

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

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

Politechnika Częstochowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Instytut Lotnictwa

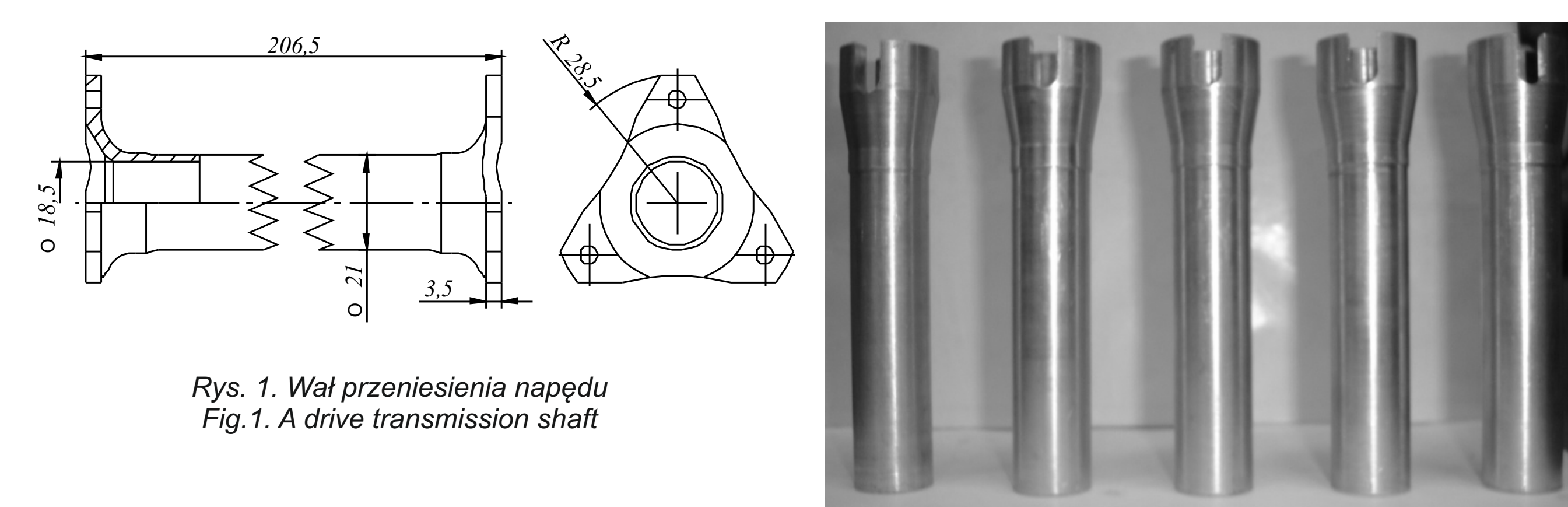
Wyniki badań Research results

Badania procesu wywijania kołnierza w kształcie rozety trójkątnej we wsadzie rurowym ze stopu aluminium 2618A

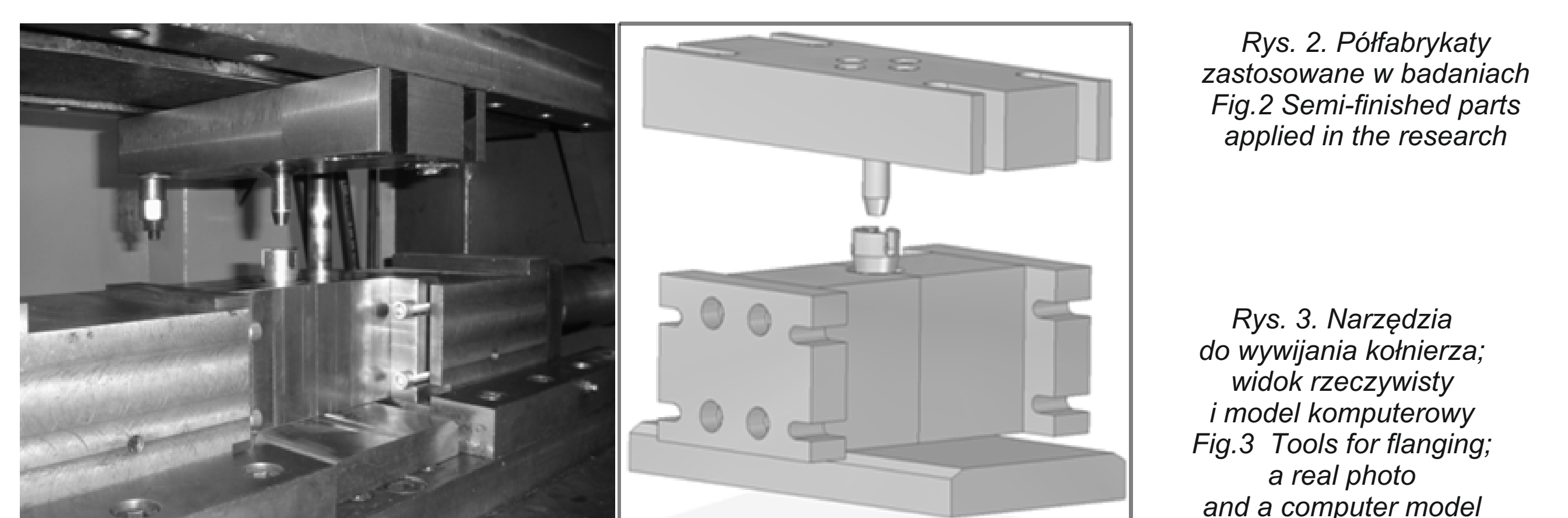
Study on flanging of a triangular flange in the 2618A aluminium alloy pipe

W ramach zadania przeprowadzono badania teoretyczno-doświadczalne nowego, zastrzeżonego patentem, procesu kształtowania kołnierza w kształcie rozety trójkątnej. Technologia ta opracowana została na potrzeby wytwarzania wału przeniesienia napędu (rys.1) stosowanego w budowie śmigłowców (rys. 12) i zweryfikowana na stopie aluminium 2618A. Metoda polega na kształtowaniu kołnierza przez rozpychanie wsadu drążonego w matrycach dzielonych. Wsadory oraz narzędzia służące do realizacji procesu przedstawiono na rys. 2 i 3. Kołnierze uzyskane w wyniku badań doświadczalnych przedstawione zostały na rys. 4. Otrzymane wyroby charakteryzują się wysoką powtarzalnością wymiarów oraz kształtu.

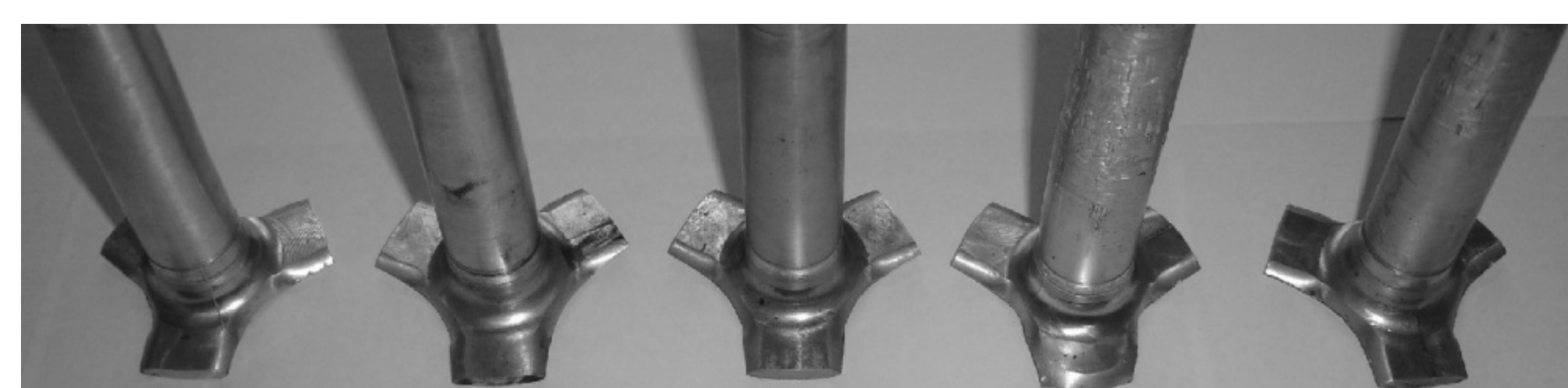
Within the scope of the task, theoretical-experimental research were conducted on a new, conditioned by patent, process of forming a flange in the shape of triangular rosette. This technology was worked out for the drive transmission shaft manufacturing needs (Fig. 1), applied in a helicopter design (Fig. 12) and verified on aluminum alloy 2618A. This flange forming method is based on expanding a hollow billet in split dies. Billets and tools used in the process are shown in Figs. 2 and 3. Flanges obtained in the experiments are presented in Fig.4. The obtained products are characterized by high recurrence of dimensions and shapes.



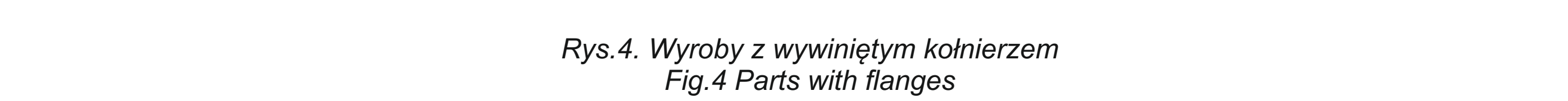
Rys. 1. Wał przeniesienia napędu
Fig. 1. A drive transmission shaft



Rys. 2. Półfabrykaty zastosowane w badaniach
Fig. 2. Semi-finished parts applied in the research



Rys. 3. Narzędzia do wywijania kołnierza; widok rzeczywisty i model komputerowy
Fig. 3. Tools for flanging; a real photo and a computer model



Rys. 4. Wyroby z wywijonym kołnierzem
Fig. 4. Parts with flanges

Badania procesu kształtowania wałka wejściowego przekładni głównej śmigłowca metodą obciskania obrotowego

Study on forming of a helicopter's final gear entrance shaft by means of rotary compression method

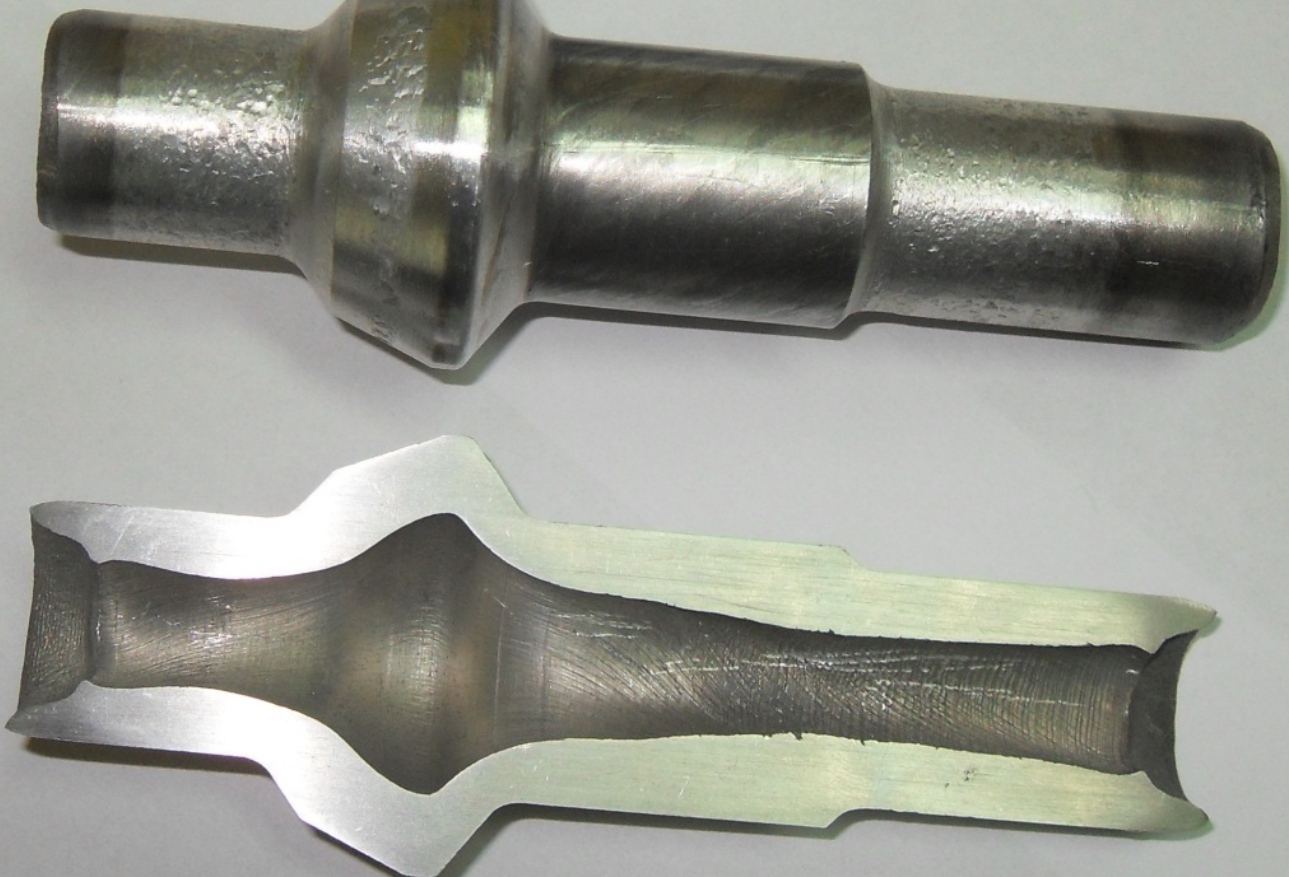
W ramach prowadzonych prac badawczych wykonano próby doświadczalne obciskania obrotowego odcuwki wałka wejściowego przekładni głównej śmigłowca (rys.13). Badania prowadzono dla odcuwki wałka wykonanej ze stopu tytanu Ti-6Al-4V (Grade 5). Przyjęto następujące parametry realizacji procesu: temperatura początku obciskania 970°C, prędkość liniowa narzędzi $v = 4$ mm/s oraz prędkość obrotowa narzędzi $n = 36$ obr/min. Parametry te zapewniły uzyskanie wyrobu o dobrej jakości (rys. 5). Przy wyższej temperaturze obciskania (1050°C) zaobserwowano pojawienie się pęknięć w obszarze promienia przejściowego pomiędzy stopniami wałka (rys. 6). Badania przeprowadzono również dla wsadów ze stopu aluminium 2618A. Zastosowanie odpowiednich parametrów procesu pozwoliło uzyskać prawidłowy wyrób (rys. 7).

Within the conducted research, experimental trials of rotary compression of a helicopter's final gear entrance shaft (Fig.13) were performed. The shaft forgings made of Ti6Al4V (Grade 5) titanium alloy were produced. The following parameters of the process were assumed: initial temperature of rotary compression 970°C, tools linear velocity $v = 4$ mm/s and tools rotary velocity $n = 36$ rpm. These parameters guaranteed obtaining parts of a good quality (Fig.5). At larger rotary compression temperature (1050°C) the appearance of cracking in the area of transient radius between the shaft steps was observed (Fig.6). Experiments were also conducted for billets made of 2618A aluminum alloy. The application of appropriate process parameters allowed for obtaining of proper products (Fig.7).



Rys. 5. Prawidłowa odcuwka wałka ze stopu tytanu Ti-6Al-4V (Grade 5)
Fig. 5. A correct forging made of Ti6Al4V (Grade 5) titanium alloy

Rys. 6. Odcuwka wadliwa (z widocznym pęknięciem) ze stopu tytanu Ti6Al4V (Grade 5)
Fig. 6. A faulty forging (with visible cracking) made of Ti6Al4V (Grade 5) titanium alloy



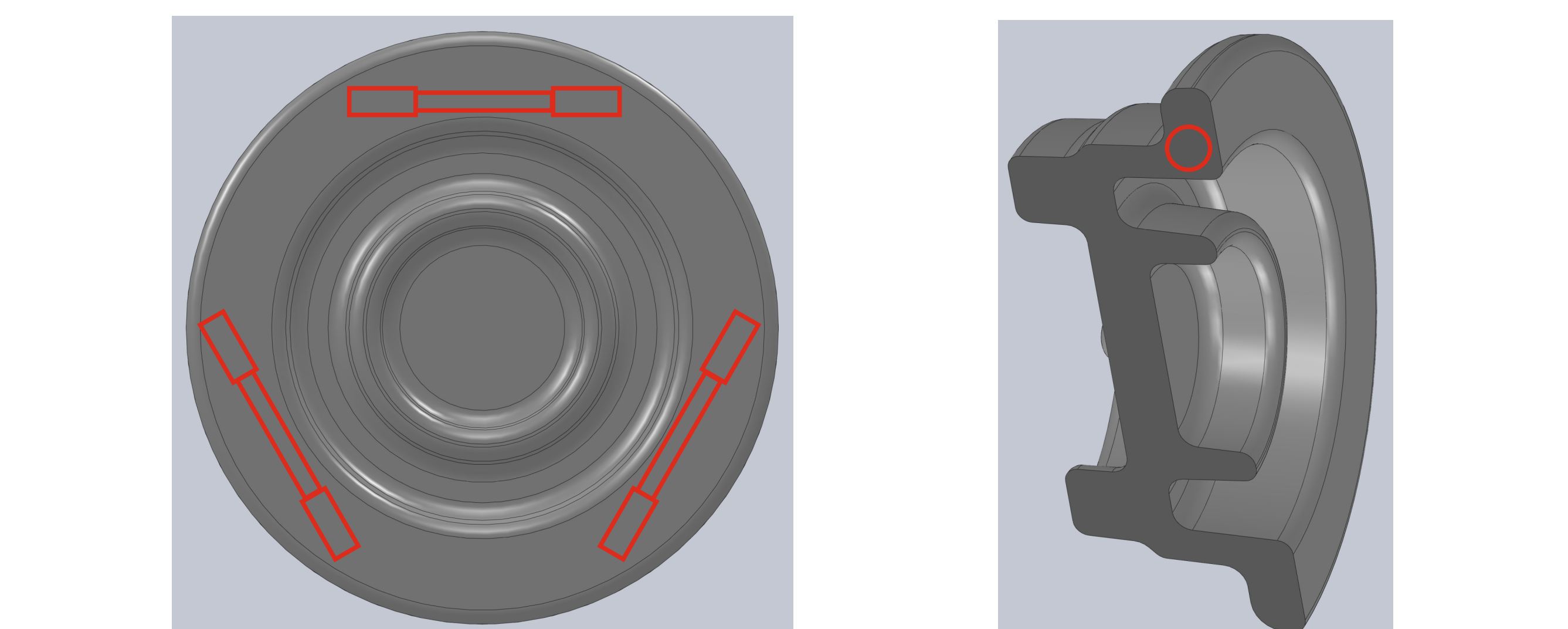
Rys. 7. Kształt gotowego elementu (u góry) oraz odcuwki pełnej i jej przekroju osiowego (stop aluminium 2618A)
Fig. 7. A shape of the finished part (up), a complete forging and its axial section (2618A aluminium alloy)

Badania właściwości mechanicznych odcuwek piast koła

Study on the mechanical properties of wheel hub forgings

Przeprowadzono badania właściwości mechanicznych odcuwek piast koła ze stopu aluminium 2017 oraz stopu tytanu Ti-6Al-4V (Grade 5). Miejsce pobrania próbek zaznaczono na rys. 8. Wyniki prób rozciągania (tab.1) wskazują, że właściwości odcuwek przekraczają wymagane minimalne wartości dla badanych stopów. Kucie zapewnia również zachowanie ciągłości włókien (rys.9), co przyczynia się do zwiększenia trwałości piast.

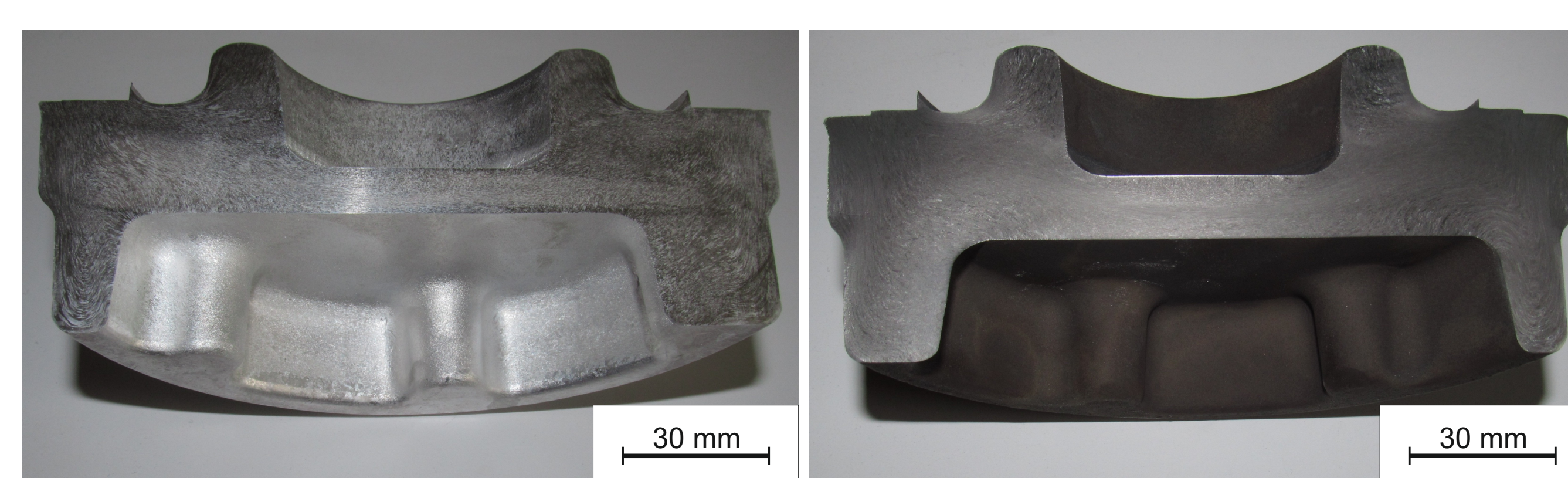
The mechanical properties of wheel hub forgings made of 2017 aluminium alloy and Ti-6Al-4V (Grade 5) were determined. The samples were taken from the areas shown in Fig. 8. The tensile test results (Tab.1) suggest that obtained properties are higher than the required minimal values for the analysed alloys. Forging assures also preserving favourable, uninterrupted grain structure (Fig.9) what improves the wheel hub endurance.



Rys. 8. Miejsca pobrania próbek do badania własności mechanicznych odcuwek piast kół lotniczych
Fig. 8. The areas where samples were taken for determination of mechanical properties of aircraft wheel hub forgings

Tablica 1. Wyniki prób rozciągania próbek wyciętych z odcuwek piast
Table 1. The results of tensile test conducted on the samples cut out of wheel hub forgings

Material / Material	$R_{m,0.2}$, MPa	R_{m} , MPa	A_5 , %
2017 (kuty / as forged)	293	410	17
Grade 5 (kuty / as forged)	910	927	11.5
Grade 5 (wyżarzony / annealed)	850	930	13.8
wymagane/required minimum - 2017	240	350	13
wymagane/required minimum - Grade5	828	895	10



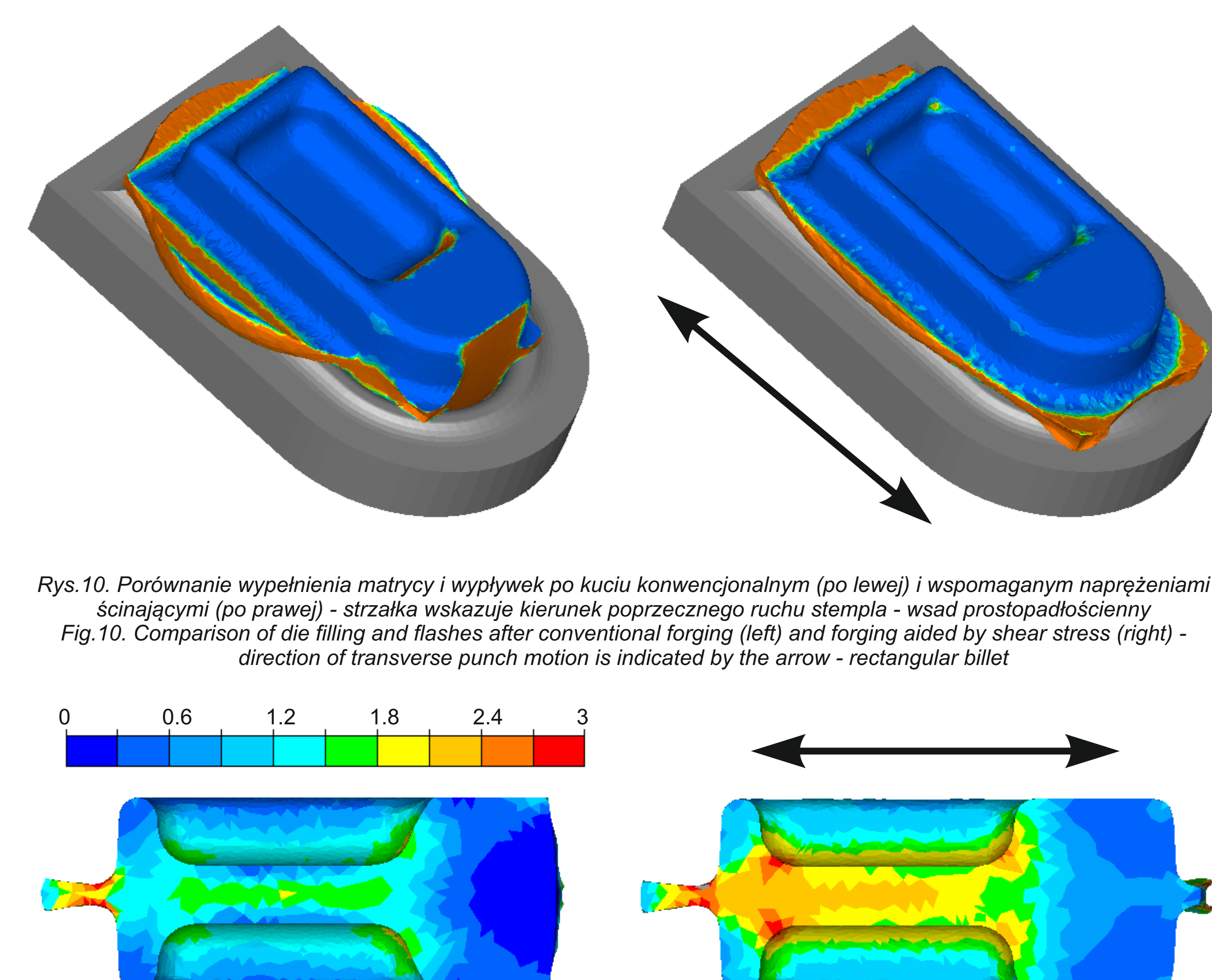
Rys. 9. Przebieg włókien w aluminiowej (po lewej) i tytanowej (po prawej) odcuwce na osiowym przekroju poprzecznym
Fig. 9. Grain structure in aluminum (right) and titanium (left) forging on the axial cross-section

Badania wpływu dodatkowego naprężenia stycznego na płynięcie materiału podczas kucia matrycowego

Study on the effects of additional shear stress induction on a material flow during closed-die forging

Przeprowadzono analizę numeryczną w celu sprawdzenia wpływu dodatkowego naprężenia stycznego (uzyskanego dzięki wprowadzeniu cyklicznego, poprzecznego ruchu matrycy podczas kucia) na płynięcie materiału podczas kucia matrycowego modelowej odcuwki, posiadającej cechy geometryczne dźwigni stosowanych w maszynach latających. Wyniki badań wskazują na możliwość zmniejszenia strat materiałowych (rys.10) oraz istotnego zwiększenia odkształcenia w odcuwce (rys.11).

A numerical analysis was performed in order to study the effects of additional shear stress (induced by cyclic, transverse motion of a die) on a material flow during closed-die forging. A model workpiece exhibited some geometric features of levers used in the aircraft. The results suggest that it is possible to reduce the material usage (Fig.10) and the significant increase of local strains (Fig.11).



Rys. 10. Porównanie wypełnienia matrycy i wypływu po kuciu konwencjonalnym (po lewej) i wspomaganym naprężeniami ścinającymi (po prawej) - strzałka wskazuje kierunek poprzecznego ruchu stempla - wsad prostopadłościenny
Fig. 10. Comparison of the die filling and flashes after conventional forging (left) and forging aided by shear stress (right) - direction of transverse punch motion is indicated by the arrow - rectangular billet

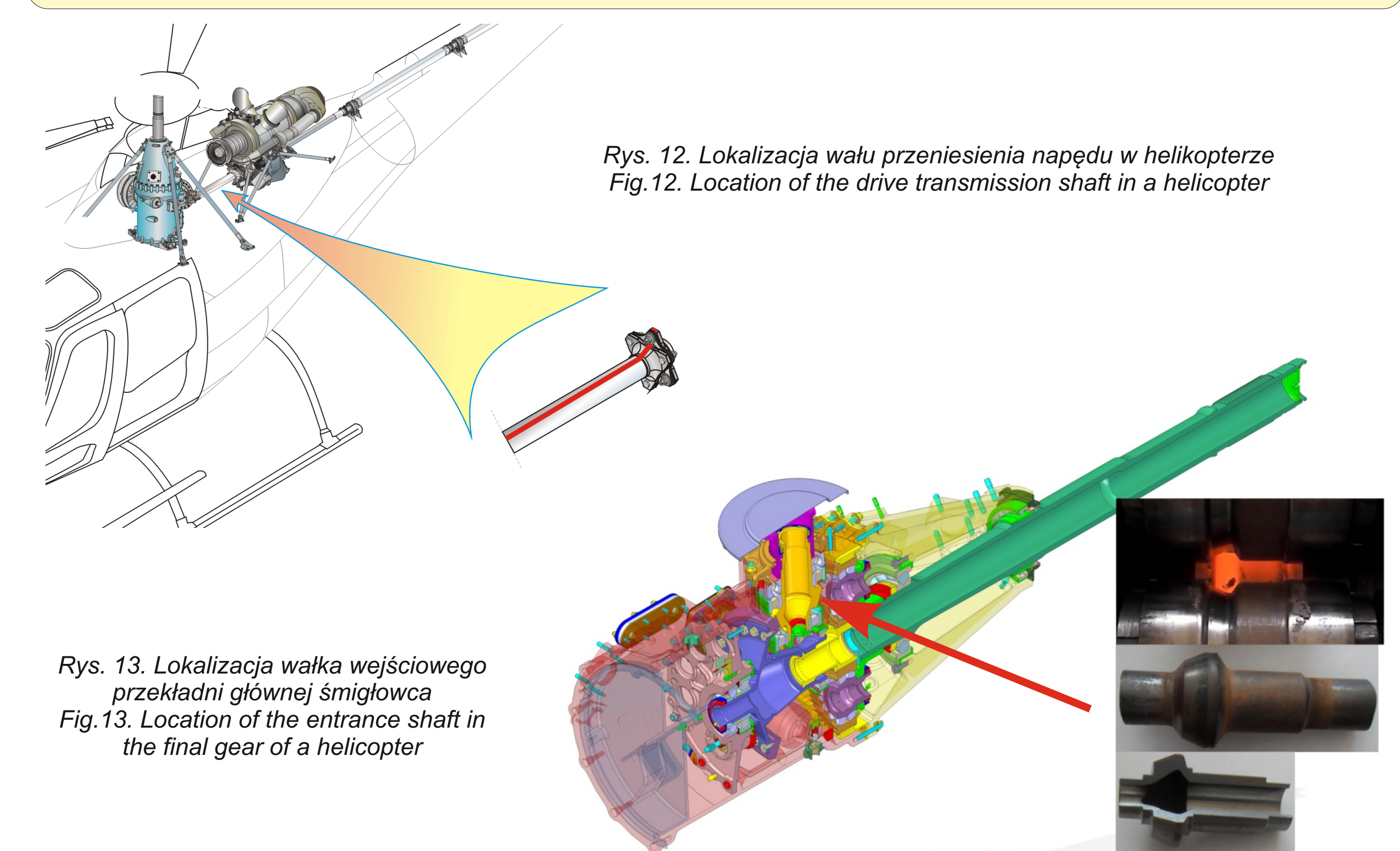
Rys. 11. Porównanie rozkładów odkształcenia w odcuwce po kuciu konwencjonalnym (po lewej) i wspomaganym dodatkowymi naprężeniami stycznymi (po prawej) - strzałka wskazuje kierunek poprzecznego ruchu matrycy
Fig. 11. Comparison of strain distributions in a workpiece after conventional forging (left) and forging aided by shear stress (right) - direction of transverse die motion is indicated by the arrow

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

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

PZL Mielec
Ustalanie części samolotów i helikopterów, które mogą być wykonywane w procesach segmentowego kształtowania plastycznego.
Selection of the aircraft parts which can be produced by incremental forming.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Rys. 12. Lokalizacja wału przeniesienia napędu w helikopterze
Fig. 12. Location of the drive transmission shaft in a helicopter

Rys. 13. Lokalizacja wałka wejściowego przekładni głównej śmigłowca
Fig. 13. Location of the entrance shaft in the final gear of a helicopter

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty / Conference papers

1. Tkocz M., Grosman F., Hadasik E., Kuc D., Rodak K.: **Selected metal forming methods for obtaining ultrafine-grained microstructure**. 3rd Nanoteam Workshop, 6-8.02.2014, Ostravice, Czech Republic.
2. Gontarz A., Winiarski G.: **Theoretical research on a new extrusion process with movable sleeve of flange on hollowed billets**, 4th World Conference on Innovation and Computer Science, 11-13.04.2014, Sapienza University, Faculty of Economics, Rome, Italy.
3. Tkocz M., Grosman F.: **The concepts and potential of bulk incremental forming methods**. OMD-2014 International Science & Technology Congress "The fundamental problems. Innovative Materials and Technologies", Moscow, 14-17.04.2014, 391-396
4. Tkocz M., Grosman F.: **The effect of process parameters on press load and material flow during incremental forming of ribbed parts**, Metal 2014, 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, 21.23.05.2014, Brno, Czech Republic.
5. Grosman F., Tkocz M.: **A study on closed-die forging aided by shear stress**. Metal 2014, 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, 21-23.05.2014, Brno, Czech Republic.

Publikacje / Publications

1. Gontarz A.: **Effective forming processes of hub forging from aluminum alloy AlCu2SiMn**. Key Engineering Materials, 2014, vol. 572, 265-268.
2. Samolyk G.: **Numerical investigation of producing a Ti6Al4V alloy jaw coupling sleeve-disk by orbital forging**. Metalurgija 2014, vol. 53, No. 4, 497-500.
3. Bulzak T., Tomczak J., Pater Z.: **Forming a lever preform made of aluminium alloy 2014**. Metalurgija 2014, vol. 53, No. 4, 505-508.
4. Bartnicki J.: **FEM analysis of hollow hub forming in rolling extrusion process**. Metalurgija 2014, vol. 53, No. 4, 641-644.
5. Samolyk G.: **Analiza numeryczna prasowania obwodniowego odcuwki drążonej typu tarcza z występami**. Rudy i Metale Nieżelazne, 2014, vol. 59, nr 4, 197-201.
6. Bartnicki J.: **Numerical analysis of feed rate influence on hollow hub shape during rolling extrusion process**. Key Engineering Materials, 2014, vol. 572, 323-326.
7. Winiarski G.: **Computer-aided analysis of a new process for flanging hollow parts**. Applied Computer Science, 2014, vol. 10, No. 1, 19-29.
8. Bartnicki J., Pater Z., Gontarz A., Tomczak J.: **Innovative metal forming technologies developed in Lublin University of Technology**. Journal of Machine Engineering, 2014, vol. 14, No. 1, 5-17.
9. Tkocz M., Grosman F.: **Application of incremental metal forming for production of aircraft integral panels**, Solid State Phenom., 212, 2014, 243-246.
10. Tkocz M., Cyganek Z., Grosman F.: **The potential and application areas of forging aided by shear stress**, Solid State Phenom., 212, 2014, 91-94.
11. Szyndler J., Madej L., Grosman F.: **Analiza numeryczna płynięcia materiału w obszarze pojedynczych kowadełek w procesie kucia segmentowego**. Hutnik - Wiadomości Hutnicze 2014, nr 1, 15-20.

Wnioski Conclusions

- Zaprezentowane metody kształtowania plastycznego wykazują duży potencjał w zakresie zastosowania w przemyśle lotniczym. Większość opracowywanych technologii ma charakter innowacyjny i jest zabezpieczona zgłoszeniami patentowymi.
- Prowadzone badania eksperymentalne i symulacyjne pozwalają na ustalenie najkorzystniejszych warunków prowadzenia analizowanych procesów kształtowania.
- Wykonano kilka demonstratorów wybranych elementów samolotów i śmigłowców.
- Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody wywijania kołnierza.
- Metodą obciskania obrotowego, przy zastosowaniu odpowiednich parametrów procesu, możliwe jest wytwarzanie wyrobów typu stopniowane wały drążone zarówno ze stopu tytanu Ti6Al4V (Grade 5), jak również ze stopu aluminium 2618A.
- Odcuwki piast kół, zarówno ze stopu tytanu jak i ze stopu aluminium, wykazują wymagane właściwości mechaniczne i korzystną strukturę.
- Kucie wspomagane dodatkowymi naprężeniami stycznymi może przyczyniać się do poprawy zarówno wykorzystania materiału, jak i właściwości użytkowych wyrobów.
- Presented forming processes exhibit a great application potential for the aerospace industry. The majority of developed technologies are innovative and are protected by patents.
- Conducted experiments and simulations enable to determine the most favourable conditions of the forming methods investigated.
- Demonstrators of the selected aircraft parts were prepared.
- The results of the conducted research confirmed the effectiveness of the proposed flanging method.
- Applying adequate parameters of rotary compression it is possible to manufacture hollow stepped shafts from both Ti6Al4V (Grade 5) titanium alloy and 2618A aluminium alloy.
- Wheel hub forgings, both made of titanium and aluminium alloys, exhibit required mechanical properties and advantageous grain structure.
- Forging aided by additional shear stress may contribute to the improvement of both material usage as well as functional properties of products.