

Jarosław BARTNICKI

OWALIZACJA WAŁKÓW DRAŻONYCH W PROCESACH WALCOWANIA POPRZECZNO – KLINOWEGO

OVALIZATION OF HOLLOWED SHAFTS IN CROSS WEDGE ROLLING PROCESSES

W celu poszerzenia zakresu zastosowań technologii walcowania poprzeczno - klinowego przeprowadzono jego badania numeryczne i doświadczalne z wykorzystaniem wsadów drążonych. Analizowano wpływ parametrów geometrycznych wsadu i narzędzi na stabilność procesu WPK. Na podstawie badań ustalono, że stabilność procesu WPK wyrobów drążonych może być naruszona w wyniku: poślizgu lub powstania nieusuwalnej owalizacji przekroju poprzecznego. Ostatnie z wymienionych wyżej zaburzeń nie występuje w typowych procesach WPK z wsadów pełnych, okrągłych. Dlatego też, zjawisko powstawania owalizacji, jak i warunki jej usuwania w trakcie procesu stanowiły przedmiot badań przedstawionych w pracy.

Słowa kluczowe: WPK, wałki drążone, MES, próby doświadczalne

In this article the ovalization phenomenon of workpiece in cross-wedge rolling process for hollowed shaft is presented. The ovalization phenomenon reducing field of stability of CWR process parameters for hollowed shafts. The numerical results obtained by FEM method are confirmed by stand tests. The knowledge of these problems permits in the future to impose data for designing of CWR technology.

Keywords: CWR, hollowed shafts, FEM, laboratory tests

1. Wstęp

Zastosowanie elementów drążonych w konstrukcjach wzrasta z każdym rokiem. Dzięki wprowadzeniu nowoczesnych technik kształtowania przed elementami tego typu otwierają się nowe, niedostępne do tej pory z przyczyn technologicznych, zastosowania (głównie w przemyśle motoryzacyjnym i maszynowym). Podnoszenie standardów jakości w sposób naturalny faworyzuje technologie wytwórcze związane z obróbką plastyczną. Jednym z niezaprzeczalnych atutów tych technologii jest bardzo wysoka powtarzalność produkowanych wyrobów. Ponieważ głównym ich odbiorcą jest przemysł motoryzacyjny, to zalety zmniejszania ciężaru konstrukcji można bezpośrednio przełożyć na poprawę dynamiki pojazdów, zmniejszenie zużycia paliwa oraz co za tym idzie ograniczenie

emisji zanieczyszczeń. Dobrym przykładem może być tu wytwarzanie wałów i półosi napędowych. Jednym z ostatnich przykładów zastosowania elementów drążonych są wałki rozrządu. Takie właśnie rozwiązanie spotyka się w silnikach produkowanych w grupie General Motors lub BMW. W przemyśle lotniczym powiązania pomiędzy ciężarem części a osiąganymi maszynami są bardziej istotne, a przez to możliwe do uzyskania efekty ekonomiczne i ekologiczne stają się jeszcze bardziej wymierne. Ostatnie rozwiązania z zastosowaniem osiowo – symetrycznych elementów drążonych to przekładnie proste i kątowe, służące m.in. do napędu skrzydłowych klap sterujących, pomp paliwowych itp. Obecnie stosowane technologie wytwarzania wałków drążonych to m.in.: kucie na kowarkach, kucie na kuźniarkach, wyciskanie na zimno i tłoczenie hydrostatyczne [1]. Technologia

walcowania poprzeczno-klinowego (WPK) nie znalazła jeszcze szerszego zastosowania w warunkach przemysłowych. Problemami wdrożeniowymi są tu ograniczenia stabilności procesu kształtowania spowodowane przez występowanie: niekontrolowanego poślizgu czy owalizacji przekroju poprzecznego walcowanego wyrobu. O ile dwa pierwsze ograniczenia stabilności procesu WPK są typowymi również dla kształtowania tą metodą wyrobów pełnych, to owalizacja jest zjawiskiem charakterystycznym dla kształtowania wyrobów drażonych [2-5]. Owalizacją przekroju poprzecznego kształtowanego wyrobu Δ oblicza się z zależności:

$$\Delta = d_{max} - d_n \quad (1)$$

gdzie: d_{max} – maksymalna średnica stopnia odkuwki po walcowaniu, d_n – nominalna (zakładana do uzyskania) średnica odkuwki. W niniejszym opracowaniu przeprowadza się analizę wpływu podstawowych parametrów procesu WPK wyrobów drażonych na owalizację Δ kształtowanego wyrobu.

2. Analiza numeryczna

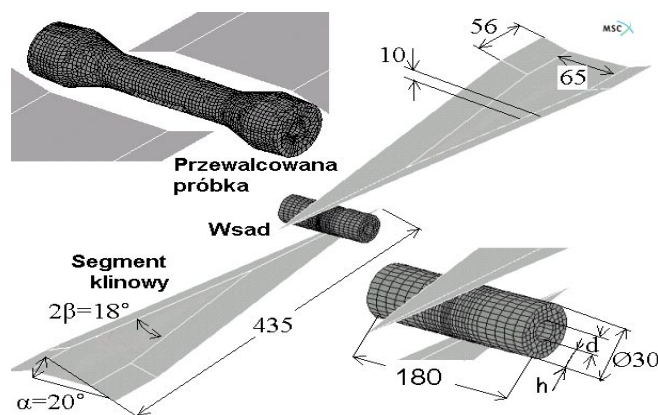
W analizie numerycznej procesu WPK wykorzystano program MSC.SuperForm 2002, bazujący na metodzie elementów skończonych (MES). Umożliwia on modelowanie procesów kształtowania zachodzących w warunkach przestrzennego stanu odkształcenia. Jeden z opracowanych modeli geometrycznych procesu WPK pokazano na rys. 1.

W skład modelu wchodzi dwa płaskie narzędzia klinowe (poruszające się w przeciwnych kierunkach, z prędkością 0,06 m/s każdy) oraz wsad modelowany za pomocą 8-węzłowych elementów prostopadłościennych. Jako wsad do procesu przyjęto rury o średnicy zewnętrznej $\varnothing 30$ mm oraz średnicach wewnętrznych równych $\varnothing 9$, $\varnothing 12$, $\varnothing 15$ i $\varnothing 18$ mm i długości 180 mm wykonane z ołowiu w gatunku Pb1. W obliczeniach

numerycznych analizowano przypadek kształtowania przewężenia w środkowej części wsadów w zakresie redukcji średnicy zewnętrznej z $\varnothing 30$ mm na $\varnothing 26$, $\varnothing 24$, $\varnothing 22$ i $\varnothing 20$ mm.

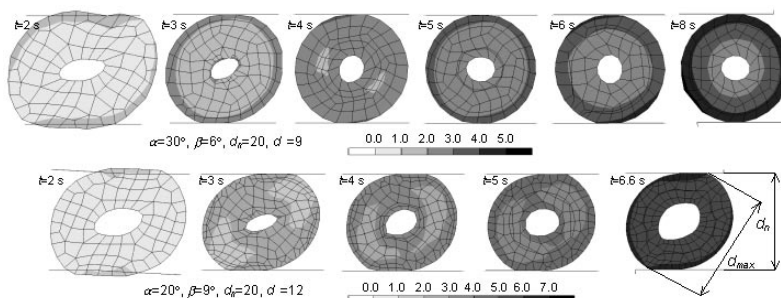
Przy doborze parametrów geometrycznych narzędzi (klinów) kierowano się wynikami badań jakie przedstawiono w pracach Celikova [6] i Grigoreva [7], przy uwzględnieniu własnych doświadczeń. Przyjęto wykonanie analiz numerycznych procesu WPK z wsadów drażonych w zakresie kąta kształtującego $\alpha = 20^\circ \div 40^\circ$ oraz kąta rozwarcia klina $\beta = 6^\circ \div 10^\circ$. Celem analiz numerycznych było m.in. zbadanie zjawiska owalizacji przekroju poprzecznego kształtowanego wsadu oraz ustalenie zakresu stabilności procesu WPK wyrobów drażonych w aspekcie dokładności wymiarowej wyrobu finalnego.

Na podstawie analiz numerycznych ustalono, że we wszystkich rozpatrywanych przypadkach kształtowany materiał ulegał owalizacji. Zjawisko to występuje już na początku fazy kształtowania wyrobu. Jest to spowodowane tym, że kształtowana na wskroś, środkowa część wsadu ma możliwość swobodnego płynięcia. Jednakże w części z analizowanych przypadków, powstająca na początku procesu owalizacja przekroju, będąca na początku procesu owalizacja przekroju, była skutecznie usuwana w końcowej fazie procesu (kalibrowaniu). Z przeprowadzonych badań wynika, że skutecznemu usuwaniu owalizacji sprzyja wydłużenie strefy kalibrowania. W analizowanych wariantach, w przypadku stosowania narzędzi z mniejszymi kątami rozwarcia klina $\beta = 6^\circ$ oraz $\beta = 8^\circ$, przyjęta długość strefy kalibrowania 56 mm była wystarczająca we wszystkich analizowanych przypadkach. Dla segmentów klinowych o większym kącie β oraz przy wsadach o mniejszych grubościach ścianki bocznej $h = 6$ mm i $h = 7,5$ mm przyjęta długość strefy kalibrowania narzędzi była zbyt mała dla skutecznego usunięcia owalizacji. Przykład porównawczy dla dwóch wybranych przypadków kształtowania symulowanych MES, pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Model geometryczny MES procesu WPK

Fig. 1. FEM - numerical model of CWR process



Rys. 2. Progresa kształtu przekroju poprzecznego kształtowanych wałków drążonych oraz rozkłady odkształceń w kolejnych fazach procesu obliczone MES

Fig. 2. Progression of shape and distribution of strain in the normal cut of hollowed shafts calculated by FEM

3. Badania doświadczalne

Badania doświadczalne procesu WPK z wsadów drążonych prowadzono w walcierce poprzeczno – klinowej LUW – 1. Jako wsad do procesu przyjęto próbki z ołowiu w gatunku Pb1, o wymiarach takich samych jak przyjmowano w analizie teoretycznej. Stosowano pięć zestawów narzędzi klinowych, o następujących parametrach kąta kształtującego α oraz kąta rozwarcia klina β :

- zestaw 1: $\alpha = 20^\circ, \beta = 8^\circ$,
- zestaw 2: $\alpha = 30^\circ, \beta = 8^\circ$,
- zestaw 3: $\alpha = 40^\circ, \beta = 8^\circ$,
- zestaw 4: $\alpha = 30^\circ, \beta = 6^\circ$,
- zestaw 5: $\alpha = 30^\circ, \beta = 10^\circ$

Zróznicowanie kątów narzędzi klinowych pozwoliło m.in. na przeanalizowanie ich wpływu na powstawanie i usuwanie owalizacji przekroju poprzecznego wyrobu kształtowanego. Zastosowane w badaniach doświadczalnych narzędzia klinowe pokazano na rys. 3.

4. Wyniki badań

W rezultacie badań doświadczalnych i obliczeń teoretycznych ustalono wartości owalizacji przekroju poprzecznego dla wszystkich rozpatrywanych przypadków WPK z wsadów drążonych. Wybrane wyniki, dla klinów o kącie kształtującym $\alpha = 30^\circ$ podano na rys. 4. Korzystając z danych zamieszczonych na tym rysunku można prześledzić wpływ zmian wartości kąta rozwarcia klina β , grubości ścianki wsadu h

oraz średnicy przewężenia d_n na wartość owalizacji Δ . Najmniejsze wielkości owalizacji przekroju poprzecznego wyrobu uzyskano przy walcowaniu narzędziami z zestawu nr 2 tj. $\alpha = 30^\circ, \beta = 8^\circ$. Dla próbek o większej grubości ścianki wraz ze wzrostem wielkości gniotu korzystniejsze staje się zmniejszenie wartości kąta β (zestaw 4: $\alpha = 30^\circ, \beta = 6^\circ$), a w konsekwencji wydłużenie strefy kształtowania narzędzi. W przypadku wsadów cienkościennych najlepsze efekty uzyskano przy walcowaniu na średnicę $d_n = 24$ mm. W przypadku większych redukcji średnic powstająca na początku procesu owalizacja pozostawała nieusunięta do końca procesu WPK. Przykłady próbek, w których owalizacja została skutecznie usunięta oraz pozostała do końca procesu walcowania pokazano na rys. 5.

4. Wnioski

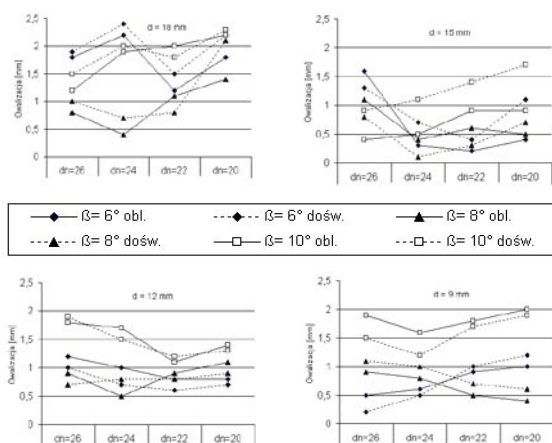
Przeprowadzone badania wykazały występowanie owalizacji w całym zakresie parametrów kątowych narzędzi, grubości ścianek i redukcji średnic badanych próbek. Stwierdzono również, że przy odpowiednim doborze powyższych parametrów owalizacja przekroju poprzecznego wyrobu może być skutecznie zmniejszana do wartości nieistotnych z praktycznego punktu widzenia. W przypadku próbek o większej grubości ścianki oraz przy większych redukcjach średnic, korzystniejsze staje się zmniejszanie wartości kąta β . Minimalizuje to ryzyko wystąpienia poślizgu i zgniecenia próbki. Zbyt małe wartości kąta α utrudniają usunięcie owalizacji we wszystkich badanych przypadkach. Przy większych wartościach tego



Rys. 3. Fotografie narzędzi klinowych użytych do weryfikacji doświadczalnej

Fig. 3. The wedge tools used in experimental verification

kąta, najlepiej kształtowane są próbki cienkościennie. Bardzo wąski zakres stabilności procesu WPK ze względu na występowanie owalizacji skłania do poszukiwania alternatywnych rozwiązań. Jednym z nich jest walcowanie poprzecznie – klinowe realizowane za pomocą trzech narzędzi roboczych nawiniętych na walce. Drugą rozpatrywaną możliwością



Rys. 4. Wykresy zmiany wielkości owalizacji przekroju poprzecznego kształtowanego wsadu przy $d=18, 15, 12$ i 9 mm oraz $\alpha=30^\circ$

Fig. 4. Changes of ovalization of normal cut of billet in cases $d=18, 15, 12$ and 9 mm at $\alpha=30^\circ$

5. Literatura

- [1] Glass R., Hahn F., Kolbe M., Meyer L.W.: *Processes of partial bulk metal-forming – aspects of technology and FEM simulation*, J. Mat. Proc. Tech. vol. 80-81 (1998), 174-178.
- [2] Pater Z., Gontarz A., Weroński W.: *Wybrane zagadnienia z teorii i technologii walcowania poprzecznie-klinowego*. Lublin, Wyd. LTN 2001, 1-234.
- [3] Pater Z., Weroński W., Kazanecki J., Gontarz A.: *Study of the process stability of cross wedge rolling*, Journal of Materials Processing Technology 92-93, 1999, 458-462.
- [4] Pater Z.: *Numerical simulation of the cross wedge rolling process including upsetting*, Journal of Materials Processing Technology 92-93, 1999, 468-473.
- [5] Pater Z., Bartnicki J.: *Numerical simulation of tubes forming in cross-wedge rolling process*, Materiały konf. „Прогрессивные Технологии Поперечно Клиновой Прокатки”, 4-6.06.2002 Mińsk (Białoruś), s. 37-41.
- [6] Celikov A. I.: *Cross wedge rolling in metalworking*. Ed. Mašinostroenie, Moskva (1982) (in Russian).
- [7] Grigorev A. K et al.: *Changes of wall thickness in cross wedge rolling*. Izv. VUZ Černaja Metalurgija no 7 (1975), 99-102 (in Russian).

jest kształtowanie WPK na trzpieniu, który ogranicza płynięcie materiału do środka wyrobu. Z uwagi na dużą dokładność uzyskiwanych wyników stosowanie symulacji numerycznych jest uzasadnione i pozwala na znaczne ograniczenie nakładów inwestycyjnych na etapie projektowania narzędzi i technologii WPK z wsadów drażonych.



Rys. 5. Fotografie próbek z usuniętą w trakcie procesu owalizacją przekroju poprzecznego ($\alpha=30^\circ$, $\beta=6^\circ$, $d_n=20$, $d=12$) (po lewej); próbka z nieusuwalną owalizacją ($\alpha=20^\circ$, $\beta=8^\circ$, $d_n=20$, $d=12$) (po prawej)

Fig. 5. Sample with ovalization removed during the process ($\alpha=30^\circ$, $\beta=6^\circ$, $d_n=20$, $d=12$) (left); sample with irremovable ovalization phenomena ($\alpha=20^\circ$, $\beta=8^\circ$, $d_n=20$, $d=12$) (right)

Mgr inż. Jarosław BARTNICKI

Politechnika Lubelska

Katedra Komputerowego Modelowania

i Technologii Obróbki Plastycznej

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

e-mail: jarekbartek@yahoo.com