

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Przegląd konstrukcji urządzeń do wytwarzania mikro–części metodami wyciskania metali

KRZYSZTOF MOGIELNICKI, KRZYSZTOF GARBALA, JAN PIWNIK

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, ZAKŁAD INŻYNIERII PRODUKCJI

STRESZCZENIE

Mikroforming (wyciskanie metali w mikro–skali) jest alternatywną, do obróbek skrawaniem, metodą wytwarzania mikro–przedmiotów. Ma ona nad nimi tę przewagę, że jest bardziej efektywna oraz zapewnia powtarzalność kształtów i wymiarów. Wymaga jednak zastosowania narzędzi, których budowa pozwoli na redukcję wpływu efektu skali na proces odkształcania. W pracy zaprezentowano wybrane rozwiązania konstrukcyjne mikro–maszyn zaprojektowanych do celów obróbki plastycznej metali.

Overview of tooling concept for microforming

ABSTRACT

Mikroforming is an alternative to machining, production method of micro–parts. Its advantage is to being more effective and assuring dimensions' and shapes' repeatability. However, using this method, its required to apply tools, with construction complied size effects. In this paper selected constructional micro–machines solutions, designed for plastic deformation are described.

1. WSTĘP

Wytwarzanie produktów metodą wyciskania metali, których dwa wymiary są mniejsze niż 1mm (microforming), pociąga za sobą konieczność zmierzenia się ze specyfiką tego procesu. Z technologią tą wiąże się problematyka efektu skali [1, 2], nie spotykana w przypadku tradycyjnych procesów w wymiarze makro. Znane i stosowane rozwiązania konstrukcyjne urządzeń do formowania metali, w przypadku ich adaptacji do celów mikro-wyciskania, powinny być przeanalizowane pod kątem osobliwości pojawiających się wraz z małymi wymiarami oraz dostosowane do wymogów procesu.

Narzędzia wykorzystywane do produkcji części metodami mikro-formowania są bardzo małe, charakteryzują się małą ilością części, wysokim poziomem precyzji wykonania oraz wysoką jakością powierzchni. Typowymi problemami, z jakimi należy się zmierzyć projektując mikro-maszyny są m.in. dobór właściwych metod obróbkowych, zapewniających uzyskanie odpowiednich dokładności wymiarów elementów, dobór materiałów o odpowiednich własnościach fizycznych i mechanicznych a także zastosowanie właściwego systemu ułatwiającego formowanie metali.

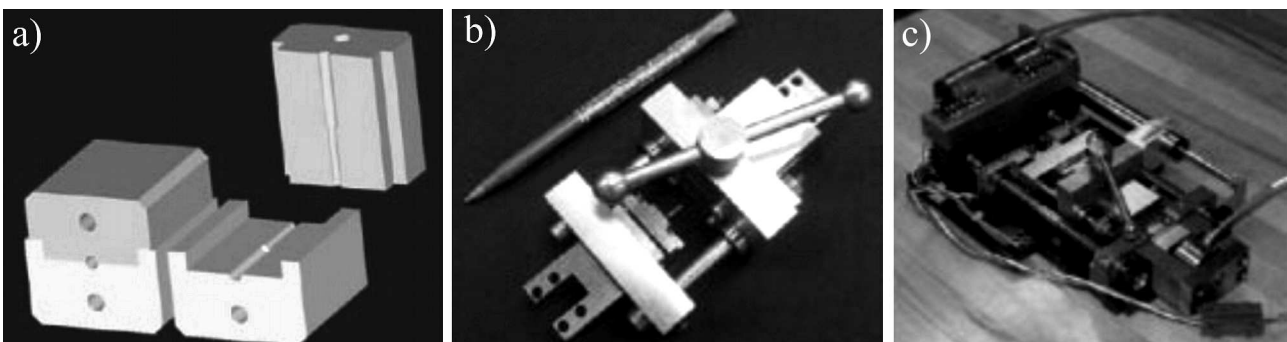
Mikro-wyciskanie można podzielić, podobnie jak w przypadku formowania metali w wymiarze makro na: współbieżne, przeciwbieżne, połączone – współbieżne i przeciwbieżne (materiał płynie w obu kierunkach) oraz poprzeczne (materiał płynie prostopadle do kierunku ruchu stempla). Może ono być również przeprowadzane na zimno bądź gorąco. Podwyższenie temperatury w wielu przypadkach jest niezbędne, gdyż siły deformacji, podczas obróbki na zimno, nie zmniejszają się proporcjonalnie do malejącej objętości obszaru odkształcenia, co powoduje, że mikro-stemple są elementami narażonymi na wysokie naprężenia [3]. Wyciskanie materiału na poziomie mikro w podwyższonych temperaturach, wymusza zastosowanie dodatkowych rozwiązań konstrukcyjnych, komplikując przy tym budowę

narzędzi obróbkowych oraz zmniejszając twardość i parametry wytrzymałościowe stempla i matrycy.

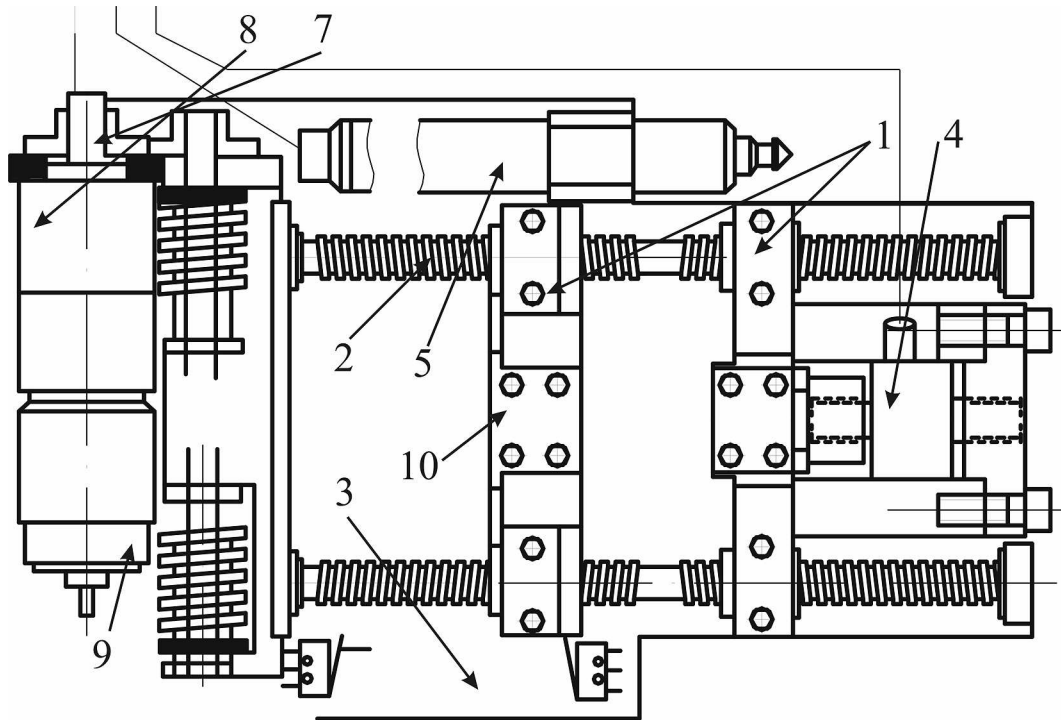
2. KONSTRUKCJE STANOWISK BADAWCZYCH

Poniżej przedstawiono przykład małej maszyny służącej do wytwarzania mikro-trzpieni w temperaturze otoczenia (Rys. 1) [4]. Materiałem odkształcanym podczas eksperymentu był mosiądz Cu/Zn: 70/30. Urządzenie składa się z rozdzielnej matrycy (Rys. 1a), co ułatwia usuwanie przedmiotu po procesie wyciskania, wykonanej za pomocą obróbek wiercenia i szlifowania. Matryca jest mocowana w specjalnie do tego celu zaprojektowanym formującym uchwycie montażowym (Rys. 1b). Uchwyt ten składa się ze stempla zamocowanego w poprzeczce poruszającej się wzdłuż liniowych nośników (śrub suportu), wprowadzających stempel do matrycy. Nośniki, rama i matryca są utwardzane a ich powierzchnie szlifowane z tolerancją $\pm 0,01\text{mm}$. Uchwyt montażowy umieszczony jest w podzespole siłowym (Rys. 1c) wyposażonym w sterownik sił (2000 lbs czyli 907,19 kg) oraz LVDT (czujnik przemieszczeń liniowych) do pomiaru sił deformacji i odpowiadających im przemieszczeń. Schemat urządzenia przedstawia Rysunek 2.

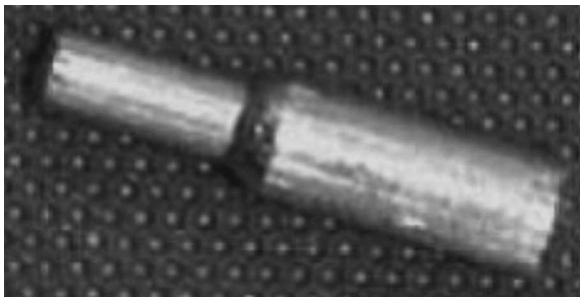
Kolejnym przykładem urządzenia zaprojektowanego do celów microformingu jest Micro-press (M-press) wyposażone w wielowarstwowy, ceramiczny siłownik (ang. *stacked multilayer ceramic actuator* – SMCA) piezoelektryczny, schematycznie przedstawione na Rysunku 4 [6]. Podstawowymi jego zespołami są: rama z zamocowaną prowadnicą siłownika, siłownik piezoelektryczny oraz stół sterowany dodatkowym siłownikiem piezoelektrycznym. Wartości przesunięć siłowników, poprzez przetworniki przemieszczeń, przekazywane są do komputera. M-press wyposażone jest w mikroskop, kamerę cyfrową umożliwiającą obserwację procesu a także w dynamometr połączony z komputerem PC pozwalający na pomiar sił odkształcenia.



Rysunek 1. a) Rozdzielna matryca do wyciskania mikro-trzpieni b) Formujący uchwyt montażowy c) Podzespół siłowy [4]



Rysunek 2. Schemat podzespołu siłowego: 1 – poprzeczki, 2 – śruby suportu, 3 – rama, 4 – komórka nacisków, 5 – LVDT-czujnik przemieszczeń liniowych, 7 – wał prowadzący, 8 – pojemnik z przekładnią, 9 – silnik, 10 – zaciski próbki [5]



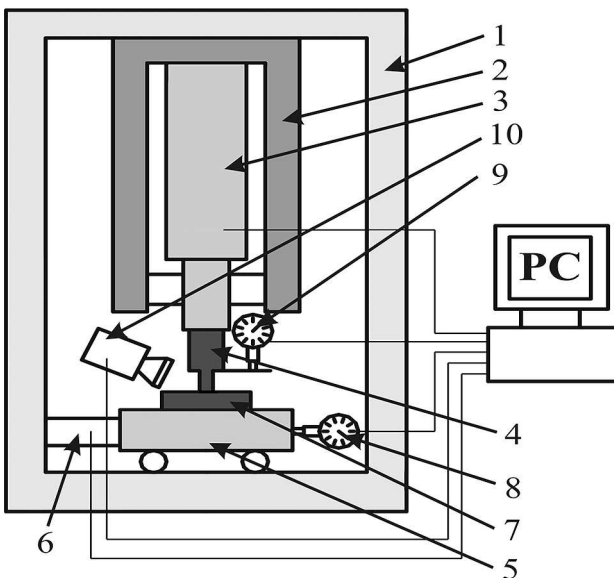
Rysunek 3. Próbką odkształcanego mikro-trzpienia [4]

Siłownik SMCA o wymiarach 10 x10 x 140 mm jest zaprojektowany do pracy w dwóch wariantach: w pierwszym przypadku działa bezpośrednio (Rys. 5a), w drugim natomiast, oddziałuje za pośrednictwem mechanicznego wzmacniacza przemieszczeń (Rys. 5b).

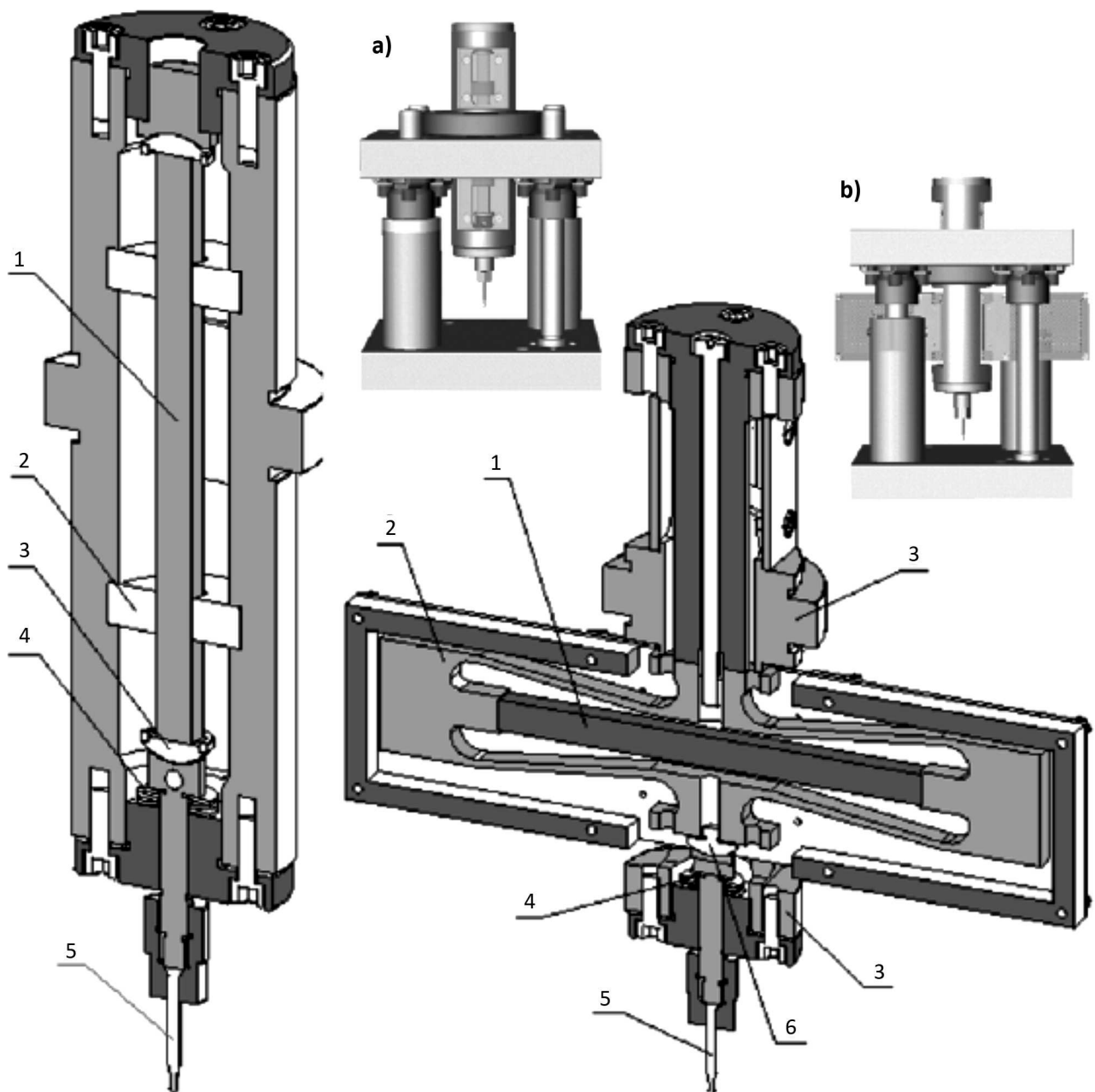
M-press przeznaczony jest do przeprowadzania, w małej skali, praktycznie wszystkich procesów deformacji metali na zimno. Przykładem jest wyciskanie przeciwbieżne aluminiowego dysku (Rys. 6).

Innym rozwiązaniem konstrukcyjnym przyrządu do deformacji metali na zimno w skali mikro (wytwarzanie mikro-trzpieni) jest to zaprezentowane przez autorów pracy [7]. Urządzenie składa się z dwóch części: dolnej i górnej (Rys. 7). Część dolna jest ustalana, natomiast górna porusza, ślizgając się po cylindrycznych powierzchniach prowadzących w kierunku pionowym. Obie są ustawione współosiowo względem siebie.

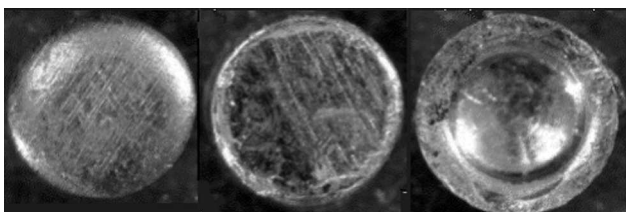
Aparat jest zaprojektowany w ten sposób, aby dzięki zmianie kilku jego elementów można było przeprowadzić osiem podstawowych procesów wyciskania na zimno. Poprzez wymianę wewnętrznej oprawy, w aparacie może być instalowana większa bądź mniejsza matryca, wzmocniona dwoma pierścieniami przenoszącymi naprężenia (Rys. 8a). „System stempla” składający się z kilku utwardzonych podzespołów zapewnia łatwość jego wymiany oraz precyzję obróbki.



Rysunek 4. Schemat urządzenia M-press: 1 – rama, 2 – przewodnica siłownika piezoelektrycznego, 3 – piezoelektryk, 4 – stempel, 5 – stół, 6 – piezoelektryk, 7 – krążek, 8, 9 – przetworniki przemieszczenia, 10 – mikroskop z kamerą [6]

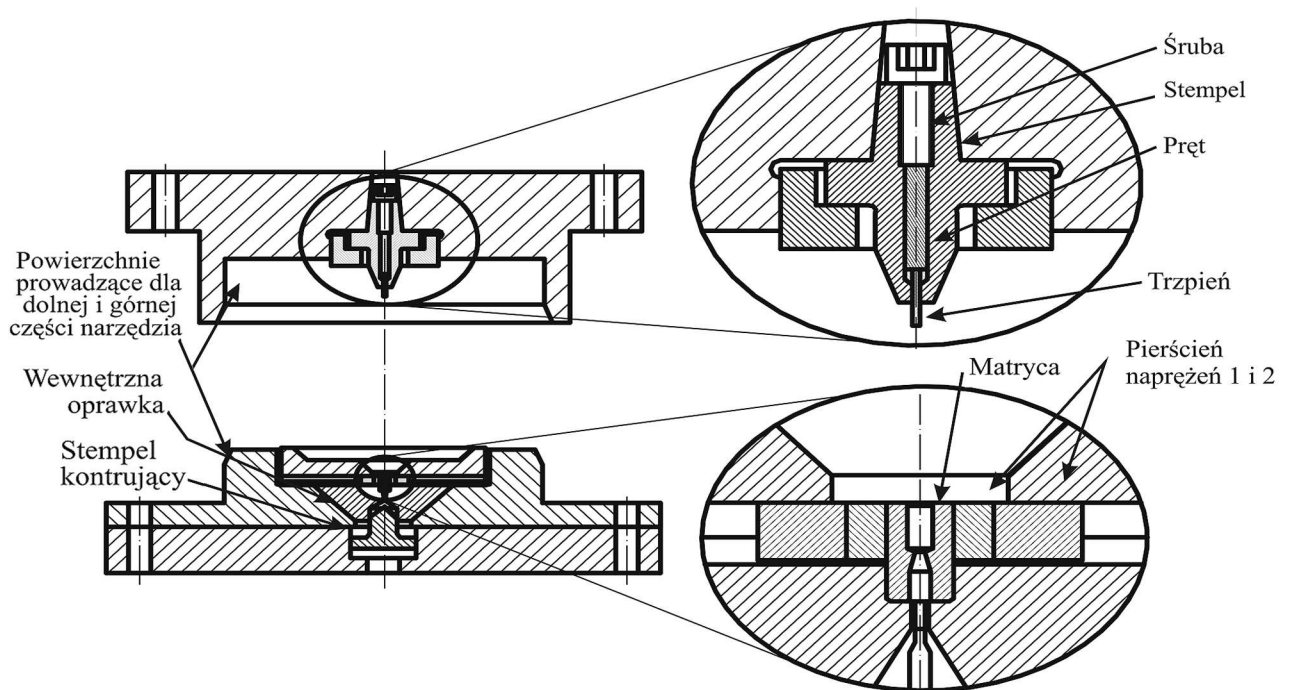


Rysunek 5. M-press: a) z pionowym siłownikiem piezoelektrycznym: 1 – piezoelektryk, 2 – gumowy pierścień, 3 – łożysko kulkowe, 4 – sprężyny, 5 – stempel, b) ze wzmocnionym siłownikiem piezoelektrycznym: 1 – piezoelektryk, 2 – wzmacniacz przemieszczeń, 3 – obudowa, 4 – sprężyny, 5 – stempel [6]

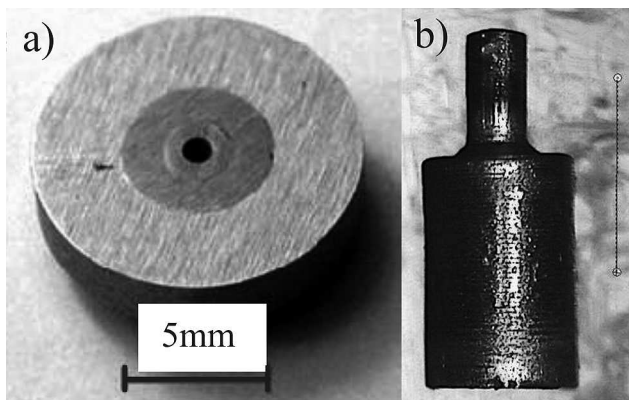


Rysunek 6. Kolejne etapy deformacji aluminiowego dysku [6]

Przyrząd jest napędzany za pomocą sterowanego komputerowo liniowego serwomotoru i wyposażony dodatkowo w przetwornik sił oraz cylinder pneumatyczny ułatwiający wyjmowanie próbki, której przykład przedstawiono na Rysunku 8b. Istnieją również narzędzia do mikro-deformacji metali pracujące w podwyższonych temperaturach. Przykład takiego urządzenia, służącego do wytwarzania komponentów stomatologicznych ze stopu magnezu AZ31B przedstawia Rysunek 9 [8]. W tym przypadku produkty (Rys. 10) otrzymuje się



Rysunek 7. Z lewej: aparat w komplecie. Z prawej u góry: system stempla. Z prawej u dołu: matryca ze wzmacniającymi ją pierścieniami [7]



Rysunek 8. a) matryca i pierścienie przenoszące naprężenia b) wyciśnięty element (długość linii z prawej reprezentuje wartość 1 mm) [7]

poprzez przeciwbieżne wyciskanie walca za pomocą trójkątnego stempla oraz dolnego sferycznego wyrzutnika.

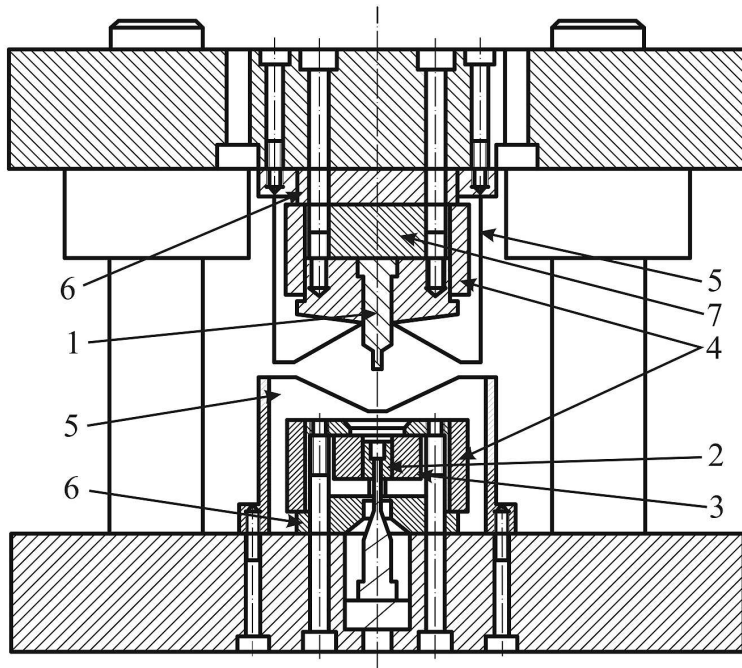
Podczas konwencjonalnego wyciskania na gorąco w skali makro, materiał odkształcany jest wygrzewany przed włożeniem do matrycy. Jednakże, w skali mikro, pojemność cieplna przedmiotu jest zbyt niska w zestawieniu z szybkością chłodzenia wywołaną kontaktem z otaczającym go powietrzem oraz matrycą i stemplem. Dlatego też, sugerowane jest pośrednie nagrzewanie przedmiotu przez wygrzane narzędzie. Aby uzyskać efektywny system termiczny, ilość części o podwyższonej temperaturze musi być

ograniczona do minimum a źródło ciepła powinno znajdować się jak najbliżej przedmiotu.

Przyrząd wyposażony jest w dwa komercyjne grzejniki oporowe o mocy 400W (pozwalające na uzyskanie temperatury 450°C) sterowane za pomocą termopary oraz izolację termiczną ograniczającą z dołu i z góry nagrzane części. Prowadnice narzędzia zabezpieczone są przed promieniowaniem cieplnym ceramicznymi ekranami termicznymi o wypolerowanych powierzchniach. Urządzenie montowane jest na mini prasie o nacisku nominalnym 5 ton.

3. PODSUMOWANIE

Rozwiązania konstrukcyjne aparatury wykorzystywanej w celach mikro-wyciskania metali powinny uwzględniać specyfikację tego procesu. Dokładność wykonania, jak i współpracy, części tych urządzeń powinna sięgać kilku mikrometrów, a ich liczba być ograniczona do niezbędnego minimum, co pozwoli na skrócenie łańcucha tolerancji. Tak jak symulacje numeryczne, stanowiska eksperymentalne powinny być projektowane z uwzględnieniem efektów skali. Taki sposób postępowania ułatwi uzyskanie produktów o wymaganej jakości wykonania i żądanych parametrach wytrzymałościowych.



Rysunek 9. Schemat narzędzia do mikro-formowania na gorąco: 1 – stempel, 2 – wkładka matrycy, 3 – pierścień przenoszący naprężenia, 4 – grzejniki, 5 – ekran termiczny, 6 – izolacja termiczna, 7 – amortyzator [8]



Rysunek 10. Z lewej: komponent formowany w temp. 20°C z pęknięciami na brzegach.
Z prawej: materiał i komponent formowany w temp. 400°C [8]

LITERATURA

- [1] U. Engel, R. Eckstein: *Microforming – from basic research to its realization*. Journal of Materials Processing Technology (2002).
- [2] F. Vollertsen, H. Schulze Niehoff, Z. Hu: *State of the art in micro forming*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46 (2006).
- [3] J. Cao: *Fundamentals of Microforming Processes*. Department of Mechanical Engineering Northwestern University (2006).
- [4] J. Cao, N. Krishnan, Z. Wang, H. Lu, W. Liu, and A. Swanson: *Microforming: Experimental Investigation of the Extrusion Process for Micropins and its Numerical Simulation Using RKEM*. ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126, (2004), 642-652.
- [5] J. Cao, Z. Wang, N. Krishnan, A. Swanson: *Microforming: Extrusion of micropins*. Advanced Materials Processing Laboratory Northwestern University.
- [6] W. Presz B. Andersen, T. Wanheim: *Piezoelectric driven Micro-press for microforming*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 18 issue 1-2, (2006).
- [7] C.P. Withen, J.R. Marstrand, M. Arentoft, N.A. Paldan: *Flexible tool system for cold forging of micro components*. First International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, Forschungszentrum Karlsruhe, Germany, (29 June-1 July 2005).
- [8] M. Arentoft, S. Bruschi, A. Ghiotti, N.A. Paldan, J.V. Holstein: *Microforming of Lightweight Metals in Warm conditions*. Proc. of the 11th ESAFORM, Lyon (2008).