

Jarosław BARTNICKI
Politechnika Lubelska

OGRANICZENIA PRĘDKOŚCI KSZTAŁTOWANIA WYROBÓW W PROCESIE PRZEPYCHANIA OBROTOWEGO

W pracy przedstawiono nową technologię przepychania obrotowego wyrobów pełnych i drążonych typu stopniowane osie i wały. Podano podstawowe parametry technologiczne i kinematyczne procesu gwarantujące stabilny jego przebieg. W analizie wyników badań skupiono się na podaniu granicznych wartości posuwu na obrót p , która to wielkość wiąże liniowe przemieszczenie popychacza z prędkością obrotową rolek kształtujących wprowadzany do przestrzeni pomiędzy nimi wsad. Na podstawie uzyskanych wyników podano dalsze perspektywy badawcze zmierzające do podniesienia wydajności tego procesu, zwłaszcza w odniesieniu do wyrobów drążonych przy zachowaniu wąskich tolerancji wymiarowych.

Słowa kluczowe: przepychanie obrotowe, wyroby drążone

Wstęp

Kształtowanie wyrobów osiowosymetrycznych typu wały i osie, stosowanych później jako elementy części maszyn, stanowi w ostatnich latach coraz większe wyzwanie technologiczne. Odbiorcami większości wyrobów tego typu jest przemysł motoryzacyjny wchłaniający rokrocznie ponad 1,5 miliona samych tylko półosi samochodowych [1]. Odbiorcy półfabrykatów przeznaczonych do dalszej obróbki tego typu części żądają coraz mniejszych tolerancji wymiarowych dostarczanych wyrobów oraz bardzo wysokiej powtarzalności ich parametrów. Dla obniżenia ciężaru konstrukcji oraz zmniejszenia momentów bezwładności elementów układu przeniesienia napędu producenci sięgają coraz powszechniej po drążone odpowiedniki elementów wykonywanych do niedawna wyłącznie jako wyroby pełne. Ta zmiana konstrukcyjna pociąga za sobą problemy z zapewnieniem ustalonych wcześniej warunków technicznych, poprzez poszerzenie pól tolerancji wykonania wyrobów drążonych w stosunku do ich odpowiedników pełnych. Biorąc pod uwagę stosowane procesy kształtowania wyrobów drążonych, tj. kucie na kowarkach, kucie obrotowe, wysokociśnieniowe kształtowanie wewnętrzne, wyciskanie na zimno, należy liczyć się z pewnymi ograniczeniami technologicznymi, takimi jak właśnie dokładność wykonania

wyrobów, jakość powierzchni czy wydajność połączona z prognozowanymi wielkościami serii produkcyjnych. Nowsze propozycje to między innymi zastosowanie technologii *flow forming* (zgniatania obrotowego, wyoblania) – w zakresie kształtowania wyrobów cienkościennych, *spin extrusion* – o potencjalnie szerszym spektrum zastosowań, oraz walcowanie poprzeczno-klinowe (WPK) i klinowo-rolkowe (WKR), [2, 3].

Kształtowanie wyrobów drążonych trzema narzędziami roboczymi – przepychanie obrotowe

Opracowane ostatnio w Politechnice Lubelskiej rozwiązania w zakresie kształtowania wyrobów drążonych w technologii walcowania poprzeczno-klinowego oraz walcowania klinowo-rolkowego znalazły swoje potwierdzenie zarówno w próbach laboratoryjnych, jak i w testach przemysłowych. Na podstawie prowadzonych analiz numerycznych MES oraz po przeprowadzeniu szeregu badań doświadczalnych, stwierdzono jednoznacznie, że w rotacyjnych procesach obróbki plastycznej wyrobów drążonych kluczowym zagadnieniem dla stabilności prowadzonego kształtowania jest stosowanie trzech narzędzi roboczych rozmieszczonych równomiernie na obwodzie. Przedstawione rozwiązanie z zastosowaniem trzech stref kontaktu, w przypadku kształtowania wyrobów pełnych, przynosi jedynie niewielką poprawę stabilności parametrów procesu, przy jednoczesnym znacznym podniesieniu kosztów wytworzenia samej maszyny oraz oprzyrządowania, przez co rozwiązanie to nie było do tej pory szerzej wykorzystywane.

Istotnym ograniczeniem kształtowania wyrobów drążonych metodami walcowania poprzecznego jest oczywiście długość całkowita kształtowanego wyrobu, narzucona z góry poprzez szerokość roboczą narzędzi, która nie może być większa od podanej wartości dopuszczalnej dla dysponowanego typu walcarki. Propozycją pominięcia tego ograniczenia jest technologia przepychania obrotowego [4, 5], której potencjalnym obszarem zastosowań są stopniowane, osiowo-symetryczne wyroby pełne i drążone kształtowane teoretycznie w dowolnym obszarze podawanego wsadu.

Schemat ideowy procesu przepychania obrotowego przedstawiono na rysunku 1. Istota tego rozwiązania polega na kształtowaniu wsadu o przekroju okrągłym (pełnym lub drążonym), przez oddziaływanie trzech obracających się narzędzi roboczych w formie rolek oraz popychacza poruszającego się ruchem posuwistym. W trakcie procesu kształtowany wyrób obraca się wokół swojej osi, a jednocześnie jego zewnętrzna średnica jest poddawana redukcji ustalonej regulowanym rozstawem rolek kształtujących. W założeniu metody popychacz hydrauliczny, przesuwając wsad ruchem posuwistym skorelowanym z prędkością obrotową rolek, umożliwia kształtowanie wałków wielostopniowych.

Wprowadzenie tej nowej technologii przepychania obrotowego nie posiada w założeniu ograniczenia długości wyrobu i pozwala na dowolne ustawienie cyklu kształtowania, w zakresie skojarzenia ruchu obrotowego rolek i ruchu liniowego popychacza przesuwającego kształtowany materiał. Zatem, w zależności od wielkości podajnika wsadu, możliwe jest kształtowanie wyrobów o większym stosunku długości do średnicy, co występuje na przykład w półosiach i wałach napędowych oraz elementach przekładniowych, takich jak wałek atakujący czy wałki pośrednie.

Rozwiązanie to łączy w sobie zalety walcowania poprzeczno-klinowego za pomocą trzech narzędzi roboczych z dodatkowymi możliwościami, jakie daje zastosowanie popychacza wprowadzającego wsad do przestrzeni roboczej. W ten sposób długość uzyskiwanego w tej metodzie wyrobu jest ograniczona roboczym skokiem popychacza oraz sztywnością obracającego się wsadu, który może ulec wyboczeniu. Dla ustalenia praktycznego zakresu zastosowań technologii przepychania obrotowego przeprowadzono szereg badań numerycznych oraz prób doświadczalnych, zmieniając wybrane parametry kinematyczne i badając ich wpływ na kształtowanie wyrobu.

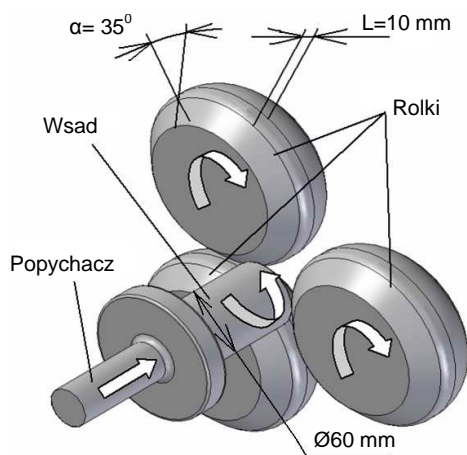
Ograniczenia kinematyczne przepychania obrotowego

Dla przejrzystości podawanych parametrów kinematycznych procesu, tj. prędkości liniowej popychacza v oraz prędkości obrotowej narzędzi rolkowych n , zdecydowano się na powiązanie tych dwóch wielkości pod postacią posuwu na obrót p , i taką to wielkością operowano w dalszych badaniach. Analizowano w nich proces redukcji średnicy wsadów $d = 60$ mm na $d_s = 40$ mm, w zależności od przyjętej wartości posuwu na obrót p . Zastosowano rolki o kącie pochylenia $\alpha = 35^\circ$ i długości strefy kalibrowania $L = 10$ mm (rys. 1.).

Proces przepychania obrotowego prowadzono z wartościami posuwu od $p = 1 \div 15$ mm/obr. W przypadku spęczniania wsadów pełnych z najmniejszymi wartościami posuwu, stwierdzono pojawianie się nadmiernego spęczniania wsadu, co groziło trudnościami z jego późniejszym usunięciem z głowicy roboczej agregatu do przepychania PO-1 (rys. 2.). Po zwiększeniu posuwu w zakresie $p = 2,5 \div 7,5$ zaobserwowano, zgodnie z zakładanym, spęcznianie wsadu w strefie wejściowej przed rolkami roboczymi, przy czym długość strefy spęcznianej malała proporcjonalnie ze wzrostem wartości posuwu. Uzyskane w ten sposób wyniki zestawiono na wykresie (rys. 3.) obrazującym zmiany średnicy kołnierza wyrobów pełnych i drażonych.

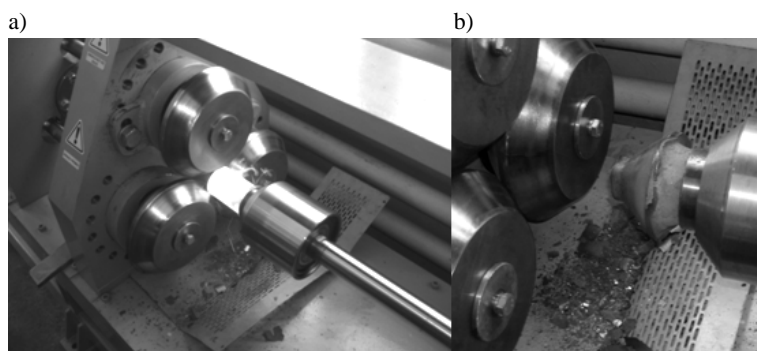
Zgodnie z podanym wykresem spęcznianie kołnierzy przepychanych obrotowo wałków w zakresie posuwów do $p = 5$ mm/obr przebiega w sposób podobny jak dla wsadów pełnych i drażonych. Powyżej jednak tej wartości, w przypadku wsadów pełnych, dochodzi do intensywnego płynięcia poosiowego metalu, które powoduje intensywne wydłużanie wyrobu za przestrzenią roboczą pomiędzy

rolkami. W przypadku wsadów drażzonych, posiadających znacznie mniejszą sztywność, dochodzi szybko do spiętrzania materiału przed rolkami. O ile zjawisko to rozwija się w sposób równomierny, powstające odchyłki wymiarowe mieszczą się w granicach $\pm 1,5$ mm. Gdy dojdzie jednak do szybszego płynięcia metalu w jednym z kierunków, dochodzi do szybkiego wzrostu odchyłki graniaści średnicy wyrobu przyjmującej w tym przypadku kształt trójkąta.



Rys. 1. Schemat procesu przepychania obrotowego

Fig. 1. Schema of rolling-extrusion process

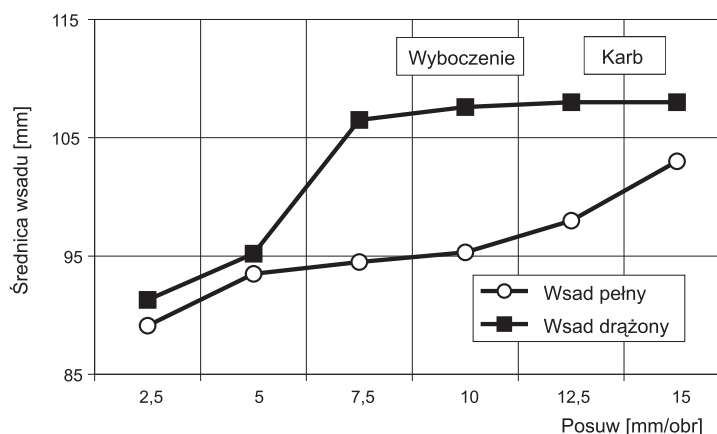


Rys. 2. Początek przepychania obrotowego na maszynie PO-1 (a) oraz przykład nadmiernego spęczenia wsadu podczas kształtowania z posuwem $p = 1$ mm/obr (b)

Fig. 2. Beginning of the rolling extrusion process in PO-1 machine (a) and excessive upsetting of billet at feed rate $p = 1$ mm/rot (b)

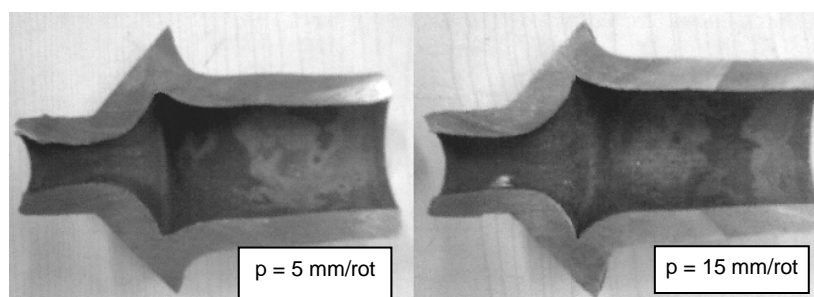
Z przedstawionych na wykresie (rys. 3.) danych można odczytać, że kształtowanie wyrobów drażzonych przy wartościach posuwu $p > 12,5 \div 15$ mm/obr,

o ile wcześniej nie nastąpiło ich wyboczenie, prowadziło do powstania karbu na powierzchni wewnętrznej stopnia wałka (rys. 4.). Z uwagi na tak niekorzystne ukształtowanie ścianek wyrobu, prowadzące do ewentualnej koncentracji naprężeń, jakim potencjalnie będzie poddawany taki wyrób, dalsze prace badawcze nad kształtowaniem wyrobów drążonych zdecydowano się prowadzić przy mniejszych wartościach posuwu na obrót.



Rys. 3. Zmiany średnicy wsadu pełnego oraz drążonego w zależności od wartości posuwu

Fig. 3. The changes of billet diameter of full and hollowed parts at given feed rate



Rys. 4. Rozkład grubości ścianki wsadu po przepychaniu obrotowym z różnym posuwem

Fig. 4. The distributions of wall thickness of rolled-extruded billets at given p values

Wnioski

Przedstawione w niniejszym opracowaniu wyniki pokazują praktyczny zakres prędkości kształtowania wyrobów pełnych i drążonych w technologii prze-

pychania obrotowego. Parametry te ograniczają wydajność procesu i mają bezpośredni wpływ na dokładność wymiarową uzyskiwanych tą metodą wyrobów. Jedną z metod zmniejszenia tendencji do powstawania wyboczenia wsadów przed przestrzenią roboczą jest wzrost sztywności układu popychacza, co osiągnięto przez zabudowę na nim masywnej głowicy obrotowej. Inną możliwością wydaje się być montaż nagrzewu indukcyjnego bezpośrednio przed strefą roboczą agregatu, co przyczyni się jedynie do miejscowego nagrzewania wsadów oraz ograniczenia zużycia energii.

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., 80-81 (1998), 174-178.
- [2] Pater Z., Weroński W., Kazanecki J., Gontarz A.: Study of the process stability of cross wedge rolling, J. Mat. Proc. Tech., 92-93 (1999), 458-462.
- [3] Bartnicki J., Pater Z.: The aspects of stability in cross – wedge rolling processes of hollowed shafts, J. Mat. Proc. Tech., 155-156C (2004), 1867-1873.
- [4] Pater Z., Bartnicki J., Gontarz A., Weroński W.: Numerical Modeling of Cross – Wedge Rolling of Hollowed Shafts. Proc. 8th Int. Conf. „Numerical Method in Industrial Forming Processes”, Ohio 2004, pp. 672-678.
- [5] Bartnicki J., Pater Z., Gontarz A., Kazanecki J., Samołyk G.: The research on rolling-extrusion process of full and hollowed parts, Steel Res. Int., 1 (2008), 364-368.

FEED RATE LIMITATIONS IN ROLLING EXTRUSION PROCESS

This paper discusses the issue of manufacturing of hollowed products of axisymmetrical stepped shafts and axes types. Basing on the results of research done for cross rolling technologies of hollowed products, a new technology of rolling extrusion has been worked out. This solution connects in itself advantages of cross-wedge rolling by means of three work tools with additional possibilities provided by the pusher placing the billet in workspace. In that way the length of the obtained in this method product is limited by the pusher stroke and by the rigidity of the rotating billet, which may undergo bucking.

Keywords: rolling-extrusion, hollowed parts

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2006-2009 jako projekt badawczy nr N508 025 31/1447.

Złożono w Redakcji w listopadzie 2009 r.