

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al - Li ) oraz Ti Plastic forming of aeronautical Al (including Al - Li ) and Ti alloys

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

#### Wyniki badań Research results

#### Opracowanie oferty dla przemysłu z zakresu badań technologii walcowania poprzeczno-klinowego stopów aluminium

#### Preparing a proposal for the industry concerning studies on cross-wedge rolling of aluminum alloys

Celem zadania było przygotowanie oferty dla zakładów przemysłowych dotyczącej zastosowania procesu walcowania poprzeczno-klinowego do produkcji odłuków i przedłuków osiowosymetrycznych o prostych kształtach ze stopów aluminium. Na podstawie wykonanych zadań badawczych opracowano procesy kształtowania stopniowanych wyrobów pełnych i drażnionych (rys. 1 i 2). Przygotowana oferta zawiera wytyczne dotyczące projektowania narzędzi do walcowania oraz wymagane parametry prędkościowo-temperaturowe procesu. Technologia zweryfikowano na stopach aluminium: 2618A, PA38, PA31. Przedstawiono również wyniki badań dotyczące ograniczeń procesu, do których zaliczono w szczególności wady kształtu i utratę spójności materiału.

The aim of the task was to prepare a proposal for the industry on the application of cross-wedge rolling for production of simple, axisymmetric forgings and preforms made of aluminum alloys. Based on the previously performed research tasks, forming processes have been developed for both solid and hollow stepped shafts (Figs. 1 and 2). The prepared proposal includes recommendations on the die design and kinetic and thermal process parameters. The technology was verified for 2618A, PA38 and PA31 aluminum alloys. Research results on process limitations, esp. shape defects and material fracture, have been presented as well.



Rys. 1. Odłuki pełne ze stopu 2618A wykonane metodą walcowania poprzeczno-klinowego  
Fig.1. Solid forgings made of 2618A alloy by cross-wedge rolling method

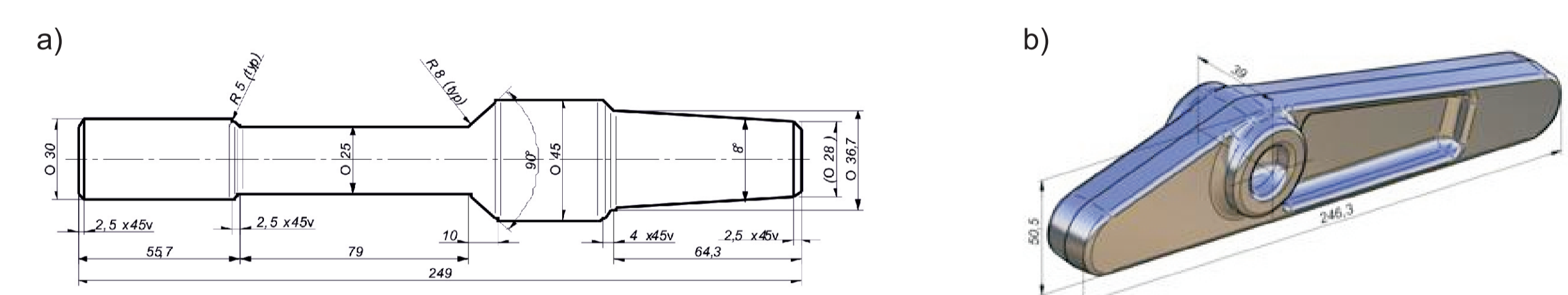
Rys. 2. Odłuki drażnione o różnych grubościach ścianek ze stopu 2618A  
Fig.2. Hollow forgings with different wall thickness made of 2618A alloy

#### Badania doświadczalne walcowania poprzeczno-klinowego przedłuki dźwigni do zastosowań lotniczych ze stopów aluminium

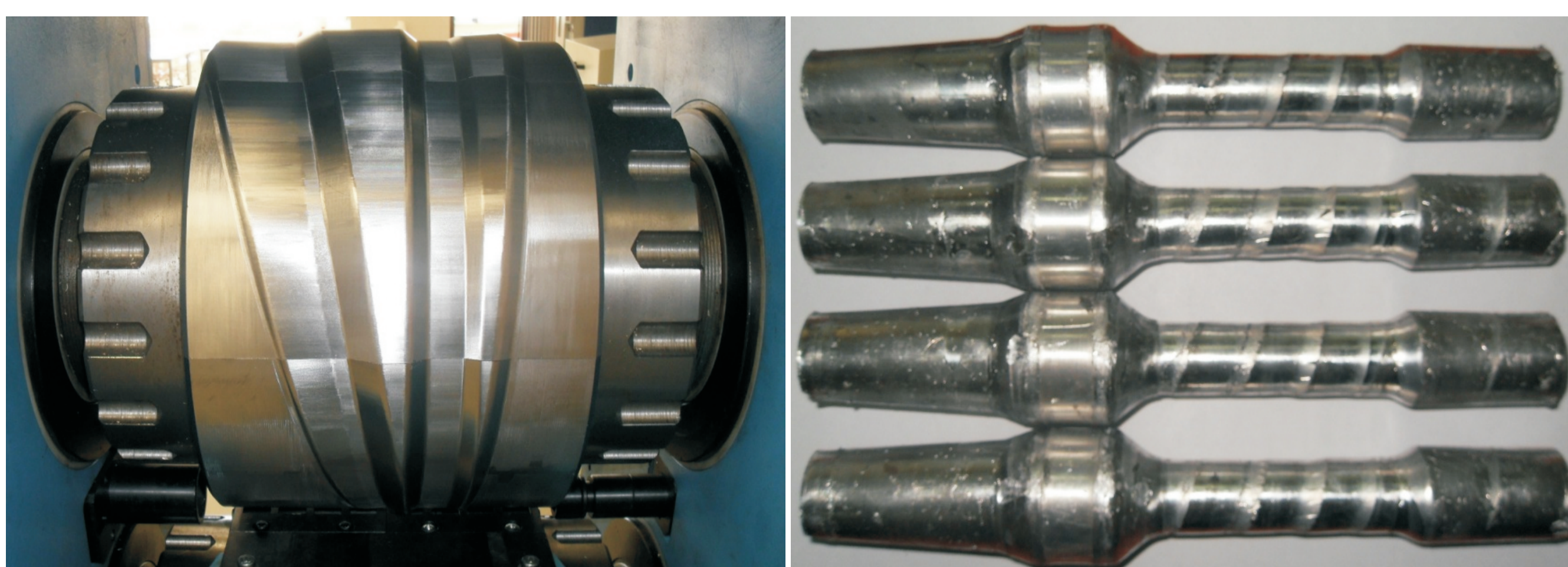
#### Experimental studies on cross-wedge rolling of an aluminum alloy preform for forging a lever used in aircrafts

Celem zadania było przeprowadzenie prób doświadczalnych walcowania poprzeczno-klinowego przedłuków w uniwersalnej walcarki kuzniczej, a następnie odwalcowanie próbnej serii przedłuków ze stopów aluminium (PA6 oraz PA38), które wykorzystane zostaną jako półfabrykaty do procesu kucia matrycowego odłuki dźwigni wykorzystywanej w przemyśle lotniczym (rys. 3). Zaprojektowano i wykonano segmenty klinowe służące do walcowania przedłuków (rys. 4). Odwalcowane w warunkach laboratoryjnych przedłuki ze stopów aluminium pokazane zostały na rys. 5.

The aim of the task was to perform experimental tests of cross-wedge rolling on a universal roll forging machine and then rolling of a trial batch of PA6 and PA38 alloy preforms for further close-die forging of levers used in aircrafts (Fig. 3). Specific die segments for cross-wedge rolling have been designed and made for this purpose (Fig. 4). Preforms obtained in these laboratory conditions are presented in Fig. 5.



Rys. 3. Kształt i wymiary: a) przedłuki, b) odłuki dźwigni  
Fig. 3. A shape and dimensions of a) the preform, b) the lever forging



Rys. 4. Przestrzeń robocza walcarki kuzniczej wykorzystanej w badaniach wraz z segmentami  
Fig. 4. A working space of the cross rolling machine used in the tests, with die segments

Rys. 5. Przedłuki dźwigni ze stopu aluminium odwalcowane w procesie walcowania poprzeczno-klinowego  
Fig. 5. Aluminum alloy preforms for lever forging obtained in cross-wedge rolling process

Wyniki prób eksperymentalnych potwierdziły słusność nowej koncepcji zaprojektowanych narzędzi, które umożliwiają uzyskanie dużych wartości redukcji przekroju poprzecznego na stosunkowo krótkiej drodze kształtowania bez wystąpienia niebezpieczeństwa przewężenia lub zerwania odłuki. Uzyskane przedłuki charakteryzują się prawidłową geometrią oraz wymiarami. W środkowej części przedłuków na stopniu o najmniejszej średnicy widoczne są śrubowe rowki. Powstawanie śrubowych rowków na tym stopniu przedłuki spowodowane jest dużą wartością gniołu w tym obszarze oraz zbyt małym promieniem zaokrąglenia krawędzi klina. Obecność śrubowych wgłębień na powierzchni przedłuki nie ma większego wpływu na jakość gotowego elementu uzyskanego podczas kucia matrycowego.

Correctness of the new die design concept has been confirmed by the test results obtained. The new dies permit to obtain large reduction of cross-section on the relatively short distance without the risk of necking or cracking. Obtained preforms have correct geometrical features (both shape and dimensions). There are some screwed grooves apparent in the central part of preforms (on the step of the smallest diameter). They developed due to large reduction in this area and too small edge radius of the wedge. The presence of these grooves on the preform surface has no significant effect on the quality of the final product obtained in further close-die forging process.

#### Wyniki badań Research results

#### Badania doświadczalne walcowania poprzeczno-klinowego przedłuki dźwigni do zastosowań lotniczych ze stopu tytanu

#### Experimental study on cross-wedge rolling of titanium alloy preform for forging a lever used in aircrafts

Celem zadania było określenie możliwości walcowania poprzeczno – klinowego odłuków ze stopu tytanu w uniwersalnej walcarki kuzniczej. Przeprowadzone zostały próby walcowania poprzeczno – klinowego przedłuków do kucia dźwigni ze stopu tytanu o kształcie i wymiarach przedstawionych na rys. 3. Do walcowania zastosowano te same segmenty klinowe, które użtyto do walcowania przedłuków ze stopów aluminium (rys. 4). Odwalcowane w warunkach laboratoryjnych przedłuki ze stopu tytanu przedstawiono na rys. 6. W odróżnieniu od przedłuków aluminiowych posiadają w środkowej części wyraźne przewężenie. Z tego względu ilość materiału w tym obszarze przedłuki będzie niewystarczająca do prawidłowego wypełnienia wykroju matrycy podczas kucia. Stwierdzono również, że tego typu półfabrykaty po niewielkiej modyfikacji geometrii mogą być kształtowane w procesie wzdłużnego walcowania kuzniczego.

The aim of the task was to determine feasibility of manufacturing titanium alloy parts by cross-wedge rolling technology. The cross-wedge rolling trials were performed on a universal roll forging machine and a batch of lever preforms (Fig.3) were produced. The same wedge segments were used as for rolling of aluminum preforms (Fig. 4). The titanium preforms obtained in the laboratory conditions are presented in the Fig. 6. In contrast to aluminum alloy preforms, the titanium ones exhibit distinct necking in the central part. Therefore, the amount of material in this area is insufficient for adequate die filling during subsequent close-die forging. It was also found that preforms of such kind, after small modification of the geometry, can be formed by roll forging.



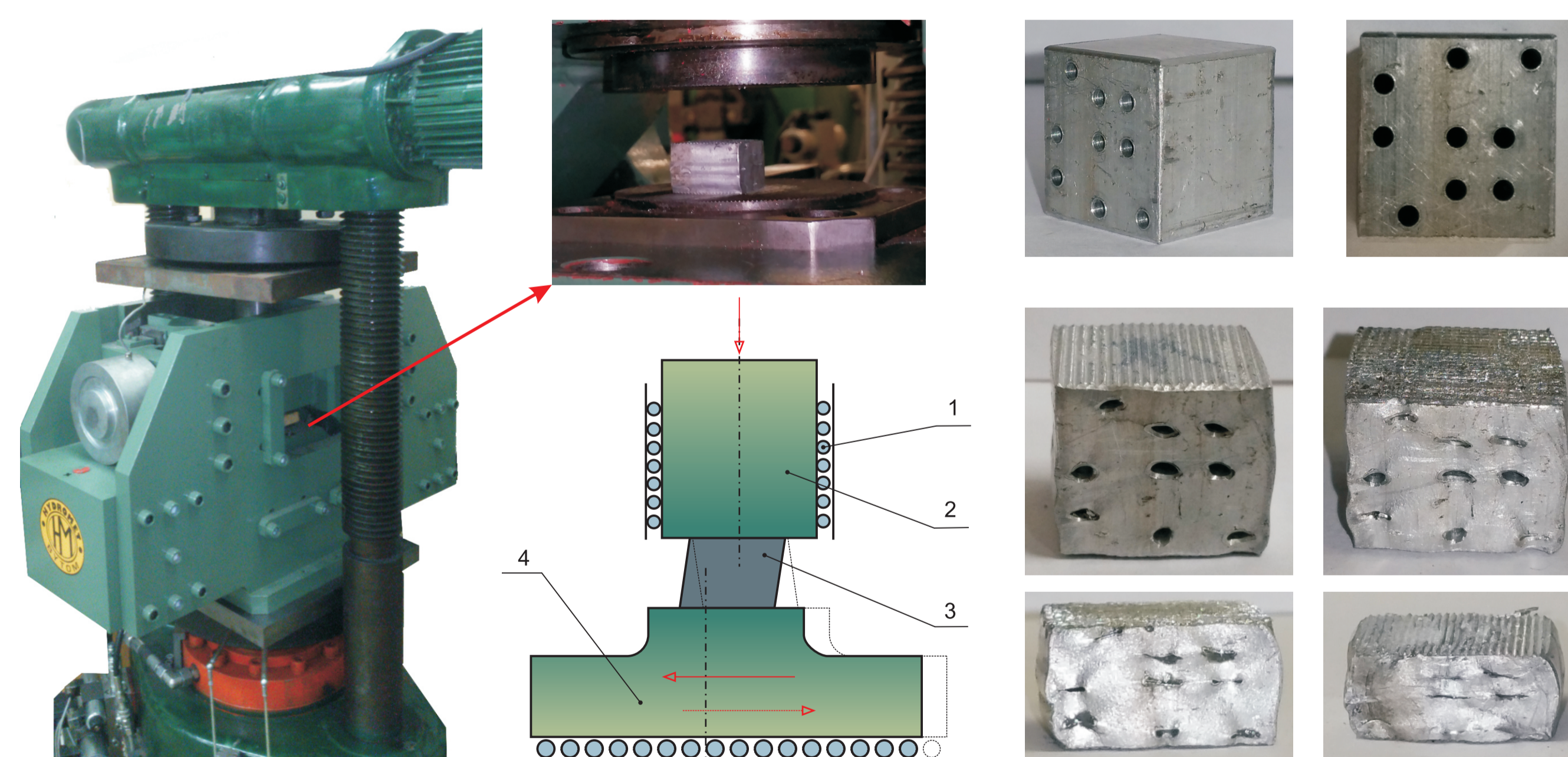
Rys. 6. Przedłuki dźwigni ze stopu tytanu odwalcowane w procesie walcowania poprzeczno-klinowego  
Fig. 6. Titanium alloy preforms for lever forging obtained in cross-wedge rolling process

#### Badania wpływu dodatkowego naprężenia stycznego na efektywność zamykania nieciągłości materiałowych podczas kucia

#### Study on the effects of additional shear stress on a closure of material voids during forging

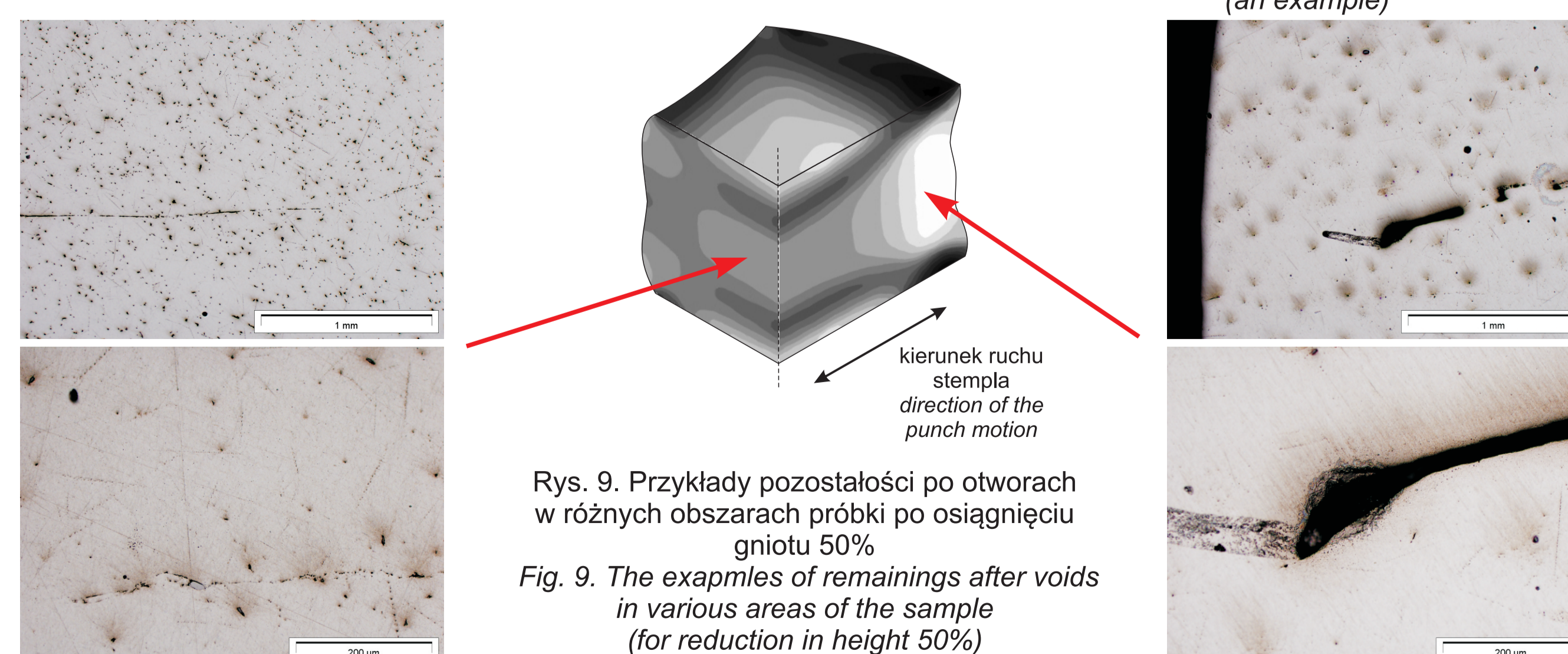
Przeprowadzono szereg eksperymentów i symulacji numerycznych w celu sprawdzenia wpływu dodatkowego naprężenia stycznego (uzyskanego dzięki wprowadzeniu cyklicznego, poprzecznego ruchu stempla podczas kucia - rys. 7) na efektywność zamykania nieciągłości w materiale. W badaniach wykorzystano próbki sześciennie ze stopu 2017A z wydrążonymi na wskroś otworami w wytypowanych miejscach ich przekroju poprzecznego (rys. 8). Próby prowadzono w temperaturze pokojowej. Stwierdzono możliwość całkowitego spojenia zetkniętych powierzchni nieciągłości oraz istotny wpływ kierunku ruchu poprzecznego stempla na rozkład odkształcenia zastępczego i efektywność zamykania wad w różnych obszarach próbki (rys. 9).

A series of experiments and simulations has been conducted in order to evaluate the effect of additional shear stress generated during upsetting (induced by cyclic, transverse motion of a die - Fig. 7) on material void closure behaviour. Cubic 2017A alloy samples were used, with drilled voids located in several specific areas on their cross-sections (Fig. 8). Tests were conducted at room temperature. It was found that there is a feasibility to completely bond closed void surfaces. The direction of transverse punch motion affects the effective strain distribution and, in consequence, the closure of voids in various areas of a sample (Fig. 9).



Rys. 7. Widok i schemat ideowy przyrządu do kucia wspomaganego oddziaływaniem dodatkowego naprężenia stycznego: 1 - prowadnice toczne, 2 - stempel górny, 3 - próbka, 4 - stempel dolny  
Fig. 7. A view and schematic representation of a device for forging aided by additional shear stress: 1 - guide rollers, 2 - upper punch, 3 - sample, 4 - lower punch

Rys. 8. Widok próbki z otworami w stanie początkowym i po kolejnych fazach kucia z poprzecznym stemplem (przykład)  
Fig. 8. A view of the drilled sample in the initial state and after subsequent phases of forging with transverse punch motion (an example)



Rys. 9. Przykłady pozostałości po otworach w różnych obszarach próbki po osiągnięciu gniołu 50%  
Fig. 9. The examples of remainings after voids in various areas of the sample (for reduction in height 50%)

#### Przykłady współpracy z przemysłem Collaboration with industry

Zakład Obróbki Plastycznej Sp. z o.o. Świdnik  
Kucie wybranych odłuków części dla przemysłu lotniczego ze stopów tytanu i aluminium.  
Forging of selected titanium and aluminium alloy parts for the aerospace industry.

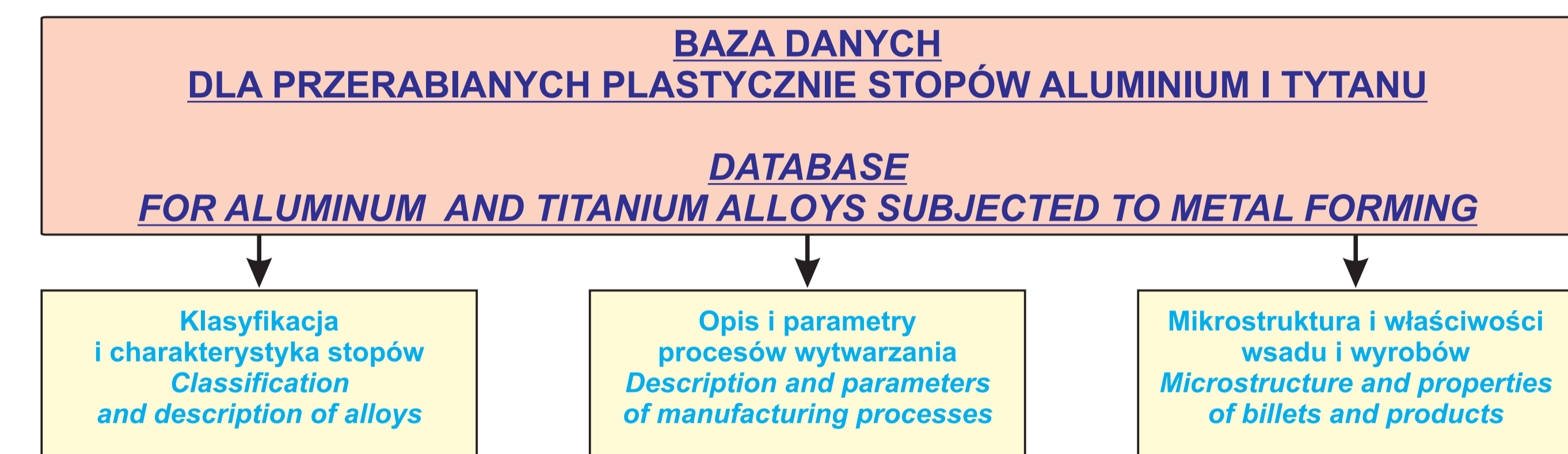
#### Wyniki badań Research results

#### Badania właściwości mechanicznych i wyznaczenie charakterystyk materiałowych wybranych stopów aluminium i tytanu

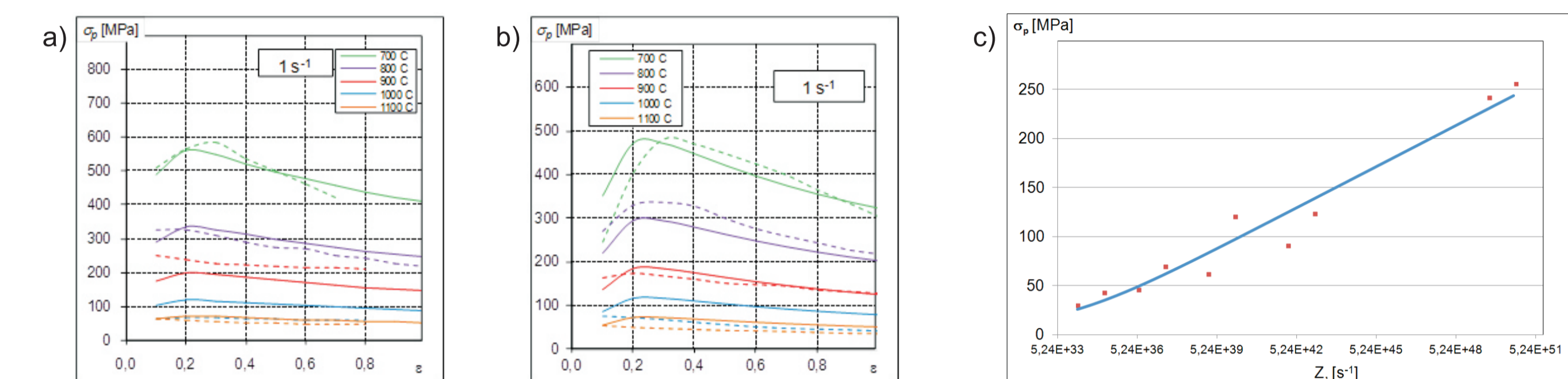
#### Study on the mechanical properties and determination of material characteristics of selected aluminum and titanium alloys

Kontynuowano wyznaczenie charakterystyk materiałowych wybranych stopów aluminium i tytanu. Będą one dostępne w opracowanej bazie danych (rys. 10). Wybrane wyniki badań przedstawiono na rysunku 11.

Determination of various material characteristics for selected aluminum and titanium alloys was continued. They will be collected in a developed database (Fig. 10). The selected test results are presented in Fig.11.



Rys.10. Struktura przygotowywanej bazy danych dotyczącej przerabianych plastycznie stopów aluminium i tytanu  
Fig.10. A structure of the developed database for formable aluminum and titanium alloys



Rys.11. Przykładowe charakterystyki technologiczne plastyczności wybranych stopów: krzywe płynięcia stopów tytanu: OT4 (a), VT3-1 (b), zależność naprężenia uplastyczniającego od parametru Zenera-Hollomona dla stopu aluminium 2017 (c)  
Fig.11. Examples of formability characteristics for selected alloys: flow curves for titanium alloys: VT3-1 (a), OT4 (b), the flow stress - Zener-Hollomon parameter relation for 2017 aluminum alloy (c)

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

1. Grosman F., Tkocz M. : **Innowacyjne procesy narastającego kształtowania plastycznego metali**. Konf. Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej FIMM 2015, 17-19.05.2015, Jabłonna.

#### Publikacje

1. Tomczak J., Pater Z., Bulzak T.: **Forming of hollow shaft forging from titanium alloy Ti6Al4V by means of rotary compression**. Archives of Metallurgy and Materials, 2015, nr 1, vol. 60, s. 419-425  
2. Bartnicki J., Tomczak J., Pater Z.: **Numerical analysis of the cross-wedge rolling process by means of three tools of stepped shafts from aluminum alloy 7075**. Archives of Metallurgy and Materials, 2015, nr 1, vol. 60, s. 434-435

#### Patenty

1. Winiarski G., Gontarz A.: **Sposób i urządzenie do wywijania kołnierza z rolkami prowadzącymi**. Numer decyzji: DP.P.404040.7.kwal z dnia 20.01.2015.  
2. Pater Z., Gontarz A., Tomczak J.: **Sposób wytwarzania kołnierzy czolowych w kształcie czteroramiennej rozety**. Numer decyzji: DP.P.396593.6.kwal z dnia 17.04.2015.  
3. Pater Z., Gontarz A., Tomczak J.: **Sposób wytwarzania kołnierzy czolowych w kształcie dwuramiennej rozety**. Numer decyzji: DP.P.396595.7.kwal z dnia 17.04.2015.  
4. Pater Z., Gontarz A., Tomczak J.: **Sposób wytwarzania kołnierzy czolowych w kształcie trójramiennej rozety**. Numer decyzji: DP.P.396596.6.kwal z dnia 17.04.2015.

#### Wnioski Conclusions

- Na podstawie badań teoretyczno-doświadczalnych stwierdzono, że możliwe jest zastosowanie walcowania poprzeczno-klinowego do produkcji wyrobów osiowosymetrycznych (pełnych i drażnionych) ze stopów aluminium. Ocenia się, że w zakresie prostych kształtów technologia osiągnęła 7-8 poziom gotowości.
- Możliwa jest produkcja wyrobów o dużej różnicy średnic na poszczególnych stopniach wyrobu. W takich przypadkach niezbędne jest indywidualne podejście do projektowania procesu w zależności od stopnia skomplikowania kształtu i gatunku stopu aluminium.
- W przypadku produkcji odłuków drażnionych o małych grubościach ścianek rekomenduje się wykorzystanie technologii obciskania obrotowego, w której wyrób kształtowany jest trzema narzędziami, co eliminuje owalizację kształtowanych odłuków.
- Uzyskane w procesie walcowania poprzeczno - klinowego przedłuki ze stopu aluminium wykorzystane zostaną do kucia matrycowego odłuki dźwigni w warunkach przemysłowych. Zastosowanie przedłuków zmniejszy zużycie materiału i pracochłonność procesu.
- Kształtowane w podobny sposób przedłuki ze stopu tytanu wykazują w środkowej części duże przewężenie. Przedłuki tego typu mogą być kształtowane w procesie wzdłużnego walcowania kuzniczego.
- Kształtowane plastycznie wspomaganie dodatkowym naprężeniem stycznym wpływa na poprawę efektywności likwidacji nieciągłości materiałowych. Procesy tego typu mogą być wykorzystane m.in. do konsolidacji materiałów porowatych oraz do wstępnego przerobu odlewanych w sadowych, przeznaczonych do dalszej przeróbki plastycznej.
- Wyniki prowadzonych badań są gromadzone w opracowanej bazie danych, która będzie dostępna komercyjnie.

- It was found, based on the conducted experiments and simulations, that it is possible to apply cross-wedge rolling for manufacturing of both solid and hollow axisymmetric aluminum alloy products. It is estimated that 7th or even 8th technology readiness level (TRL) has been reached for producing simple-shaped parts by this technology.
- It is feasible to produce stepped parts with large diameter difference between consecutive steps. Such cases need individual approach for process design according to shape complexity and aluminum alloy grade.
- It is recommended for hollow forgings with small wall thickness to be produced by rotary compression. A product is formed by three dies in this technology. Such solution eliminates ovalization of forgings.
- Aluminum alloy preforms, obtained by cross-wedge rolling, will be used for forging a lever in the industrial conditions. Application of preforms will cut down material and labour costs.
- Titanium alloy preforms, obtained by cross-wedge rolling, exhibit intensive necking. It was found they can be obtained in roll forging process.
- Forming aided by additional shear stress can be used for consolidation of porous materials or primary forming of cast materials for subsequent metal forming processes.
- The results of conducted research are successively collected in the developed database. The database will be commercialized.