

Dr inż. Stanisław ZIÓŁKIEWICZ, mgr inż. Zygmunt GARCZYŃSKI
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Prasowanie obwiedniowe

Orbital forging

Streszczenie

W artykule omówiono możliwości technologiczne i opisano zastosowanie technologii kształtowania obwiedniowego. Przedstawiono przykłady wykonania odkuwek w różnych procesach technologicznych prasowania obwiedniowego na podstawie wyników prac badawczo-rozwojowych zrealizowanych w Instytucie Obróbki Plastycznej oraz wdrożeń przemysłowych. Omówiono problematykę trwałości narzędzi do prasowania obwiedniowego odkuwek i perspektywy rozwoju technologii prasowania obwiedniowego.

Abstract

The paper discusses the technological possibilities of the orbital forming technology and describes its application. Examples of forging execution in various technological processes of orbital forging have been given based on the research and development works performed by the Metal Forming Institute and industrial implementations. The problems of orbital forging tool life have been discussed, as well as the prospects of the orbital forging technology.

Słowa kluczowe: obróbka plastyczna, prasowanie obwiedniowe

Key words: metal forming, orbital forging, rotary forging

WSTĘP

Technologia prasowania obwiedniowego wynika z koncepcji urządzenia opatentowanego przez H.F.Massey'a w roku 1922. Pierwsze urządzenie wykonano dopiero w latach 60-tych XX w. Doświadczalny model prasy wykonano w firmie B&S Massey.

W tym samym czasie profesor Z. Marciniak prowadził prace badawcze na Politechnice Warszawskiej, w efekcie których została opracowana koncepcja napędu matrycy górnej o złożonej kinematyce pozwalającej na realizację jednego z czterech rodzajów ruchu: po prostej, po okręgu, po spirali i po krzywej wielolistnej. Na tej podstawie została uruchomiona w Fabryce Pras Automatycznych PONAR-PLASOMAT produkcja pras obwiedniowych typu PXW-100 do kształtowania na zimno wyrobów o średnicy do $\phi 100$ mm i maksymalnym nacisku 1600 kN.

W latach 70 i 80-siątych XX w. występuje zainteresowanie jednostek badawczych technologią prasowania obwiedniowego. Znajac moż-

liwości technologiczne pras PXW opracowano 28 możliwych wariantów technologicznych [1]. W tym okresie również zakłady przemysłowe zainteresowały się tą nową technologią. Spowodowało to uruchomienie produkcji pras obwiedniowych przez: PONAR-PLASOMET – prasy PXW-100, PXW-200, PXW-250, oraz przez firmy: H.SCHMID - prasy T200, T300, T630, MORI IRON WORKS co. LTD - prasy MCOF-650.

Pod koniec lat 80-siątych zaczyna spadać zainteresowanie przemysłu tym procesem. Jest to związane z nie rozpoznaniem do końca mechanizmem odkształcania, trudnymi do zinterpretowania zjawiskami zachodzącymi podczas procesu, słabą znajomością zasad opracowywania technologii oraz małą wydajnością i trwałością narzędzi.

W roku 1993 na Uniwersytecie w Nottingham powołano grupę Nottingham Industrial Rotary Forging Club łączącą tamtejszy ośrodek badawczy z zakładami przemysłowymi stosującymi proces prasowania obwiedniowego i doskonalącą nową technologię.

Instytut Obróbki Plastycznej od połowy lat 70-siatych ubiegłego wieku brał również udział w doskonaleniu technologii prasowania obwiedniowego i obecnie jest jednym z nielicznych ośrodków na świecie prowadzących nadal badania w zakresie tej technologii. Jako jeden z pierwszych Instytut rozpoczął także badania nad prasowaniem obwiedniowym na półgorąco.

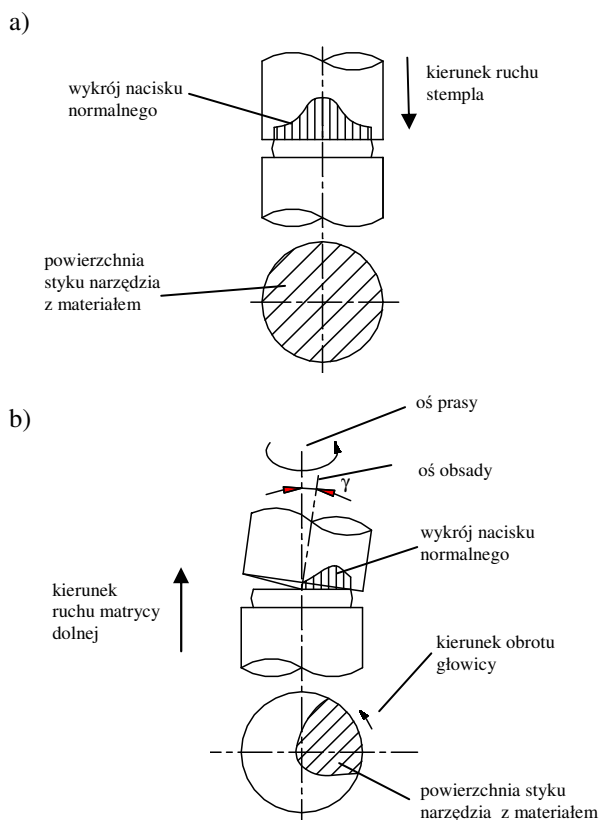
1. PRASOWANIE OBWIEDNIOWE

W odróżnieniu od tradycyjnego procesu prasowania odkuwki, podczas którego materiał odkształcany jest na całej swojej powierzchni pomiędzy stemplem i matrycą (rys. 1a), w procesie prasowania obwiedniowego stempel lub matryca górna styka się tylko z częścią powierzchni czołowej materiału kształtowanego (rys. 1b). Wynika to z umieszczenia narzędzia górnego w głowicy, której oś odchylna jest od osi prasy o niewielki kąt γ , zwany kątem wahania.

Głowica wraz z narzędziem porusza się ruchem obwiedniowym wynikającym z przemieszczania się osi głowicy wokół pionowej osi prasy. Strefa styku narzędzia górnego przemieszcza się cyklicznie po całej powierzchni czołowej kształtowanego materiału zależnie od rodzaju ruchu obwiedniowego. W rezultacie powierzchnia robocza stempla obtacza się po powierzchni materiału, przez co wpływ tarcia poślizgowego, wstrzymującego płynięcie materiału jest mniejszy [1,2]. Materiał kształtowany dociskany jest do matrycy górnej od dołu przez matrycę dolną przemieszczającą się pionowo do góry.

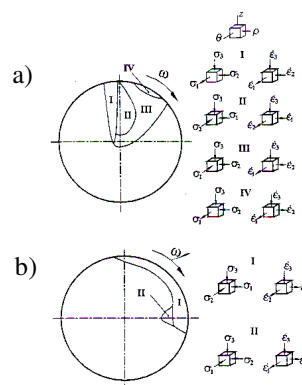
Efektom połączenia wahającego ruchu stempla i pionowego ruchu matrycy jest lokalne, promieniowe płynięcie materiału i uzyskanie odkuwki o żądanym kształcie. Naciski normalne przy prasowaniu obwiedniowym, wywierane przez narzędzie górne, koncentrują się na małej powierzchni wynikającej z przenikania roboczej powierzchni górnej matrycy z powierzchnią materiału (rys. 1b). Ograniczenie powierzchni styku narzędzi z materiałem w procesie prasowania obwiedniowego powoduje zmniejszenie siły niezbędnej do kształtowania w stosunku do kucia tradycyjnego i jed-

nocześnie wprowadza bardzo złożony przestrzenny stan naprężeń w materiale odkształcanym (rys. 2) [3].



Rys. 1. Schemat procesu prasowania obwiedniowego: a) prasowanie tradycyjne, b) prasowanie obwiedniowe

Fig. 1. Diagram of the orbital forming process: a) traditional forging, b) orbital forging



Rys. 2. Złożony stan naprężeń i odkształceń odkuwki[3]: a) powierzchnia górna, b) powierzchnia dolna;

I-IV – strefa powierzchni styku narzędzia z materiałem, σ_i – naprężenie normalne, ϵ_i – odkształcenie

Fig.2. Complex stress and strain state of a forming[3]: a) top surface, b) bottom surface

Przy prasowaniu obwiedniowym do wykonania podobnych części, stosuje się prasy obwiedniowe o niższych naciskach i większej sztywności. Z uwagi na brak udarowego charakteru pracy, prasy te charakteryzują się mniejszym poziomem hałasu i wibracji, dzięki czemu nie wymagają fundamentowania [4,5,6].

2. ZAKRES STOSOWANIA PROCESU PRASOWANIA OBWIEDNIOWEGO

Duża sztywność pras obwiedniowych pozwala na uzyskanie wysokiej dokładności wymiarowej oraz dobrej jakości powierzchni. Umożliwia to kształtowanie technologią prasowania obwiedniowego wyrobów o złożonym kształcie na „gotowo” lub z niewielkimi nadatkami na skrawającą obróbkę wykończeniową. Na rys. 3 pokazano przykłady odkuwek wykonanych w Instytucie w ramach prac badawczo-rozwojowych.



Rys. 3. Przykłady wyrobów kształtowanych obwiedniowo

Fig. 3. Examples of orbitally forged products

W literaturze [7,8] opisano 28 wariantów technologicznych prasowania obwiedniowego, które można podzielić na poniższe grupy technologiczne:

- spęczanie swobodne i w matrycy zamkniętej,
- wyciskanie współbieżne, przeciwbieżne oraz mieszane,
- prasowanie złożone (spęczanie z wyciskaniem, spęczanie z wyginaniem, kształtowanie wyrobów uzębionych),
- prasowanie płaskich wyrobów z dotłaczaniem,
- tłoczenie,

- wykrawanie, okrawanie i wygładzanie,
- kalibrowanie odkuwek,
- zagęszczanie proszków metali.

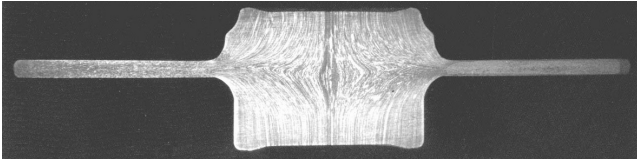
Obwiedniowe spęczanie swobodne jest technologią stosowaną do kształtowania wyrobów, dla których nie wymagana jest duża tolerancja wymiarów spęczanej części na średnicy [10]. Na przykład odkuwka tarczy sprzęgłowej pokazana na rys. 4 [11], charakteryzuje się małym stosunkiem grubości do średnicy i kształtowane są najczęściej na półgorąco z odcinka pręta. Możliwe jest również kształtowanie obwiedniowe takich wyrobów na zimno, jednak na swobodnie spęczanej powierzchni materiał może przekroczyć graniczne wartości odkształcenia i doprowadzić do powstania wad.



Rys. 4. Odkuwka tarczy sprzęgłowej spęczana swobodnie na prasie obwiedniowej na półgorąco[11]

Fig. 4. Clutch disk forging open die warm upset on an orbital press [11]

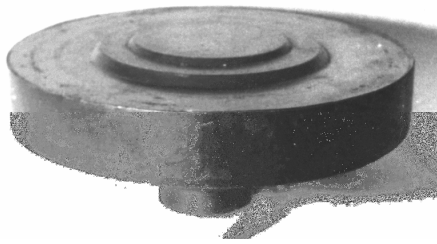
Nieustabilizowane warunki procesu kształtowania obwiedniowego na półgorąco szczególnie cienkościennych tarcz uwidaczniają się niekiedy znacznym rozrzutem wymiarów grubości, średnicy i bicia promieniowego spęczanej części odkuwki. Podczas kształtowania cienkościennych tarcz (rys. 5), o podwyższonych tolerancjach grubości, nierównomierne odprowadzenie ciepła z obszaru spęczanego może być powodem powstania dodatkowych naprężeń własnych, które mogą doprowadzić do braku płaskości [10].



Rys. 5. Odkuwka tarczy sprzęgłowej spęczana swobodnie obwiedniowo (przekrój poprzeczny odkuwki z widocznym układem włókien) [10]

Fig. 5. Open die orbitally upset clutch disk forming (cross section of the forging with visible fibre grain arrangement) [10]

Wyroby kołnierzowe o wysokiej dokładności wykonania są **spęczane obwiedniowo w zamkniętej matrycy**. Przy takim spęczaniu kształt zewnętrzny odkuwki odwzorowuje kształt wykroju matrycy. Ograniczenie swobodnego płynięcia i konieczność wypełnienia wykroju powoduje zwiększenie tarcia pomiędzy materiałem kształtowanym i narzędziem. Ze względu na obwiedniowy ruch stempla całkowite zamknięcie materiału pomiędzy stemplem i matrycą nie jest możliwe, dlatego odkuwki prasowane obwiedniowo tym sposobem mają wypływkę. Przy poprawnym dobraniu parametrów technologicznych i objętości materiału wypływka jest mała, często występująca w postaci zadzioru. Przykładem kształtowania w zamkniętej matrycy jest odkuwka kołnierza do rur wysokociśnieniowych (rys. 6) [11].

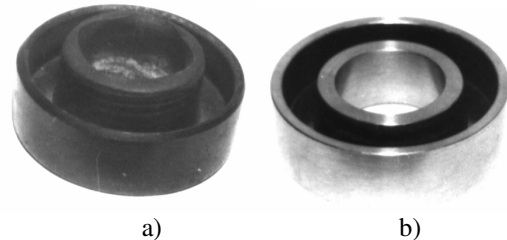


Rys. 6. Odkuwka kołnierza do rur wysokociśnieniowych spęczana obwiedniowo w matrycy zamkniętej [11]

Fig. 6. High pressure pipe flange forming orbitally upset in a closed die [11]

Wyroby pierścieniowe można kształtować przez **obwiedniowe wyciskanie przeciwbieżne**. Materiał obrabiany przemieszcza się w kierunku przeciwnym do ruchu stempla. Stemple w procesie obwiedniowego wyciskania przeciwbieżnego obciążone są miejscowo w znacznie większym stopniu niż przy wyciskaniu tradycyjnym, większe są również naprężenia zginające. Dotyczy to szczególnie stempli

o kształcie pierścieniowym. Dla zmniejszenia tych naprężeń stosuje się mniejszy kąt wahań, lecz obniża to efektywność metody. Przykładem wyciskania przeciwbieżnego jest technologia kształtowania obwiedniowego korpusu sprzęgła elektromagnetycznego (rys. 7) [12]).



Rys. 7. Korpus sprzęgła elektromagnetycznego, obwiedniowo wyciskany przeciwbieżnie: a) odkuwka, b) korpus sprzęgła obrobiony na gotowo

Fig. 7. Electromagnetic coupling body backward orbitally extruded: a) forging, b) ready made coupling body

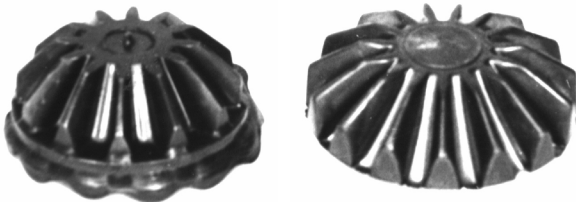
Wyroby posiadające występy na powierzchni czołowej można kształtować metodą **obwiedniowego wyciskania współbieżnego**. Przy wyciskaniu współbieżnym, materiał płynie w kierunku ruchu stempla. Podobnie jak przy wyciskaniu przeciwbieżnym stemple są miejscowo mocno obciążone, co powoduje obniżenie ich trwałości. W takim przypadku zmniejszenie kąta wahań zmniejsza efektywności procesu. Przykładem wyciskania współbieżnego jest odkuwka bieguna pazurowego alternatora (rys. 8) [13].



Rys. 8. Odkuwka bieguna pazurowego wirnika alternatora wykonana metodą obwiedniowego wyciskania współbieżnego [13]

Fig. 8: A forging of the pole of an a.c. generator made by the method of forward rotary extrusion [13]

Wyroby o złożonych kształtach można obrabiać łącząc kilka różnych sposobów obróbki. Najczęściej obwiedniowe spęczanie, zarówno swobodne jak i w zamkniętej matrycy, łączone jest z obwiedniowym wyciskaniem współbieżnym [14]. Przykładem połączenia różnych wariantów technologicznych jest technologia kształtowania wyrobów uzębionych np. kół zębatach stożkowych (rys. 9) [14].



Rys. 9. Odkuwki kół zębatach stożkowych prasowane metodą obwiedniową [14]

Fig. 9. Forgings of bevel gear wheels made by the orbital method [14]

3. TRWAŁOŚĆ NARZĘDZI DO PRASOWANIA OBWIEDNIOWEGO

Trwałość narzędzi do prasowania obwiedniowego, podobnie jak i w pozostałych procesach obróbki plastycznej jest wypadkową wielu czynników: wymagań klienta co do kształtu, tolerancji i jakości powierzchni, przyjętego procesu technologicznego prasowania, konstrukcji narzędzi i sposobu ich wykonania oraz cyklu produkcyjnego.

Podczas prasowania obwiedniowego styk narzędzi z materiałem odkształcanym dochodzi do 3-5 sek. Jest to niekorzystne w przypadku procesów kształtowania na półgorąco stali, gdzie temperatura nagrzania materiału wyjściowego przekracza temperaturę odpuszczania stali narzędziowej. Ekstremalne obciążenie cieplno-mechaniczne narzędzi oraz niewystarczające smarowanie prowadzi do lokalnego obniżenia twardości powierzchni roboczej w następstwie czego wzrasta ryzyko pęknięć na skutek przekroczenia granicy odkształcalności w tym obszarze.

Proces prasowania obwiedniowego wprowadza niesymetryczne i cyklicznie zmieniające się obciążenie, co powoduje dodatkowe naprężenia gnące i ścinające, szczególnie niebezpieczne dla matryc nie symetrycznie osiowych. Pęknięcia są sumą mechanicznych i cieplnych

obciążeń w złożonym stanie naprężenia, występującego w narzędziach podczas procesu i przekraczającego krytyczną wytrzymałości materiału narzędziowego.

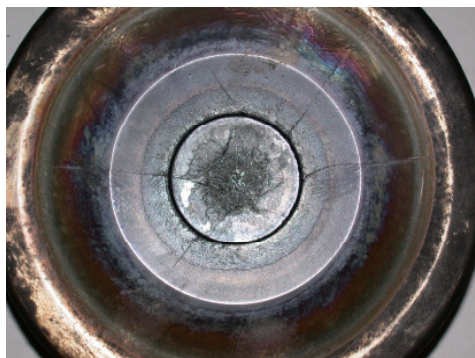
Przyczyny powstania pęknięć w narzędziach są często trudne do określenia, gdyż oprócz obciążeń cieplnych i mechanicznych na ich powstawanie mają wpływ lokalne wady materiałowe, wady na powierzchniach roboczych, zmęczenie na skutek cyklicznych zmian obciążenia przekraczającego własności plastyczne materiału narzędzia.

Ważnym problemem narzędziowym w procesie prasowania obwiedniowego jest zużycie na skutek ścierania i nalepiania się materiału kształtowanego na powierzchni kształtujące. Uszkodzenie powierzchni roboczych na skutek ścierania pojawia się w miejscach ekstremalnie obciążonych w których smarowanie jest niewystarczające.

Na rysunku 10 pokazano typowe uszkodzenia narzędzi do prasowania obwiedniowego na półgorąco. Na stemplu, w środkowej części można zaobserwować siatkę drobnych pęknięć, będących efektem zmęczenia cieplnego. W obszarze zmiany kształtu narzędzia (promienie na stemplu i matrycy) widoczne jest odkształcenie plastyczne oraz pęknięcia promieniowe będące efektem odpuszczenia materiału narzędziowego i lokalnego przekroczenia jego wytrzymałości.

Problem podwyższenia trwałości narzędzi do prasowania obwiedniowego jest jednym z tematów badawczych prowadzonych w Instytucie w ostatnich latach. Prowadzone prace m.in. polegały na wprowadzeniu modyfikacji warstwy wierzchniej przez napawanie najbardziej narażonych powierzchni drutami proszkowymi z domieszkami wanadu i wolframu oraz wdrażania nowych materiałów narzędziowych np. węglików spiekanych. Uzyskane wstępne wyniki badań wskazują, że w wyniku prowadzonych prac możliwa będzie poprawa trwałości narzędzi do prasowania obwiedniowego.

a)



b)



Rys. 10. Pęknięcia narzędzi do prasowania obwiedniowego: a) stempel, b) matryca

Fig. 10. Cracks of orbital forging tools: a) punch, b) die

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono część wyników prac prowadzonych w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu dotyczących technologii prasowania obwiedniowego. Jednym z istotnych problemów związanych z upowszechnieniem zalet procesu jest niewielkie zainteresowanie przedsiębiorstw wynikające z braku dostępności pras obwiedniowych na rynku oraz złożoność procesu. Jednak przy obecnym wzroście zainteresowania inkrementalnymi technologiami objętościowej obróbki plastycznej, wynikająca m.in. z wprowadzenia nowych materiałów konstrukcyjnych, oraz pozytywnych wstępnych wyników badań prowadzonych w ramach projektu rozwojowego Nr R07 026 01 pt. „Zastosowanie kształtowania plastycznego z wymuszoną drogą odkształcenia do produkcji wyrobów o złożonych kształtach i wysokich własnościach wytrzymałościowych” można liczyć na wzrost możliwości ekonomicznego zastosowania i wdrożenia

procesów obwiedniowego prasowania w przemyśle.

LITERATURA

- [1] Pei X.H., Zhou D.C., Wang Z.R.: A study of the rotary forging, Proc. 2nd Internat. Conf. Rotary Metalworking Processes, Oct. 1982, Stratford-upon-Avon, UK, s. 91-100.
- [2] Pei X.H., Zhou D.C., Wang Z.R.: Same basic problems of the rotary forging and its practical applications, Proc. 2nd Internat. Conf. Rotary Metalworking Processes, Oct. 1982, Stratford-upon-Avon, UK, s. 81-90.
- [3] G.Liu i in. „Explanation of the mushroom effect in the rotary forging of a cylinder”, J. Material Processing Technology, 151 (2004) 178-182.
- [4] Plewiński A., Garczyński Z.: Możliwości technologiczne pras PXW, Obr. Plast. Met. 1991 nr 2.
- [5] Canta T., Doege E., Rotarescu M.: Prasowanie obwiedniowe – dalszy rozwój, Międzynarodowa Konf. Naukowo-Techniczna Metal Forming '98, Kiekrz, Polska, s. 109-116.
- [6] Strandring P.M., Appelton E.: Rotary forging developments in Japan. Machine development and forging research, J. Mech. Work. Techn., 1980, 3, s. 253-273.
- [7] Lisowski J., Olszewski M., Stróżewski M.: Klasyfikacja, typizacja i analiza krajowej produkcji odkuwek matrycowych, także odkuwek kół zębatych, zakwalifikowanych wstępnie do kształtowania na prasach PXW z wahającą matrycą, Obr. Plast. Met. 1984 t. XXIII z. 3 s. 143-150.
- [8] Grześkowiak J.: Kształtowanie obwiedniowe na prasie z wahającym się narzędziem w produkcji odkuwek, Obr. Plast. Met. 1989 z. 3 s. 61-66.
- [9] A. Plewiński: Technologische Möglichkeiten des Abwälzpressens auf einer polnischen Presse PXW, Umforttechnik 19, (1985) s. 204-210.
- [10] Rotary Form Raport z zadania 1 i 2 projektu INCO COPERNICUS CT96-0752.
- [11] Pawleta O.: Sprawozdanie z badań INOP nr BP/Dp/III.3.10/1981.
- [12] Pawleta O.: Sprawozdanie z badań INOP nr BP/P-III-3.12.3/1981.
- [13] Pawleta O.: Sprawozdanie z badań INOP nr BP/Dp/III.3.10/1981.
- [14] Malendowicz K.: sprawozdanie z badań INOP nr BP/P-03.2.1/1982.
- [15] Grześkowiak J.: Sprawozdanie z badań INOP nr BP/P-03.2.5/1982.