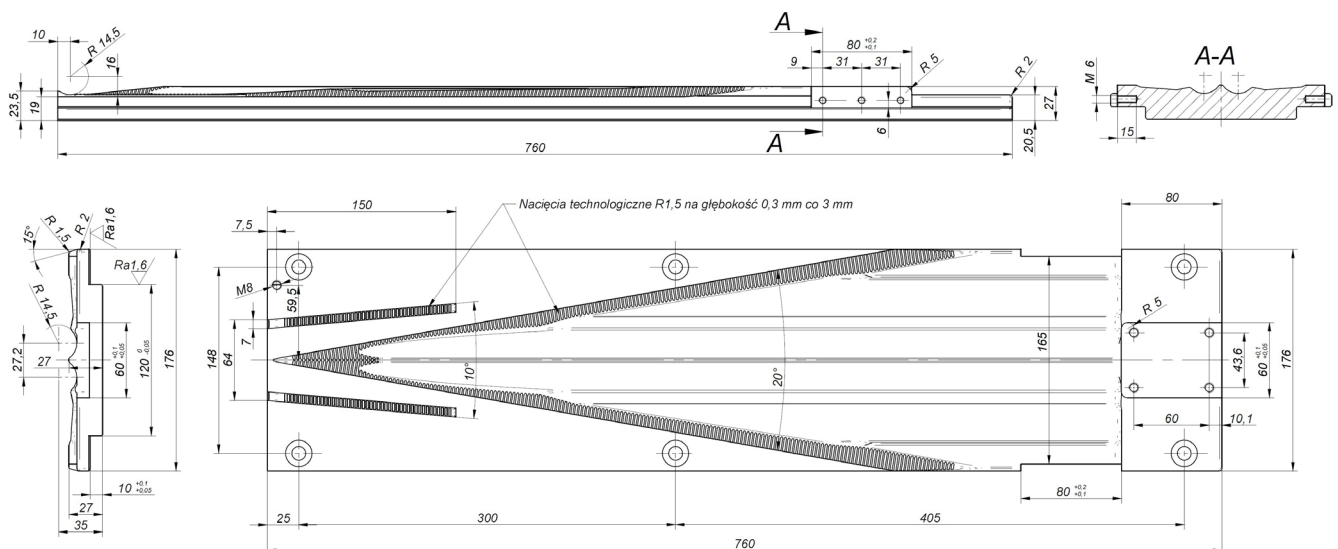
realizacji projektu nr POPW.01.03.00-06-001/11, pn. „Centralne Laboratorium Wdrożeń Politechniki Lubelskiej”.



Rysunek 3 Schemat poglądowy walcarki poprzeczno-klinowej (opis w tekście)

Walcarkę wykonano, jako konstrukcję skręcaną, składającą się z korpusu dolnego (1), korpusu górnego (2) oraz układu jezdnego, do którego wlicza się suwak (7) oraz prowadnice boczne suwaka. Korpus dolny i górny to płyty stalowe wzmacniane konstrukcją uźbrowaną. Połączone zostały za pomocą słupów (3), spinających obie części w sztywną ramę. Narzędzia klinowe montowane są do stołu osadzonego w dolnej części korpusu, a także do wspomnianego suwaka, który realizuje ruch wzdłuż osi urządzenia wraz z zamocowanym narzędziem. Jego napęd realizowany jest poprzez siłownik hydrauliczny (6), który przy mocowano do wspornika (4). Położenia krańcowe suwaka zabezpieczono poprzez umieszczenie zderzaków (5) po obu stronach walcarki.

W badaniach zastosowano narzędzia płaskoklinowe, które przedstawiono na Rysunku 4. Segment narzędziowy wykonano ze stali 40 HM. Posuw górnego narzędzia klinowego realizowano z prędkością 300 mm/s.



Rysunek 4 Schemat narzędzi płaskoklinowych wykorzystanych do walcowania szworznia kulistych

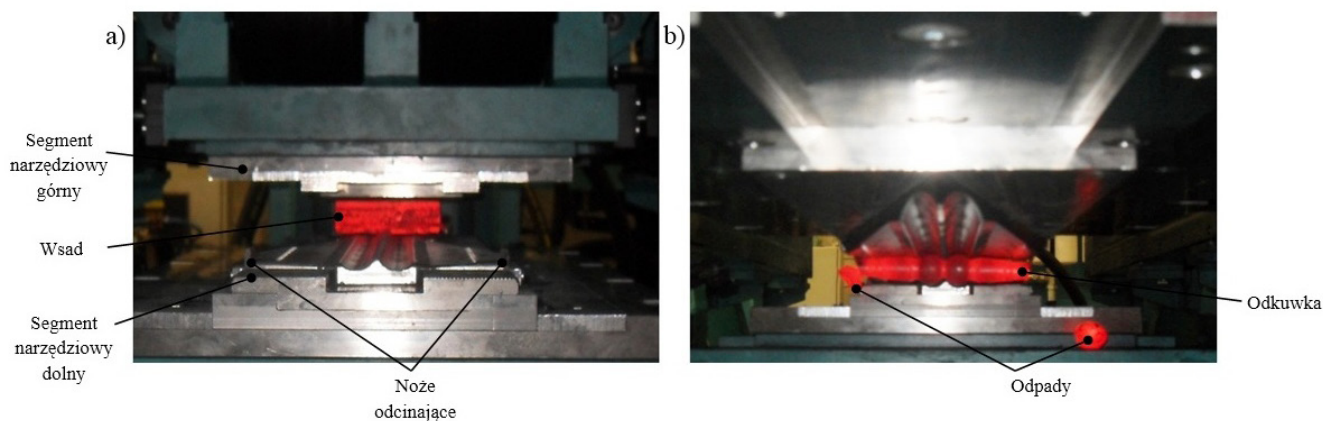
Przygotowanie do procesu walcowania wymagało nagrzewania poszczególnych wsadów do odpowiednich temperatur, tj. 950°C, 1050°C oraz 1150°C. W tym celu wykorzystano piec elektryczny komorowy. Po nagraniu, pręty stalowe umieszczano pomiędzy narzędziami klinowymi, a następnie dokonywano kształtowania odkuwek sworzni kulistych wraz z rejestracją sił walcowania. Na Rysunku 5 przedstawiono początkową fazę procesu (Rys. 5a) ze wsadem umieszczonym między narzędziami. Natomiast na Rysunku 5b widoczny jest końcowy etap z odwalcowanymi sworzniami kulistymi połączonymi częścią czołową. Schemat dokonywanych czynności był jednakowy dla wszystkich trzech wymienionych temperatur.

### 3. WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Na podstawie uzyskanych w procesie walcowania sworzni kulistych dokonano analizy ich kształtów, wad wewnętrznych oraz wymiarów geometrycznych.

Otrzymane wymiary odkuwek, nieznacznie różnią się od wymiarów nominalnych. W Tabeli 1 zestawiono wymiary geometryczne odkuwek z poszczególnych temperatur walcowania.

Powstałe odchyłki od wymiaru nominalnego mogą być spowodowane odkształceniem narzędzi wywołanym działaniem na nie sił kształtowania. Naddatki materiałowe, które powstały podczas walcowania, będzie można usunąć za pomocą kolejnej operacji – obróbki skrawaniem.



**Rysunek 5** Walcowanie poprzeczno-klinowe sworzni kulistych:  
a) początek procesu, b) koniec procesu walcowania

**Tabela 1** Wymiary nominalne sworznia kulistego oraz otrzymanych odkuwek

Wymiar	Nominalny	Walcowany w temp. 950 °C	Walcowany w temp. 1050 °C	Walcowany w temp. 1150 °C
d <sub>1</sub> [mm]	29,00	29,76	30,19	30,61
d <sub>2</sub> [mm]	16,00	16,66	17,18	16,82
d <sub>3</sub> [mm]	16,00	16,00	16,50	16,18
d <sub>4</sub> [mm]	20,00	20,23	20,69	20,37
R <sub>1</sub> [mm]	2	2	2	2
R <sub>2</sub> [mm]	2	2	2	2
l <sub>1</sub> [mm]	81,17	80,00	80,17	80,17
l <sub>2</sub> [mm]	8,01	9,04	9,13	8,64
l <sub>3</sub> [mm]	30,00	30,26	29,93	29,93
l <sub>4</sub> [mm]	18,00	16,50	15,50	15,50
α [°]	11	11	11	11
β [°]	4	4	4	4

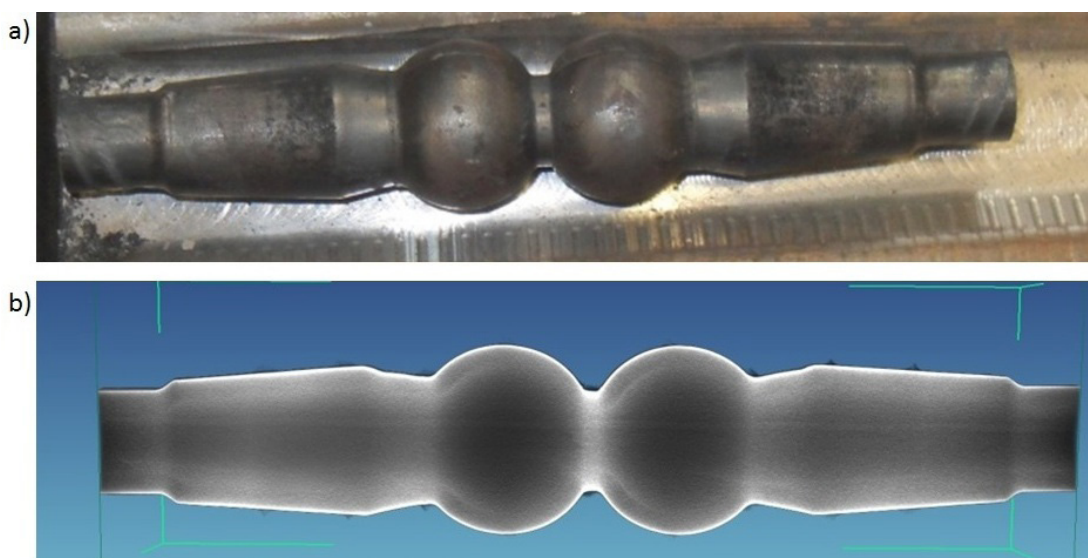
Sworzeń kulisty otrzymany ze wsadu nagrzewanego w temperaturze 950°C przedstawiono na Rysunku 6.

W jego części kulistej występuje przepętnienie. Pojawiły się także inne wady powierzchniowe, jak m.in. rysy podłużne w postaci szczeliny, a także rysy zmarszczkowe ułożone wzdłużnie do kierunku walcowania. Wykonano również badania rentgenowskie w celu sprawdzenia ewentualnych wad wewnętrznych (Rys. 6b). Za pomocą programu komputerowego North Star Imaging dokonano analizy, na podstawie której stwierdzono, że przekroje sworzni pozbawione są wszelkich defektów.

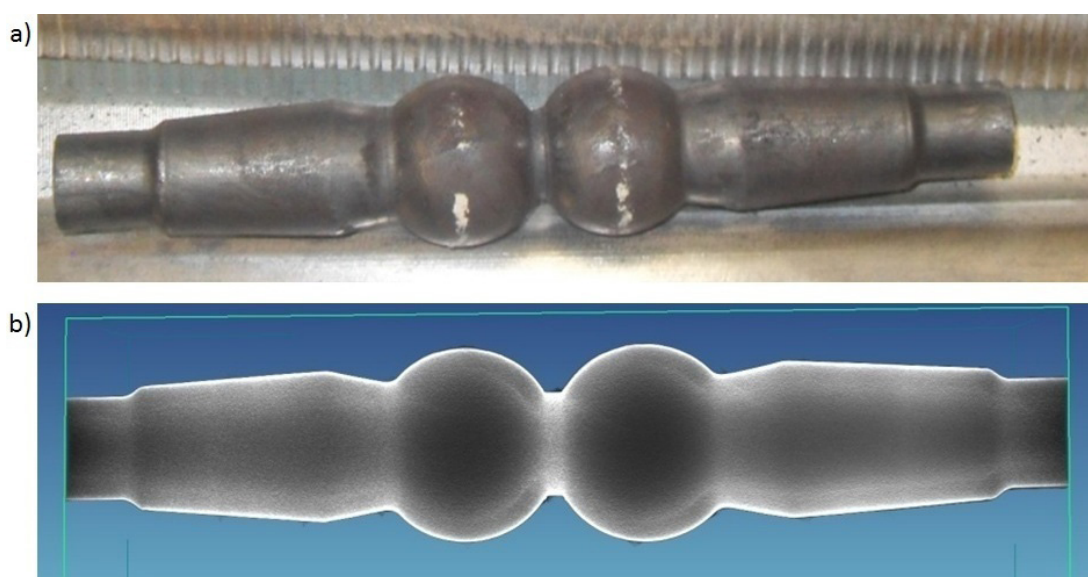
Kolejną uzyskaną odkuwkę, walcowaną z temperatury 1050°C, przedstawiono na Rysunku 7.

W tym przypadku stwierdzono występowanie wady powierzchniowej w postaci rys zmarszczkowych. Po przeprowadzonej analizie obrazu rentgenowskiego zauważono występowanie niejednorodności materiału poprzez zagęszczenie struktury w części kulistej sworznia.

Ostatnią zastosowaną temperaturą nagrzewania wsadu to 1150°C. Efektem walcowania z tej temperatury jest sworzeń kulisty przedstawiony na Rysunku 8.



**Rysunek 6** Sworzeń kulisty otrzymany ze wsadu nagrzewanego w temperaturze 950°C:  
a) odkuwka, b) zdjęcie odkuwki wykonane podczas badań rentgenowskich



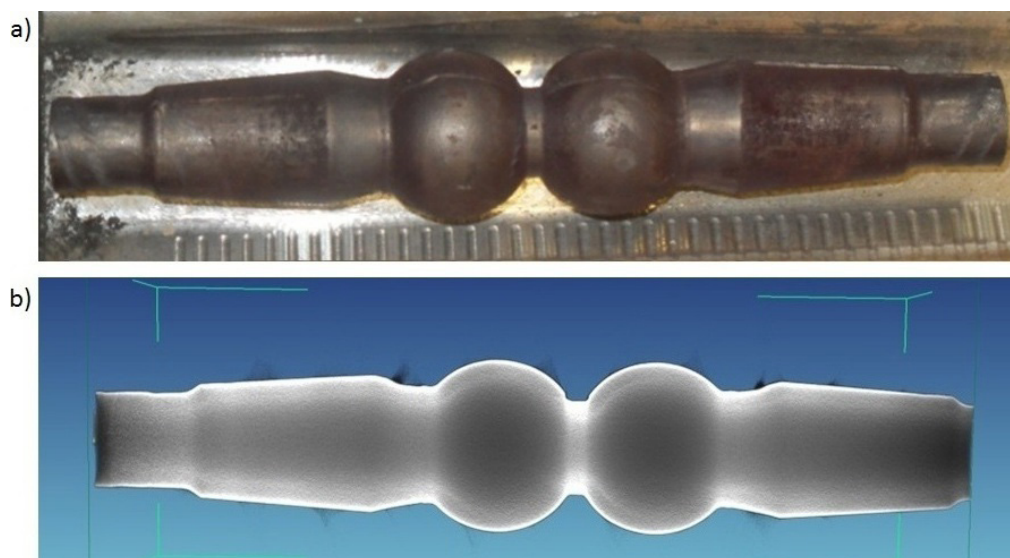
**Rysunek 7** Sworzeń kulisty otrzymany ze wsadu nagrzewanego w temperaturze 1050°C:  
a) odkuwka, b) zdjęcie odkuwki wykonane podczas badań rentgenowskich

W części elementu kulistego zaobserwowano przepiętnienie. W pozostałych częściach odkuwki nie stwierdzono innych wad powierzchniowych. Dodatkowo po wykonanych analizach rentgenowskich nie stwierdzono występowania żadnych wad wewnętrznych.

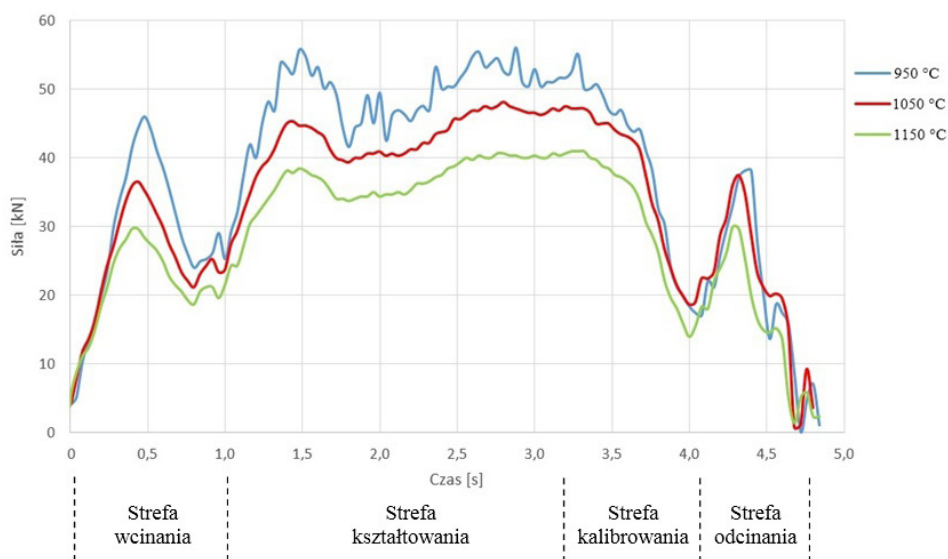
Na Rysunku 9 przedstawiono wykres prezentujący rozkłady sił w procesie walcowania poprzeczno-klinowego w poszczególnych temperaturach nagrzewania wsadów.

Początkowo siła rośnie liniowo i osiąga lokalne maksimum, po czym następuje jej gwałtowny spadek. Jest to charakterystyczne dla etapu wcinania się narzędzia w materiał. W następnej kolejności występują miejscowe wzrosty wartości siły, odpowiadające pracy narzędzi klinowych, które wciskają się w materiał z coraz to większą

siłą (kształtuje się zarys odkuwki). Jest to typowe dla strefy kształtowania narzędzia. Wahania sił są tym większe, im większa jest redukcja przekroju poprzecznego. Po osiągnięciu wartości maksymalnych sił następuje powolny ich spadek, co oznacza, że zapoczątkowano kalibrowanie sworzni. Usuwane są wtedy wszelkie nierówności, powstałe w poprzednich strefach narzędzi klinowych. W przypadku nagrzewania materiału wsadowego do temperatury 950°C, zarejestrowano maksymalną siłę wciskającą klin o wartości ok. 56 kN. W kolejnym przypadku, tj. 1050°C, było to ok. 49 kN, natomiast dla najwyższej temperatury nagrzewania wsadu, czyli 1150°C, osiągnięto siłę ok. 41 kN. Średni roboczy czas wykonywania odkuwek sworzni we wszystkich przeprowadzonych próbach wynosił 4,9 s.



**Rysunek 8** Sworzień kulisty otrzymany ze wsadu nagrzewanego w temperaturze 1150°C: a) odkuwka, b) zdjęcie odkuwki wykonane podczas badań rentgenowskich



**Rysunek 9** Rozkład siły w procesie WPK z uwzględnieniem temperatur nagrzewania wsadu

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wpływ temperatury na przebieg procesu walcowania poprzeczno-klinowego sworznia kulistego. Efektem prac była analiza kształtu, dokładności wymiarowej oraz rozkładów siły wciskającej klin w trakcie WPK.

Na podstawie dokonanej analizy stwierdzono, że:

- otrzymane sworznie kuliste charakteryzowały się wadami powierzchniowymi w postaci rys podłużnych i zmarszczkowych oraz przepełnień, które można jednak z łatwością usunąć, wykonując kolejne operacje w postaci obróbki ubytkowej,
- we wszystkich analizowanych przypadkach odkuwki były wolne od wad wewnętrznych,

- we wszystkich przeprowadzonych próbach występowały różnice wymiarowe w otrzymanych odkuwkach w stosunku do wymiarów nominalnych, co może być spowodowane odkształceniem sprężystym narzędzi oraz różnym ustawieniem wsadu w procesie walcowania,
- przebieg siły jest podobny dla wszystkich przeprowadzonych prób doświadczalnych, przy czym mają one różne wartości. Najniższą wartość siły osiągnięto, gdy temperatura nagrzewania wsadu wynosiła 1150°C. Była ona o ok. 27% niższa niż w przypadku walcowania wsadu nagrzewanego przy temperaturze 950°C.

#### LITERATURA

- [1] Pater Z., Bartnicki J., Samołyk G., Numerical modelling of cross-wedge rolling process of ball pin, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 164, 1235-1240.
- [2] Fu Qiang Ying, Bo Song Pan, Analysis on temperature distribution in cross wedge rolling process with finite element method, *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 187, 392-396.
- [3] Gutierrez C., Mangin P., Langlois L., Bigot R., Development of a tool design method in cross wedge rolling: description and applications, *Key Engineering Materials*, 2014, 611-612, 1694-1701.
- [4] Fuqiang Ying, Jin Liu, FE Numerical simulation of temperature distribution in CWR process, *Current Trends in High Performance Computing and Its Applications*, 2005, 575-580.
- [5] Pater Z., Development of cross-wedge rolling theory and technology, *Steel Research International*, 2010, 81(9), 25-32.
- [6] Pater Z., Tofil A., Tomczak J., Bulzak T., Numerical analysis of the cross wedge rolling process (CWR) for a stepped shaft, *Metalurgija*, 2015, 54(1), 177-180.
- [7] Pater Z., Samołyk G., *Podstawy technologii obróbki plastycznej metali*, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013.