

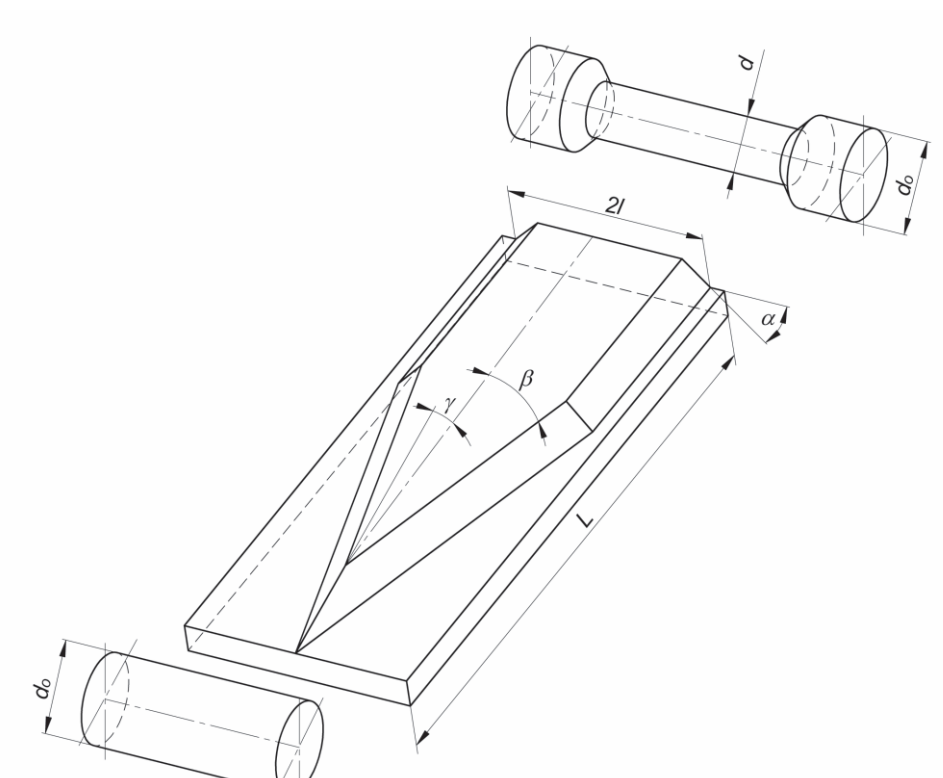
Plastyczne kształtowanie lotniczych stopów Al (w tym Al.-Li) oraz Ti

Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska, Politechnika Częstochowska

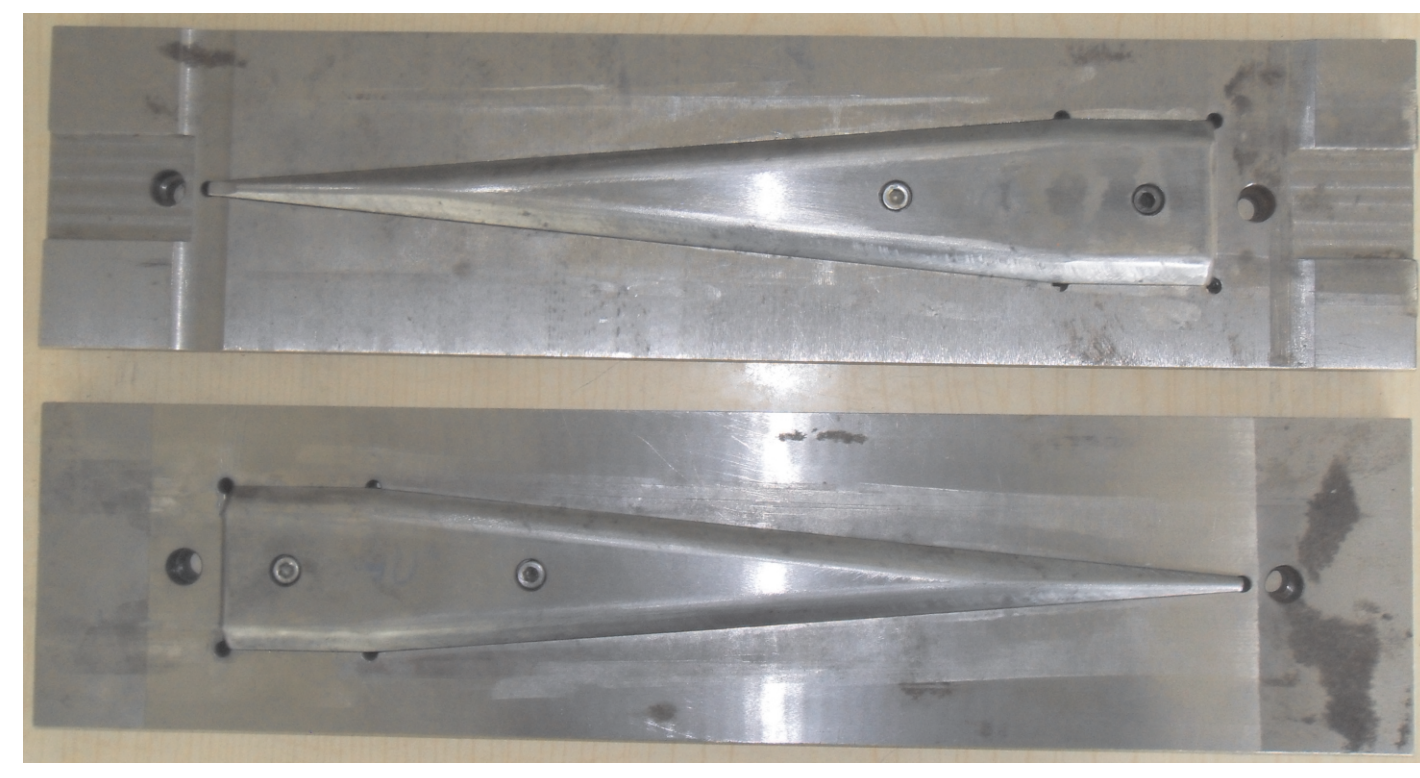
Wyniki badań

Badania doświadczalne procesu walcowania poprzeczno – klinowego odłuków i przedkuwek wydłużonych (pełnych) ze stopów aluminium

Celem zadania było określenie możliwości walcowania poprzeczno-klinowego wybranych stopów aluminium i określenia wpływu parametrów procesu na jego przebieg.



Rys. 1. Schemat procesu WPK, z zaznaczonymi głównymi parametrami geometrycznymi narzędzi i odłuki walcowanej



Rys. 2. Jeden z kompletów segmentów klinowych zastosowanych w badaniach

Badania doświadczalne realizowane wg następującego schematu:

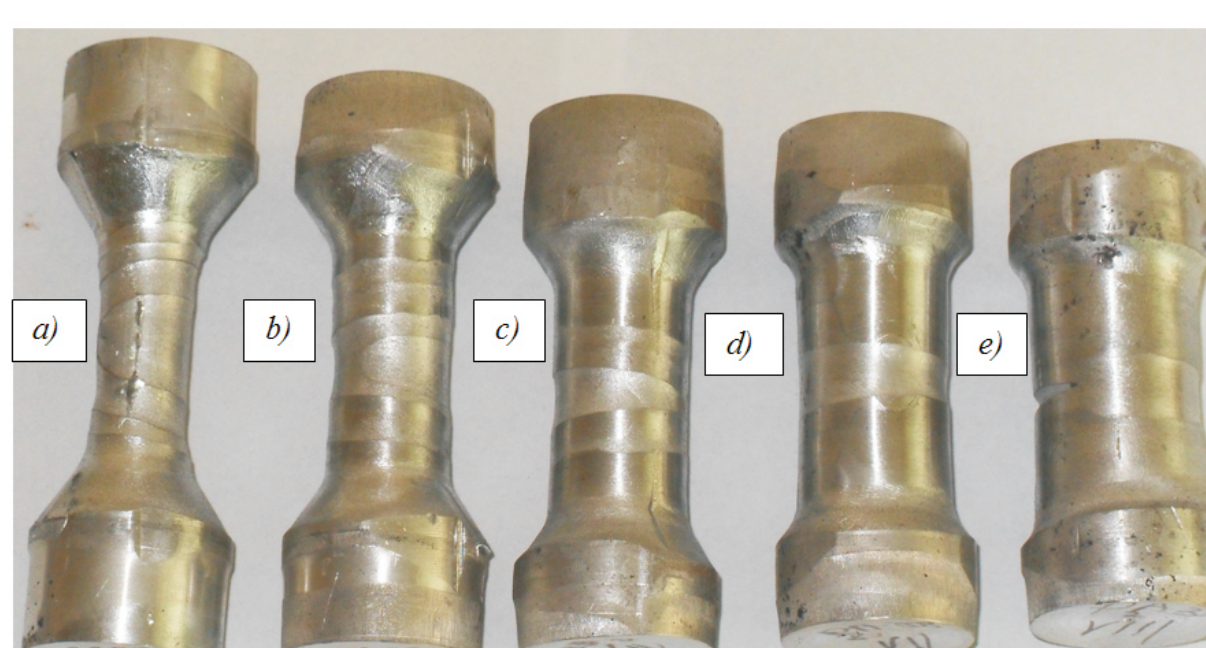
- nagrzanie półfabrykatów (wsadu) w piecu komorowym do temperatury 450 °C;
- umieszczenie wsadu w wybraniu wykonanym w oprawie na początku segmentu narzędziowego; kształtowanie odłuki za pomocą dwóch narzędzi klinowych poruszających się w przeciwnych kierunkach z prędkością $V = 0,125$ mm/s każdy;
- wyjecie odłuki z wybrania wykonanego w oprawie za segmentem klinowym;
- wycofanie narzędzi klinowych do położenia początkowego.

Tab. 1. Zestawienie parametrów geometrycznych narzędzi użytych do badań

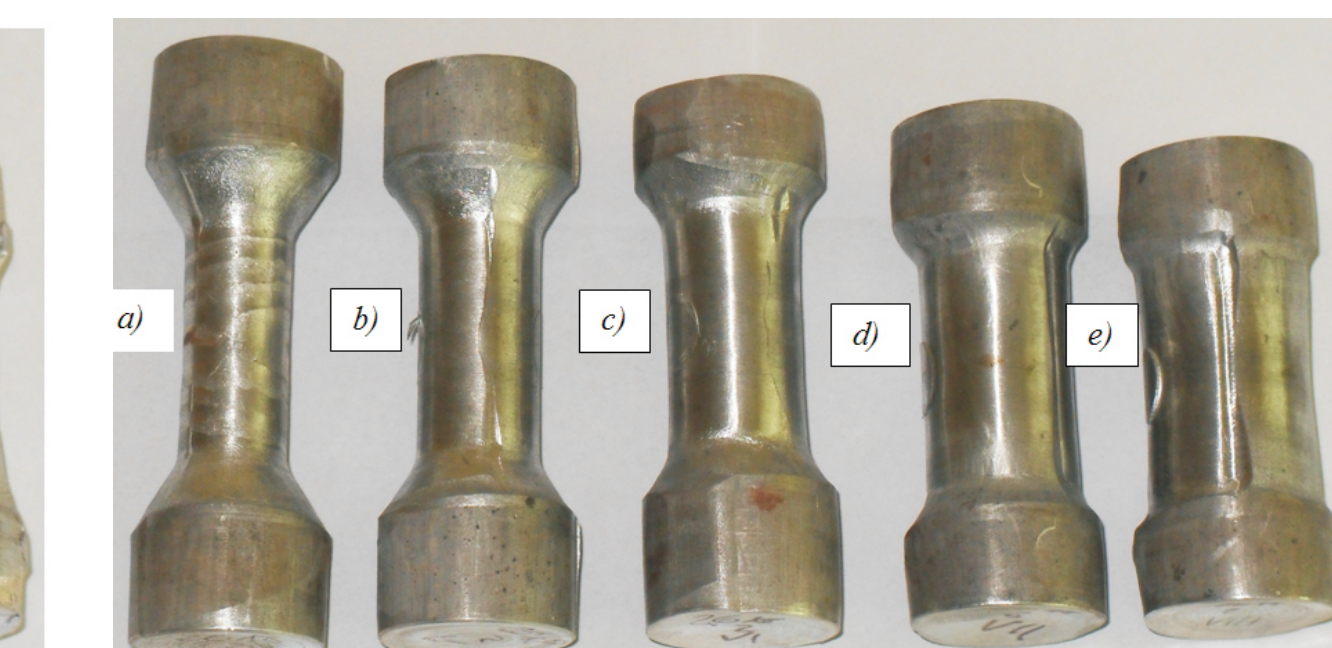
lp	Material	Kąt rozwarcia β [°]	Kąt kształtowania α [°]	Stożek gniotu δ	Srednica walcowanego stopnia d [mm]
1	PA38 2618A	5	25	1,875	16
2				1,5	20
3				1,25	24
4				1,87	16
5				1,67	18
6		5	32,5	1,5	20
7				1,36	22
8				1,25	24
9				1,875	16
10				1,5	20
11				1,25	24



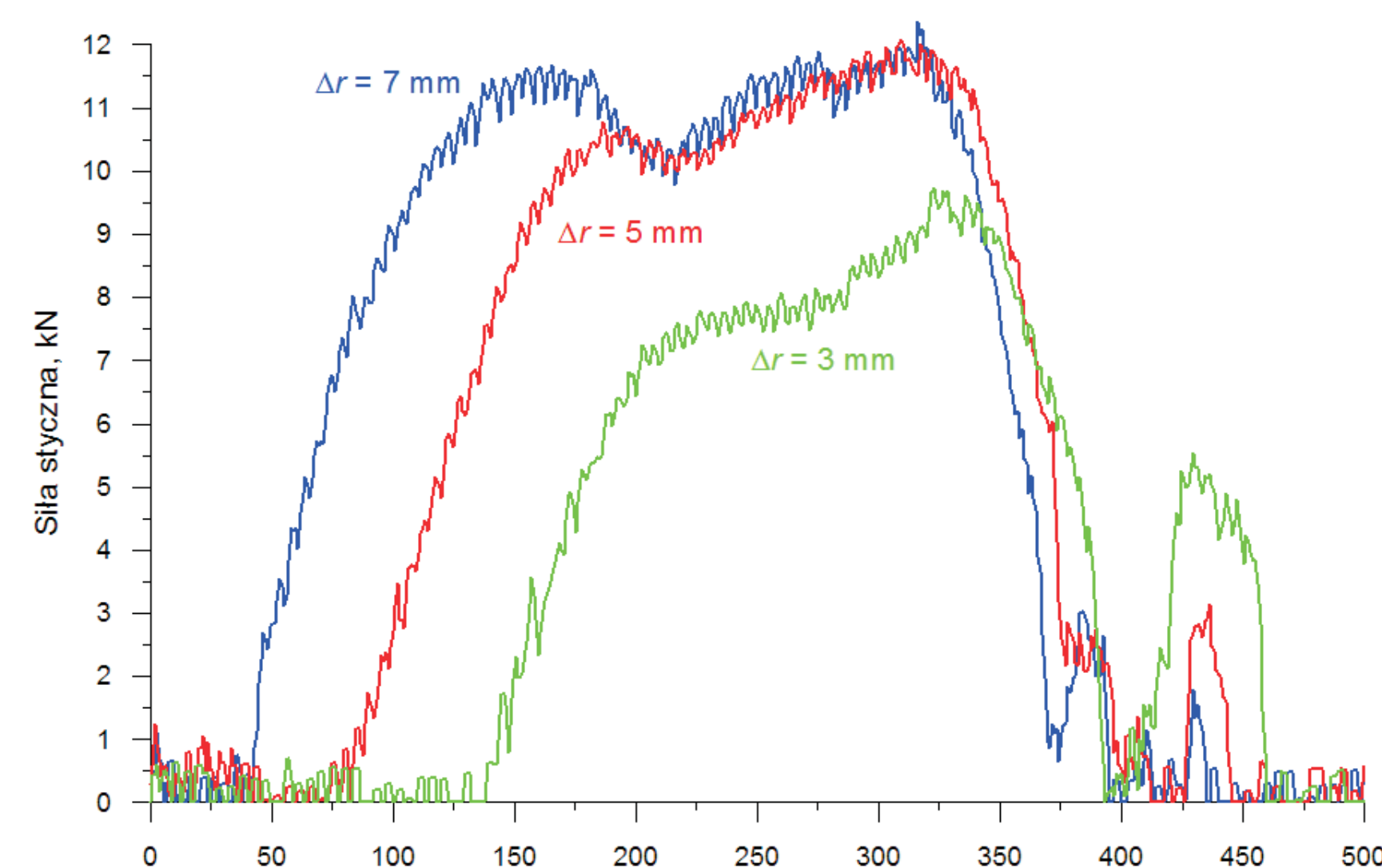
Rys. 3. Początek procesu WPK odłuki ze stopu PA38 (faza wcinania narzędzia)



Rys. 5. Przykładowe wyniki prób doświadczalnych - odłuki ze stopu PA38 odwalcowane w procesie WPK segmentami o parametrach $\alpha = 32,5^\circ$, $\beta = 5^\circ$ przy różnych wartościach stożka gniotu: a) $\delta = 1,875$, b) $\delta = 1,67$, c) $\delta = 1,5$, d) $\delta = 1,36$, e) $\delta = 1,25$



Rys. 4. Przykładowe wyniki prób doświadczalnych - odłuki ze stopu 2618A odwalcowane w procesie WPK segmentami o parametrach $\alpha = 32,5^\circ$, $\beta = 5^\circ$ przy różnych wartościach stożka gniotu: a) $\delta = 1,875$, b) $\delta = 1,67$, c) $\delta = 1,5$, d) $\delta = 1,36$, e) $\delta = 1,25$



Rys. 6. Przykładowe rozkłady sił kształtowania wyznaczone w trakcie WPK odłuki ze stopu PA38 realizowanego z różnymi wartościami stożka gniotu δ przy pozostałych parametrach: $\alpha = 25^\circ$, $T = 450^\circ\text{C}$, $v = 0,125$ m/s

Wnioski

Przeprowadzona analiza doświadczalna procesu WPK stopów aluminium pozwala sądzić, że może być on z powodzeniem stosowany do kształtowania zarówno przedkuwek ułatwiających wypełnienie wykoju w kolejnych operacjach kucia, jak i gotowych wyrobów typu stopniowe wałki, osie oraz odłuki osiowo – symetryczne, w których pozostawia się minimalne naddatki na obróbkę mechaniczną. Walcowanie poprzeczno-klinowe stopu 2618A, który charakteryzuje się wysokimi własnościami wytrzymałościowymi, dzięki czemu jest bardzo chętnie stosowany w przemyśle lotniczym pozwala na uzyskanie odłuków o wysokiej jakości. Natomiast odłuki kształtowane w procesie WPK ze stopu PA38 (bardziej plastycznego) ze względu na występujące śrubowe rowki na powierzchni kształtowanego przewężenia wymagają pozostawienia znacznie większych naddatków w przypadku wytwarzania wyrobów gotowych, lub walcowania ze znacznie mniejszymi stopniami gniotu. Jednak ze względu na obszar zastosowań stopu PA38, przede wszystkim na mało obciążone odłuki, proces WPK tego materiału może być z powodzeniem stosowany do kształtowania wszelkiego rodzaju przedkuwek, w których śrubowe wgłębienia na powierzchni nie mają większego wpływu na jakość gotowego wyrobu. Analizując geometrię kształtowanych odłuków można zauważyć, że duży wpływ na jakość i dokładność wyrobów mają takie parametry jak wartość stożka gniotu, kąty segmentów narzędziowych oraz rodzaj walcowanego materiału.

Analiza wartości sił zmierzonych podczas procesu WPK odłuków ze stopów aluminium wykazała, że zwiększenie wartości stożka gniotu δ powoduje wzrost sił kształtowania. Natomiast zwiększenie wartości kąta kształtowania α przynosi efekt odwrotny. Zaobserwowano również, że podczas walcowania stopu PA38 z większymi stopniami gniotu ($\delta > 1,25$) rozkład sił kształtowania ma inny charakter, co może świadczyć o pojawieniu się zakłóceń stabilności procesu w postaci przewężeń.

Powyższe spostrzeżenia odnotowane podczas badań eksperymentalnych oraz liczne zalety technik walcowania poprzeczno-klinowego pozwalają sądzić, że proces WPK stopów aluminium będzie się intensywnie rozwijał.

Badania doświadczalne procesu walcowania poprzeczno – klinowego odłuków i przedkuwek wydłużonych (pełnych) ze stopu tytanu Ti6Al4V

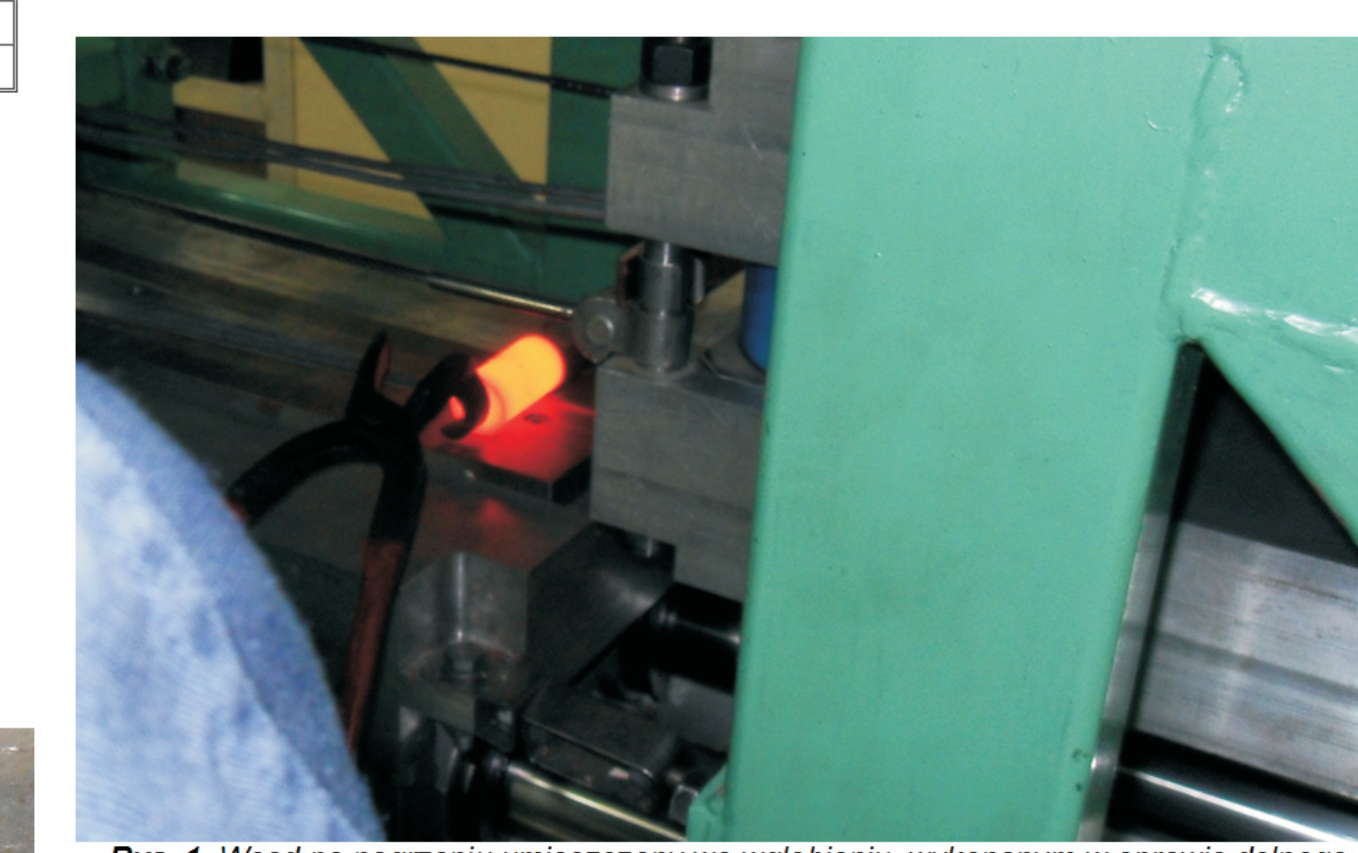
W celu potwierdzenia możliwości walcowania poprzeczno-klinowego stopu tytanu Ti6Al4V przeprowadzono szereg badań doświadczalnych walcowania tego stopu.

Tab. 1. Zestawienie parametrów geometrycznych narzędzi użytych do badań

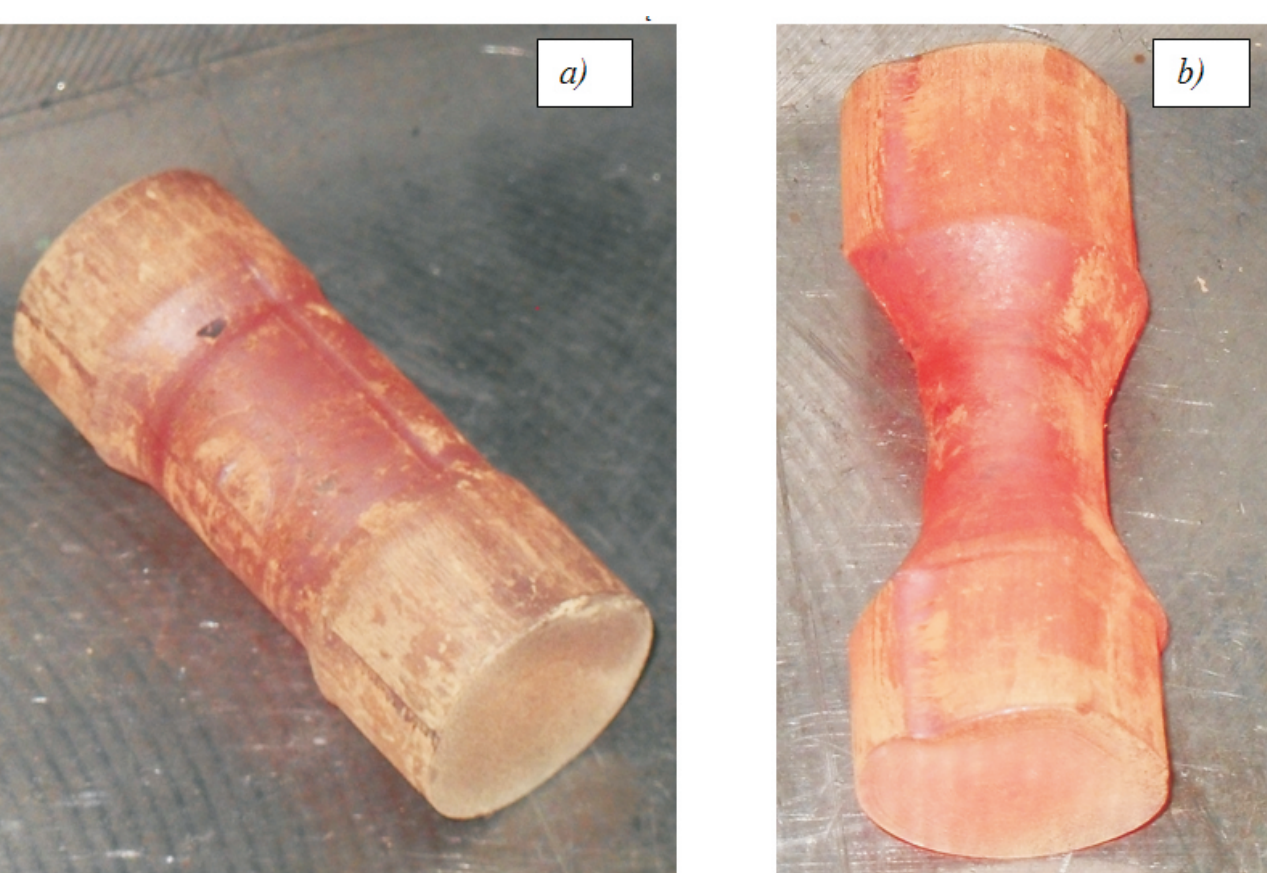
lp	Material	Kąt rozwarcia β [°]	Kąt kształtowania α [°]	Stożek gniotu δ	Srednica walcowanego stopnia d [mm]
1	Ti6Al4V	5	25	1,875	16
2				1,5	20
3				1,25	24
4				1,875	16
5				1,67	18
6		5	40	1,5	20
7				1,67	16
8				1,5	20
9				1,36	24

Tab. 2. Zestawienie wymiarów przekroju poprzecznego ukształtowanego stopnia w procesie WPK odłuki ze stopu tytanu

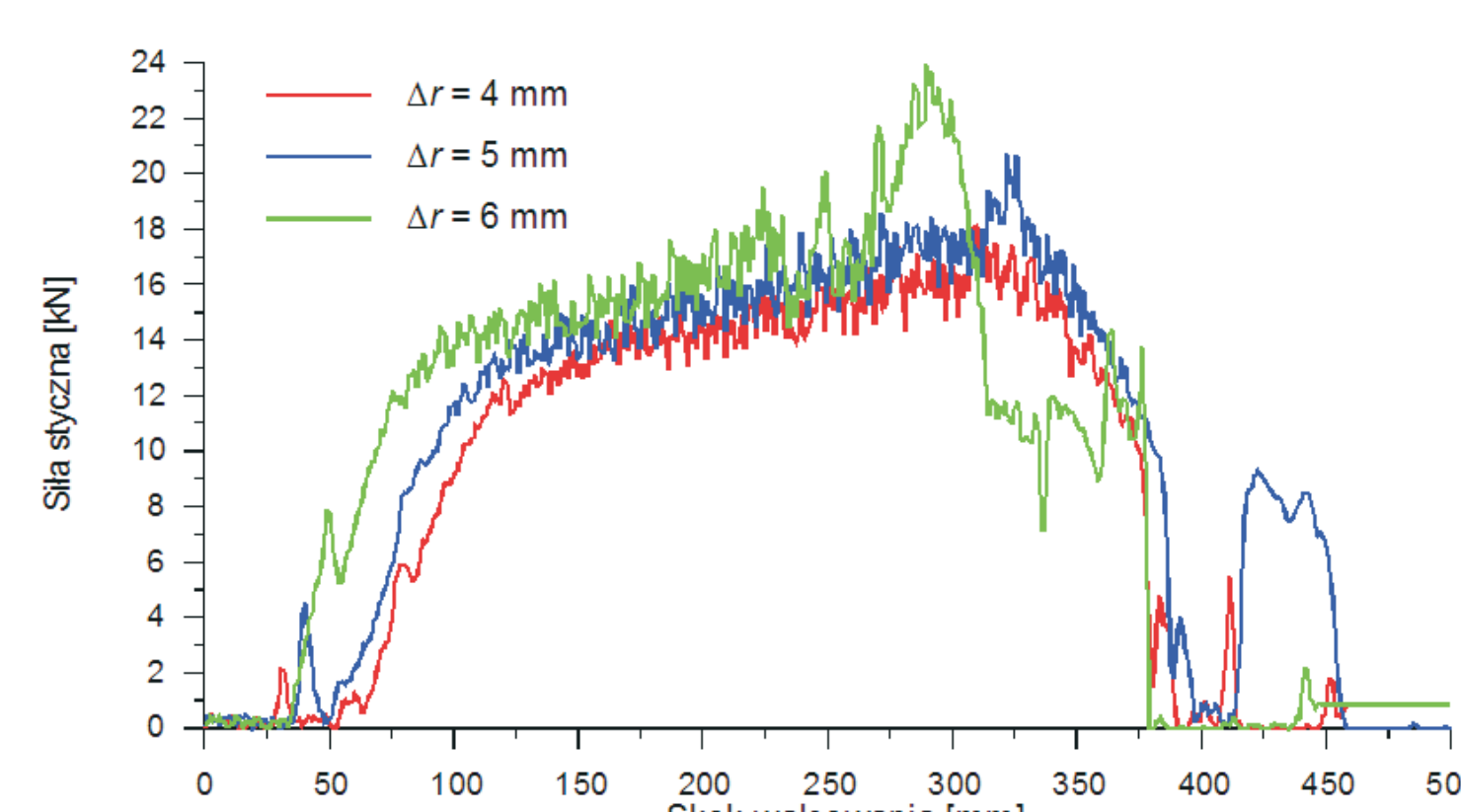
δ [°]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	α		
			25°	32,5°	40°
1,25	24	25,2	26,8	-	-
1,36	22	-	-	-	22,8
1,5	20	21,2	23,8	21	22,8
1,67	18	-	-	18,8	21,6
1,875	16	16	16	16	16



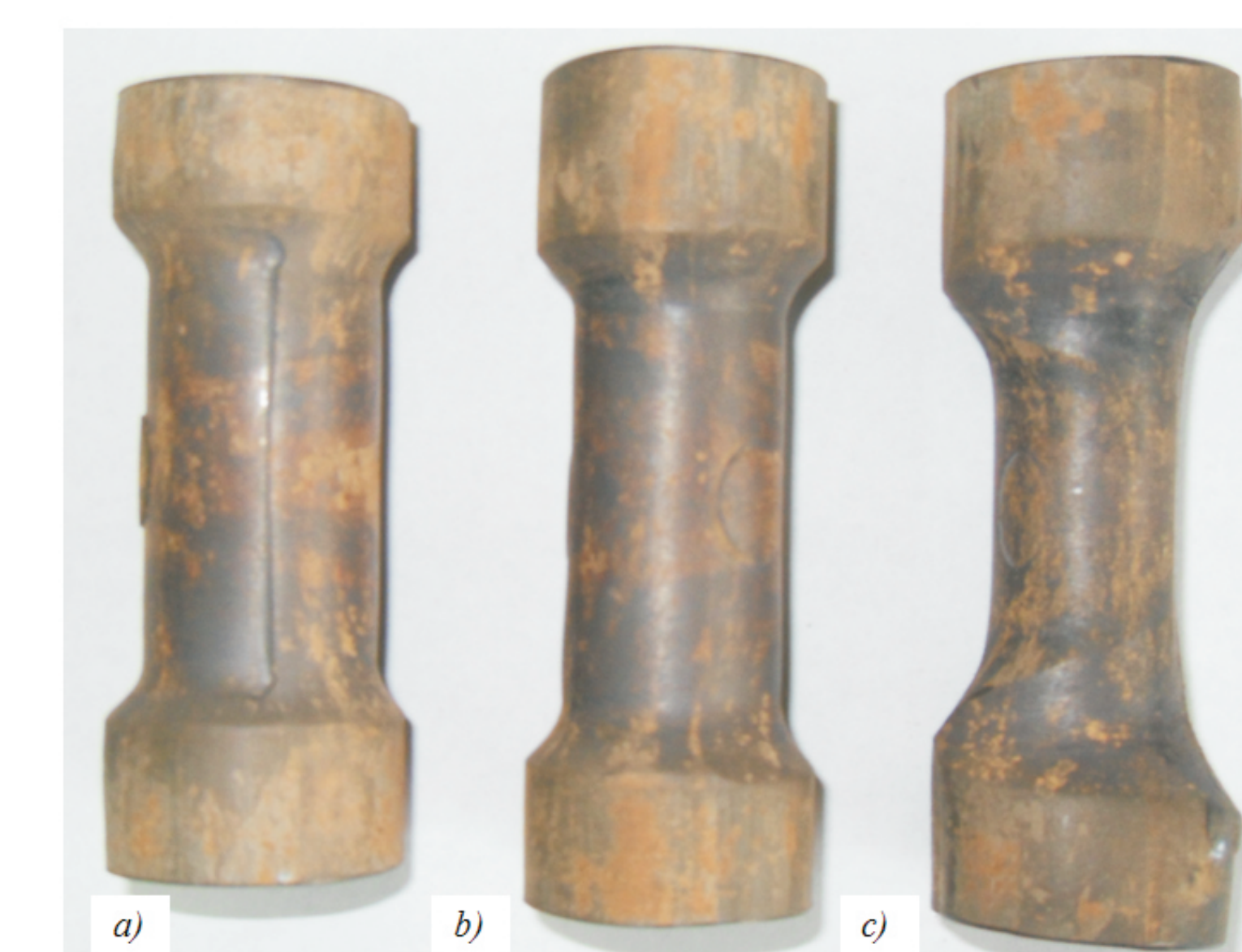
Rys. 1. Wsad po nagrzaniu umieszczony we wgłębieniu wykonanym w oprawie dołukowego narzędzia



Rys. 2. Przykładowe odłuki uzyskane podczas WPK ze stopu Ti6Al4V przy parametrach procesu: a) $\alpha = 25^\circ$, $\beta = 5^\circ$, $\delta = 1,25$; b) $\alpha = 25^\circ$, $\beta = 5^\circ$, $\delta = 1,875$



Rys. 19. Przykładowe rozkłady sił kształtowania wyznaczone w trakcie WPK odłuki ze stopu tytanu Ti6Al4V realizowanego z różnymi wartościami stożka gniotu δ przy pozostałych parametrach: $\alpha = 40^\circ$, $T = 960^\circ\text{C}$, $v = 0,125$ m/s



Rys. 3. Przykładowe odłuki ze stopu tytanu Ti6Al4V odwalcowane w procesie WPK segmentami o parametrach $\alpha = 40^\circ$, $\beta = 5^\circ$ przy różnych wartościach stożka gniotu: a) $\delta = 1,36$, b) $\delta = 1,5$, c) $\delta = 1,67$

Wnioski

Przeprowadzone badania doświadczalne potwierdzają możliwość kształtowania wyrobów osiowo-symetrycznych ze stopów tytanu metodą walcowania poprzeczno-klinowego. Próby walcowania zrealizowano dla stopu Ti6Al4V, który znajduje szerokie zastosowanie do produkcji elementów wykorzystywanych w przemyśle lotniczym. W trakcie eksperymentu analizowano przebieg procesu pod kątem jego stabilności oraz zjawisk ograniczających stosowanie metody WPK. W efekcie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- podczas walcowania z większymi stopniami gniotu $\delta \geq 1,67$ występuje utrata stabilności procesu w postaci zjawiska niekontrolowanego poślizgu, który prowadzi do deformacji wyrobu;
- utrata stabilności procesu w postaci niekontrolowanych poślizgów wywołuje nagły spadek siły stycznej;
- walcowanie poprzeczno – klinowe stopów tytanu przebiega przy dużym oporze odkształcenia plastycznego materiału, w związku z tym proces powinien być realizowany na sztywnych maszynach;
- powierzchnie prawidłowych wyrobów ze stopu tytanu ukształtowanych w procesie WPK charakteryzują się stosunkowo wysoką jakością i gładkością;
- wszelkie nieprawidłowości konstrukcyjne narzędzi przekładają się na jakość walcowanych wyrobów.

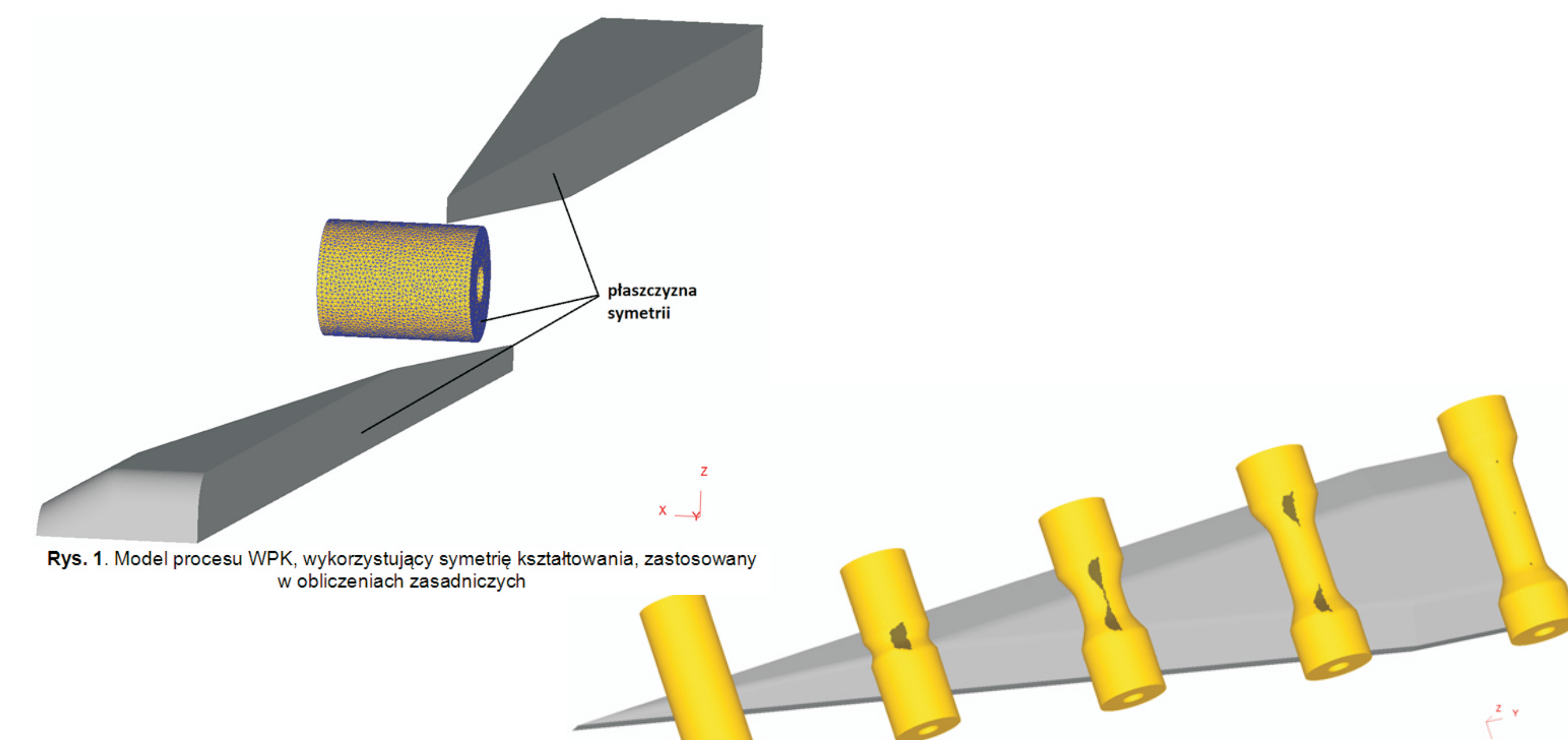
Przeprowadzona analiza doświadczalna procesu WPK stopu tytanu Ti6Al4V pozwala sądzić, że może być on stosowany do kształtowania zarówno przedkuwek, jak i gotowych wyrobów typu stopniowe wałki, osie oraz odłuki osiowo – symetryczne. Analiza geometrii ukształtowanych odłuków pozwala sądzić, że duży wpływ na jakość i dokładność wyrobów mają takie parametry jak wartość stożka gniotu, kąty segmentów narzędziowych oraz konstrukcja narzędzi.

W trakcie badań analizie poddano również parametry siłowe procesu WPK, których znajomość jest niezwykle ważna z technologicznego punktu widzenia. Zaobserwowano, że podczas wystąpienia zakłóceń stabilności procesu zmienia się charakter rozkładu sił kształtowania.

Otrzymane rezultaty badań mogą okazać się cenne dla krajowego i zagranicznego przemysłu. Wykorzystanie technik WPK do wytwarzania elementów ze stopów tytanu pozwoli znacząco zmniejszyć zużycie drogich materiałów, energii oraz obniżyć pracochłonność.

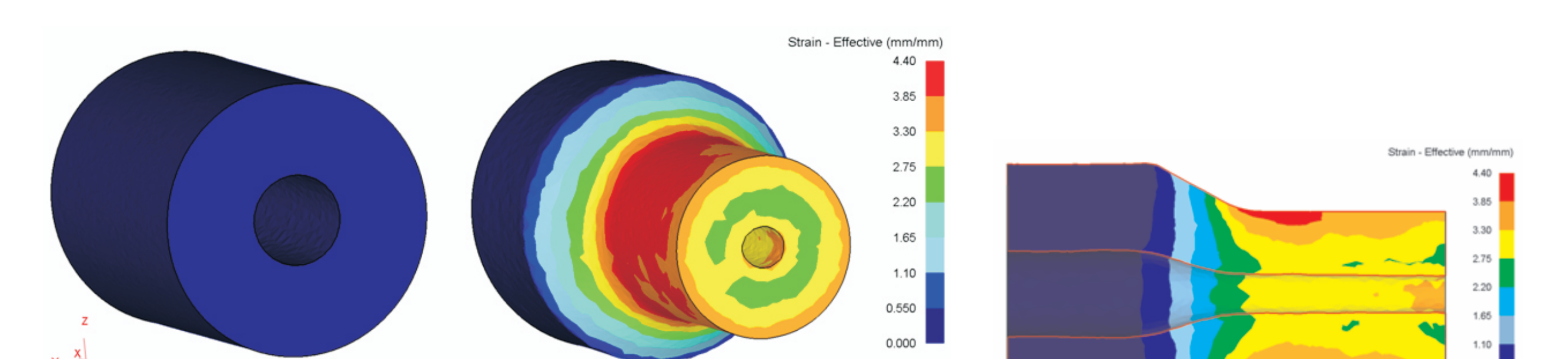
Analiza teoretyczna procesu walcowania poprzeczno-klinowego stopniowanych wałków drążonych ze stopu tytanu Ti6Al4V

W ramach zasadniczej analizy numerycznej rozważano przypadek walcowania klinami płaskimi, zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 1. Polega on na kształtowaniu dwoma jednakowymi klinami, poruszającymi się przeciwnie z taką samą prędkością $v = 0,125$ m/s. Ze względu na symetrię procesu w rozważaniach ograniczono się do zamodelowania 1/2 narzędzi i wsadu. Na podstawie symulacji numerycznych dokonano analizy rozkładu parametrów odkształcenia, grubości ścianki, składowych sił kształtowania oraz zjawisk ograniczających proces.

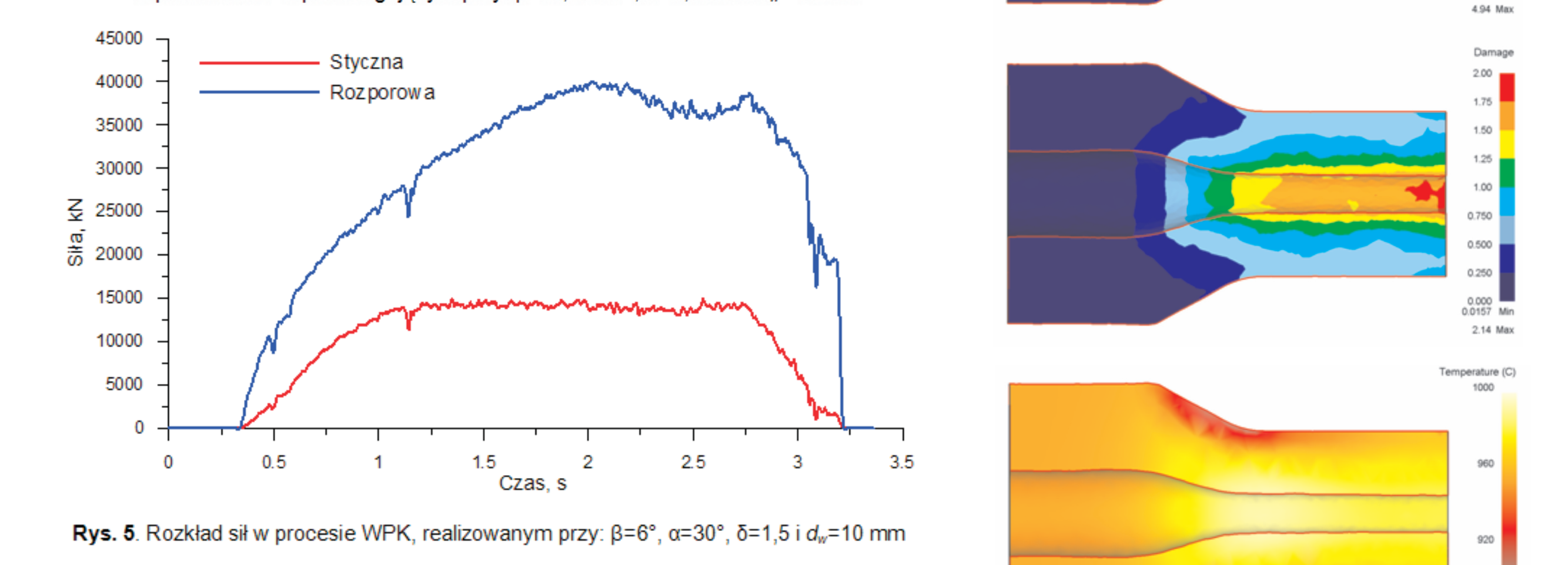


Rys. 1. Model procesu WPK, wykorzystujący symetrię kształtowania, zastosowany w obliczeniach zasadniczych

Rys. 2. Progresa kształtu, z zaznaczoną powierzchnią kontaktu materiał narzędzie, wyznaczona dla procesu WPK realizowanego przy: $\beta = 6^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,5$ oraz $d_0 = 10$ mm



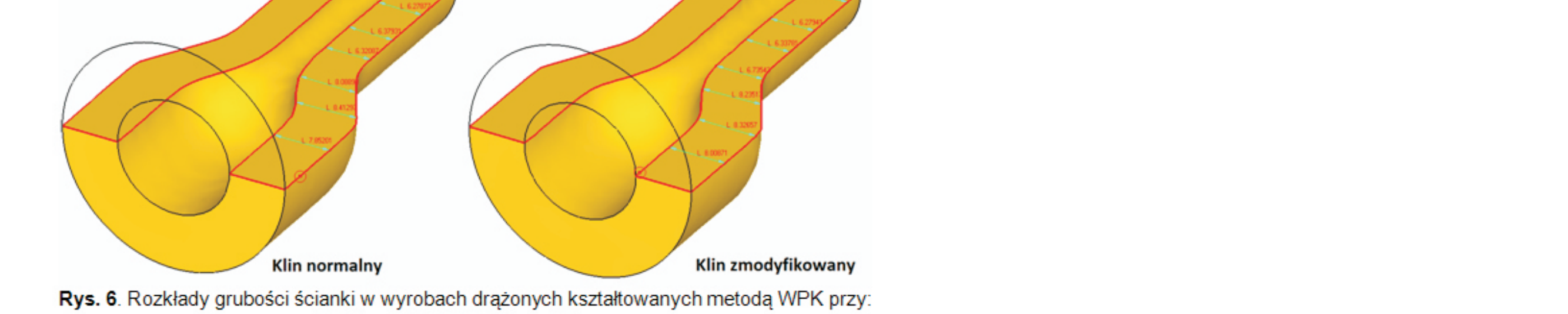
Rys. 3. Rozkład intensywności odkształcenia w przekroju poprzecznym odłuki otrzymanej w procesie WPK przebiegającym przy: $\beta = 6^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,5$ oraz $d_0 = 10$ mm



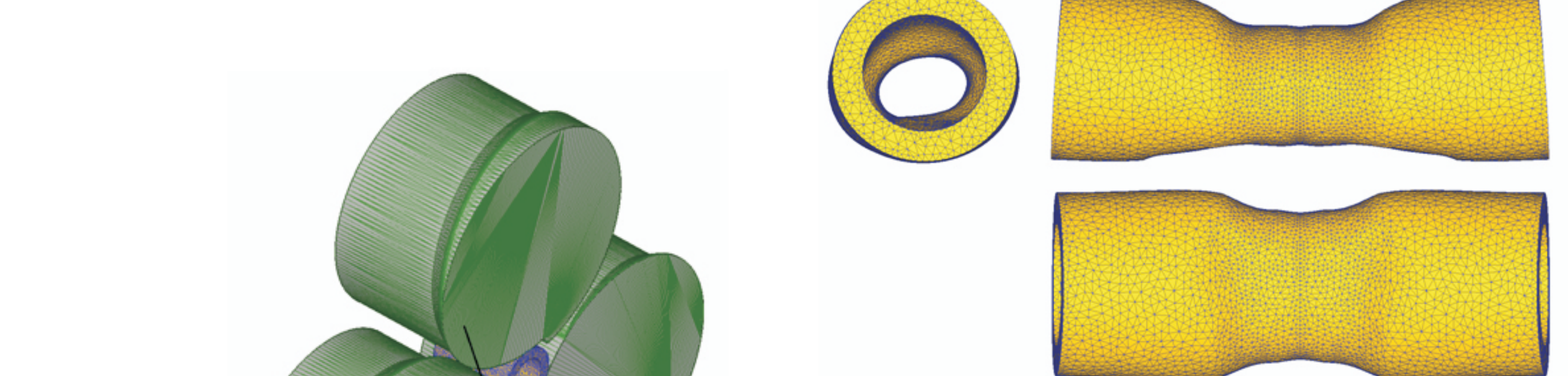
Rys. 5. Rozkład sił w procesie WPK, realizowanym przy: $\beta = 6^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,5$ oraz $d_0 = 10$ mm



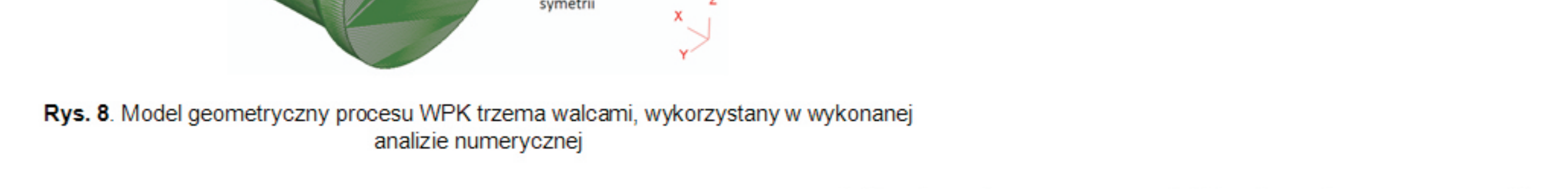
Rys. 4. Rozkład intensywności odkształcenia, kryterium zniszczenia i temperatury (począwszy od góry) w przekroju wzdłużnym odłuki otrzymanej w procesie WPK, realizowanym



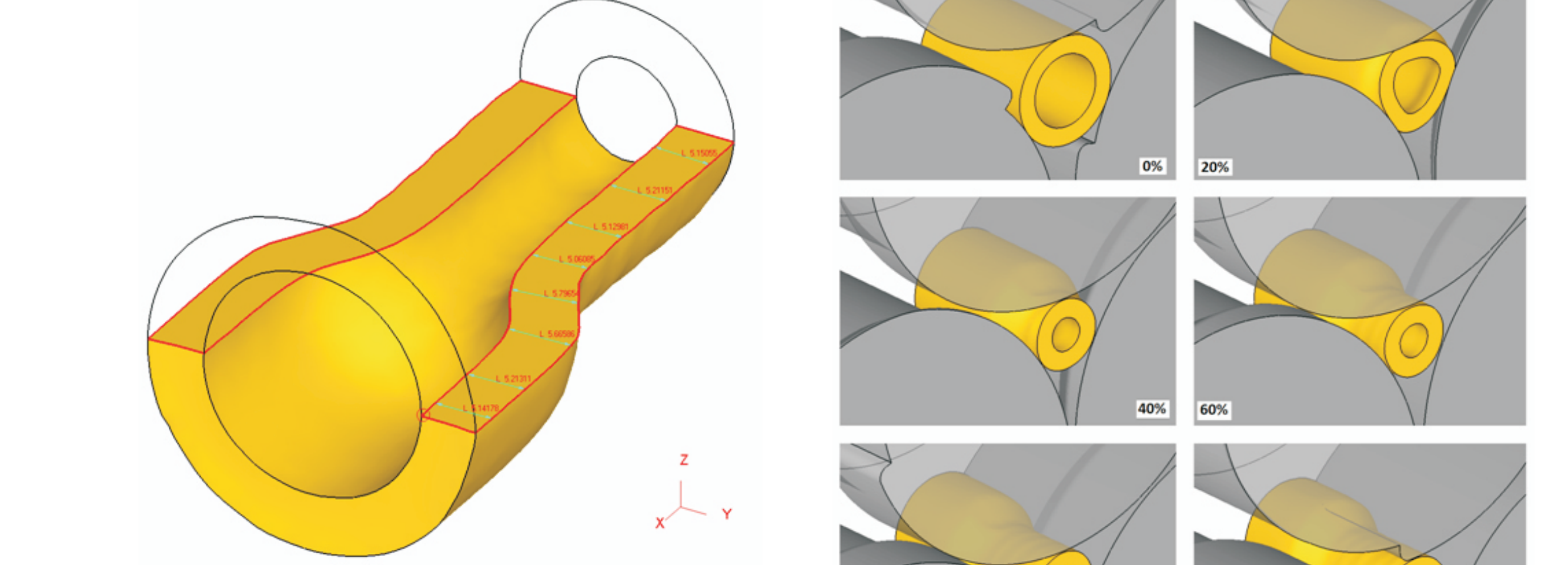
Rys. 6. Rozkłady grubości ścianki w wyrobach drążonych kształtowanych metodą WPK przy: $\beta = 6^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,667$ oraz $d_0 = 15$ mm



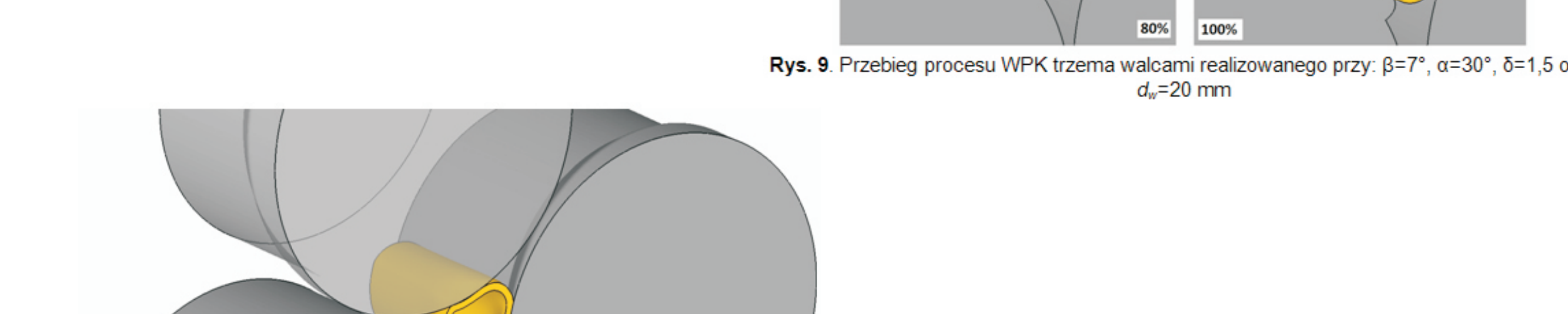
Rys. 7. Zniekształcenie odłuki w procesie WPK przy: $\beta = 6^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,364$ oraz $d_0 = 20$ mm. W przypadku kształtowania odłuki z wsadów o małych grubościach ścianki ($g_0 = 5$ mm) ($d_0 = 20$ mm) oraz $g_0 = 2,5$ mm ($d_0 = 25$ mm) przeanalizowano możliwość walcowania odłuków drążonych za pomocą trzech wałków klinowych, rozmieszczonych równomiernie co 120° . Ten schemat kształtowania (rys. 8) charakteryzuje mniejsza skłonność do powstawania nadmiernej owalności przekroju poprzecznego, doprowadzającej w konsekwencji do zdeformowania wyrobu.



Rys. 8. Model geometryczny procesu WPK trzema wałkami, wykorzystany w wykonanej analizie numerycznej



Rys. 10. Rozkład grubości ścianek w odłuki walcowanej trzema wałkami klino $\beta = 7^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,5$ oraz $d_0 = 20$ mm



Rys. 9. Przebieg procesu WPK trzema wałkami realizowanego przy: $\beta = 7^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\delta = 1,5$ oraz $d_0 = 20$ mm



Rys. 11. Trójwymiarowe i utrata zdolności do wykonywania ruchu obrotowego w trakcie procesu WPK trzema wałkami z wsadów o średnicy wewnętrznej $d_0 = 20$ mm

Wnioski

Na podstawie wyników analizy teoretycznej stwierdzono, że stosując metodę walcowania poprzeczno-klinowego można będzie kształtować odłuki z wsadów grubościennych. W przypadku wsadów cienkościennych uzasadnione jest stosowanie trójwałkowej metody kształtowania pozwalającej na wytwarzanie elementów drążonych o grubości ścianki wynoszącej nawet 16,7% wartości średnicy wsadu. Kształtowanie elementów drążonych o ściankach cieńszych wymagać będzie opracowania nowych, niestosowanych jeszcze metod walcowania. Przypuszcza się, że można będzie w tym celu zastosować metodę obciskania obrotowego, opracowaną w Politechnice Lubelskiej i zgłoszoną do ochrony patentowej.