

Mgr inż. Tadeusz DRENGER, mgr inż. Jan WIŚNIEWSKI, doc. dr inż. Jerzy LISOWSKI,  
mgr inż. Tomasz GADEK, mgr inż. Sławomir FRĄCKOWIAK, mgr inż. Łukasz NOWACKI  
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

# Doskonalenie technologii kształtowania obrotowego wyrobów złożonych

## *Improvement of the technology of rotary forming of complex shape products*

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono przeprowadzone badania w zakresie unowocześnienia technologii kształtowania obrotowego i tłoczenia wyrobów z trudno odkształcalnych blach. Przeprowadzono badania porównawcze tłoczenia półwyrobów wytłoczek z blachy ze stopu niklu z innymi materiałami i badania zgniatania obrotowego wydłużającego na półwyrobach ze stopu niklu, stali nierdzewnej i stali głębokotłocznej. Stwierdzono i potwierdzono możliwość zastosowania procesu kształtowania plastycznego metodą zgniatania obrotowego wydłużającego do wykonywania, z wytłoczek z blach, wyrobów cylindrycznych ze stopów niklu Inconel 625 oraz stali nierdzewnej 0H18N9. Badania będą kontynuowane.

### **Abstract**

*In this paper is presented investigation aiming at modernization of the technology of rotary forming and stamping products of hard-to-deform metal sheets. We made comparative investigation of stamping drawpiece blanks made of a sheet of nickel alloy with other material and investigation of elongating flow forming of blanks made of an alloy of nickel, stainless steel and deep-drawing steel. It has been found and confirmed that the process of plastic forming by the method of elongating flow forming can be applied for manufacturing cylindrical products from sheet metal drawpieces of Inconel 625 nickel alloys and of stainless steel grade 0H18N9. Investigations will be continue.*

**Słowa kluczowe:** tłoczenie, zgniatanie obrotowe, trudno odkształcalne materiały, wytłoczka

**Key words:** stamping, flow forming, hard to deform materials, drawpiece

## **1. WPROWADZENIE**

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu w ramach zadań statutowych przeprowadzono badania w zakresie unowocześnienia technologii kształtowania obrotowego i tłoczenia wyrobów z trudno odkształcalnych blach. Proces kształtowania przeprowadzono w nowoczesnym gnieździe badawczym składającym się m.in. ze zgniatarki obrotowej i wyoblarki. Maszyny te są sterowane numerycznie i są wyposażone w specjalne programy w których trajektorie ruchu rolek kształtujących są na bieżąco optymalizowane w procesie badawczym.

## **1. INTRODUCTION**

*Within its statute activities, the Metal Forming Institute in Poznań has performed investigation aiming at modernization of the technology of rotary forming and stamping products of hard-to-deform metal sheets. The forming process has been performed in a modern investigation center consisting, among others, of a flow forming machine and a spinning machine. The machines are numerically controlled and provided with special programs in which the trajectories of the motion of the forming rolls are currently optimized in the investigation process.*

Badania obejmowały następujący zakres prac:

- badania porównawcze tłoczenia półwyrobów wytłoczek z blachy ze stopu niklu z innymi materiałami,
- badania zgniatania obrotowego wydłużającego na półwyrobach ze stopu niklu, stali nierdzewnej i stali głębokotłocznej,
- badania procesu kształtowania obrotowego wyrobów o złożonych kształtach,
- badania technologii zawijania kołnierzy za pomocą rolki.

## 2. BADANIA PORÓWNAWCZE PROCESU TŁOCZENIA WYTŁOCZEK Z BLACHY ZE STOPU NIKLU ORAZ STALI WĘGLOWEJ I NIERDZEWNEJ

W procesie badawczym wytłaczano miseczki cylindryczne ze stopu niklu, stali nierdzewnej i stali węglowej w celu określenia ich możliwości kształtowania [1, 2].

### 2.1. Materiały badane

Do przeprowadzonych badań stosowano stop niklu Inconel 625, stal nierdzewną 0H18N9 oraz stal węglową DC03. Badany stop niklu (Inconel 625) charakteryzuje się dużą podatnością do umocnienia podczas kształtowania metodami obróbki plastycznej. Skład chemiczny stopu podano w tablicy 1.

Według lotniczej normy materiałowej SAE AMS 5599F, cienkie blachy z tego stopu powinny charakteryzować się minimalną granicą plastyczności 415 MPa i wytrzymałością na rozciąganie 850 MPa oraz wydłużeniem do zerwania min. 30%.

Przeprowadzone w Instytucie badania własności mechanicznych na próbkach wyciętych z dostarczonych blach o grubości 3,1 mm wykazały, że granica plastyczności wynosiła od 500-664 MPa, wytrzymałość na rozciąganie 913-991 MPa a wydłużenie A/25 40,9-51,3%.

Twardość krążków w stanie wyjściowym wynosiła średnio 21 HRC.

Do badań przygotowano krążki  $\varnothing 200 \times 2,3$  mm i  $\varnothing 200 \times 3,1$  mm wycięte z blachy za pomocą lasera.

*The investigation comprised the following scope of works:*

- comparative investigation of stamping drawpiece blanks made of a sheet of nickel alloy with other material,
- investigation of elongating flow forming of blanks made of an alloy of nickel, stainless steel and deep-drawing steel,
- investigation of the process of rotary forming of complex shape products,
- investigation of the technology of flange hemming by means of rolls.

## 2. COMPARATIVE INVESTIGATION OF THE PROCESS OF STAMPING DRAWPIECES OF NICKEL ALLOY SHEET AND OF CARBON STEEL AND STAINLESS STEEL

*In the investigation process, cylindrical cups were stamped of nickel, stainless steel and deep-drawing steel alloy in order to determine their possibility of forming [1, 2].*

### 2.1. The materials under investigation

*In the investigation, nickel alloy, Inconel 625, 0H18N9 stainless steel and DC03 carbon steel have been used. The nickel alloy (Inconel 625) reveals high work hardening ability during shaping by the methods of metal forming. The chemical composition of the alloy can be found in Table 1.*

*According to the air space material standard SAE AMS 5599F, thin sheets of that alloy should have minimum yield point of 415 MPa, tensile strength of 850 MPa and ultimate elongation of minimum 30%. The investigation of mechanical properties performed by the Institute on the samples cut out of 3.1 mm thick sheets have shown that the yield point was within 500–664 MPa, the tensile strength was 913–991 MPa and the elongation, A/25 was 40.9–51.3%. The average hardness of the samples in the initial condition was 21 HRC.*

*The investigation was performed on disks  $\varnothing 200 \times 2.3$  mm cut out of the sheet by means of a laser.*

Tablica 1. Procentowy skład chemiczny badanego stopu niklu Inconel 625  
 Table 1. Percentage chemical composition of the Inconel 625 nickel alloy

Oznaczenie stopu Alloy designation	% masy % mass										
	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb	C	Ti	Al	Si	Cu	Co
Inconel 625	62,58-63,34	19,87-20,25	8,401-8,858	3,92-4,79	3,229-3,309	0,18-0,25	0,147-0,208	0-0,21	0,11-0,15	0,1-0,251	0,0715-0,124

Tablica 2. Procentowy skład chemiczny badanej stali 0H18N9  
 Table 2. Percentage chemical composition of 0H18N9 steel

Oznaczenie stali Steel designation		% masy % mass							
znak mark	numer number	C	Mn	P <sub>max</sub>	S	N	Cr	Mo	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	≤ 0,07	≤ 2,0	0,045	≤ 0,015	≤ 0,07 ≤	16,5-18,5	2,0-2,5	

Tablica 3. Procentowy skład chemiczny stali DC03  
 Table 3. Percentage chemical composition of DC03 steel

Oznaczenie stali Steel designation		% masy % mass						
znak mark		C	Mn	P <sub>max</sub>	S	N	Al	Ti
DC03		0,05	0,20	0,20	0,01	0,003	0,04	-

Badana stal nierdzewna w gatunku 0H18N9 wg EUR X5CrNi18 10 jest stałą o strukturze austenicznej, która wprawdzie wykazuje dobre własności tłoczne, ale jednocześnie jest podatna do umocnienia.

Skład chemiczny stali 0H18N9 podano w tablicy 2.

Według normy PN stal ta charakteryzuje się następującymi własnościami mechanicznymi: granica plastyczności 195 MPa, wytrzymałość na rozciąganie 540-680 MPa a wydłużenie do zerwania A = 45%.

Do badań przygotowano krążki Ø 200x2 mm i Ø 200x3 mm.

Trzecim badanym materiałem była stal węglowa miękka głębokotłoczna DC03, która ma dobre własności tłoczne. Skład chemiczny tej stali przedstawiono w tablicy 3.

Według normy PN-EN 10130+A1 stal ta charakteryzuje się następującymi własnościami

*The investigated stainless steel of grade 0H18N9 acc. to EUR X5CrNi18 10 is a steel with austenitic structure which reveals good drawability properties but, at the same time, easily undergoes work hardening.*

*The chemical composition of 0H18N9 steel can be seen in table 2.*

*According to Standard PN, this steel has the following mechanical properties: yield point max. 195 MPa, tensile strength 540–680 MPa, ultimate elongation A = 45%.*

*The investigation was performed on disks Ø 200x2 mm and Ø 200x3 mm.*

*The third material under investigation was soft deep-drawing carbon steel, DC03 which has good drawability properties. The chemical composition of the steel can be seen in table 3.*

*According to Standard PN-EN 10130+A1, this steel has the following mechanical proper-*

mechanicznymi: granica plastyczności max. 240 MPa, wytrzymałość na rozciąganie 270-370 MPa, wydłużenie  $A/80 = 34\%$ .

## 2.2. Stanowisko badawcze

Badania procesu tłoczenia przeprowadzono na prasie hydraulicznej typ PYE-250 o naciśku 2500 kN (rys.1), z zastosowaniem zasilaacza hydraulicznego z regulowaną siłą docisku oraz tłoczniaka do wytłaczania miseczek z krążka blachy ze stałym stemplem i wymiennymi matrycami.

## 2.3. Metodyka badań

Badania procesu tłoczenia wytłoczek o średnicy zewnętrznej  $\phi 126$  mm i grubości od 2-3 mm przeprowadzono głównie celem przygotowania półwyrobów do badań procesu zgniatania obrotowego wydłużającego.

Równocześnie przeprowadzono badania porównawcze przebiegu procesu kształtowania wytłoczek ze stopu niklu w stosunku do stali nierdzewnej i stali głębokotłocznej węglowej.

Dobór geometrii oraz wymiarów roboczej części matrycy i stempla do tłoczenia, przyjęto na podstawie literatury [1, 2], uwzględniając grubość krążków ze stopu niklu. Stwierdzono konieczność stosowania dociskacza przy wytłaczaniu krążków ze stopu niklu o średnicy  $\phi 200$  mm.

W pierwszej kolejności wytłaczano miseczki z krążków o grubości 2 mm kolejno ze stali głęboko tłocznej i nierdzewnej oraz stopu niklu z krążka o grubości 2,3 mm (współczynnik ciągnięcia  $m = 0,61$ ).

Następnie wytłaczano miseczki z krążków o grubości 3 mm, kolejno ze stali głębokotłocznej i nierdzewnej oraz stopu niklu z krążka o grubości 3,1 mm (współczynnik ciągnięcia  $m = 0,61$ ).

## 2.4. Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych badań procesu tłoczenia uzyskano wytłoczki o średnicy zewnętrznej  $\phi 126$  mm oraz zakładanym i poprawnym kształcie (rys.2) przeznaczone do dalszych badań procesu kształtowania obrotowego wyrobów ze stali węglowej nierdzewnej oraz stopu niklu.

*ties: yield point max. 240 MPa, tensile strength 270–370 MPa, ultimate elongation  $A/80 = 34\%$ .*

## 2.2. The investigation stand

*The investigation of the stamping process was performed on a hydraulic press type PYE-250 with the capacity of 2500 kN (fig. 1) with the use of a hydraulic feeder with adjustable pressing force and a press tool for stamping cups of a sheet disk with a fixed punch and exchangeable dies.*

## 2.3. Methodology of the investigation

*The investigation of the process of stamping drawpieces with the outer diameter of  $\phi 126$  mm and thickness of 2–3 mm has been performed mainly in order to prepare blanks for the investigation of elongating flow forming.*

*At the same time, comparative investigation of the process of forming drawpieces of nickel alloy and of stainless steel and deep-drawing carbon steel has been performed.*

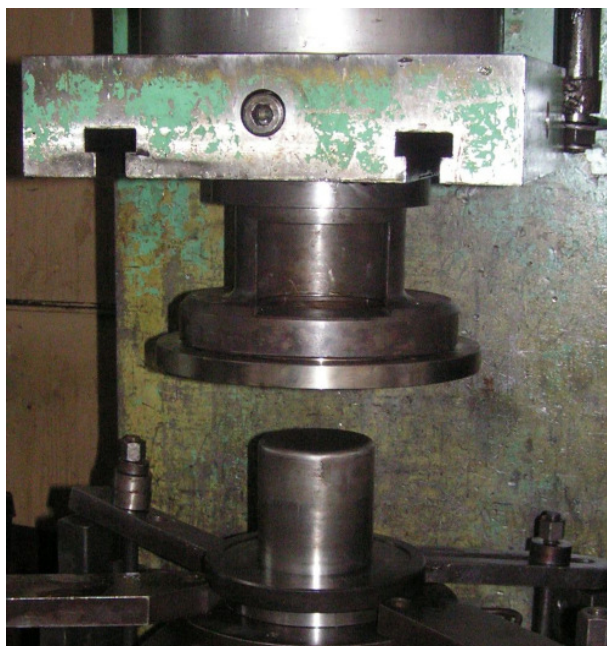
*The geometry, as well as the dimensions of the die and the stamping punch have been selected basing on literature [1, 2] incorporating the nickel alloy disks. The application of a blankholder has been found necessary in drawing nickel alloy disks with the diameter of  $\phi 200$  mm.*

*First cups were drawn from 2 mm thick deep-drawing steel and stainless steel and from 2.3 mm thick nickel alloy disk (drawing coefficient  $m = 0.61$ ).*

*Next, cups were drawn from 3 mm thick deep-drawing and stainless steel disks and from a 3.1 mm thick nickel alloy disk (drawing coefficient  $m = 0.61$ ).*

## 2.4. Investigation results

*As an effect of the investigation performed drawpieces with the outer diameter of  $\phi 126$  mm and with the assumed and correct shape (fig. 2) have been obtained, intended for further investigation of rotary forming of products made of carbon stainless steel and of nickel alloy.*



Rys. 1. Prasa hydrauliczna typ PYE-250 z doświadczalnym tłoczniem ze stałym stemplem i wymiennymi matrycami

*Fig.1. PYE-250 type hydraulic press with an experimental press tool with fixed punch and exchangeable dies*



Rys. 2. Wytłoczki cylindryczne do badań procesu kształtowania obrotowego

*Fig. 2. Cylindrical drawpieces for investigation flow forming testing*

Siła potrzebna do wytłaczania miseczek o średnicy zewnętrznej  $\phi 126$  mm ze stopu niklu o grubości 2,3 mm wynosiła 900-1100 kN przy nacisku jednostkowym dociskacza  $q = 16-20$  MPa. Siła potrzebna do wytłaczania miseczek o grubości ścianki 3,1 mm wynosiła 1200-1500 kN i nacisk jednostkowy  $q = 10-12$  MPa.

*The force necessary to draw cups with the outer diameter of  $\phi 126$  mm of 2.3 mm thick nickel alloy was 900–1100 kN with the blankholder pressure  $q = 16-20$  MPa. The force necessary to draw cups with 3.1 mm thick wall was 1200-1500 kN and the blankholder pressure  $q = 10-12$  MPa.*

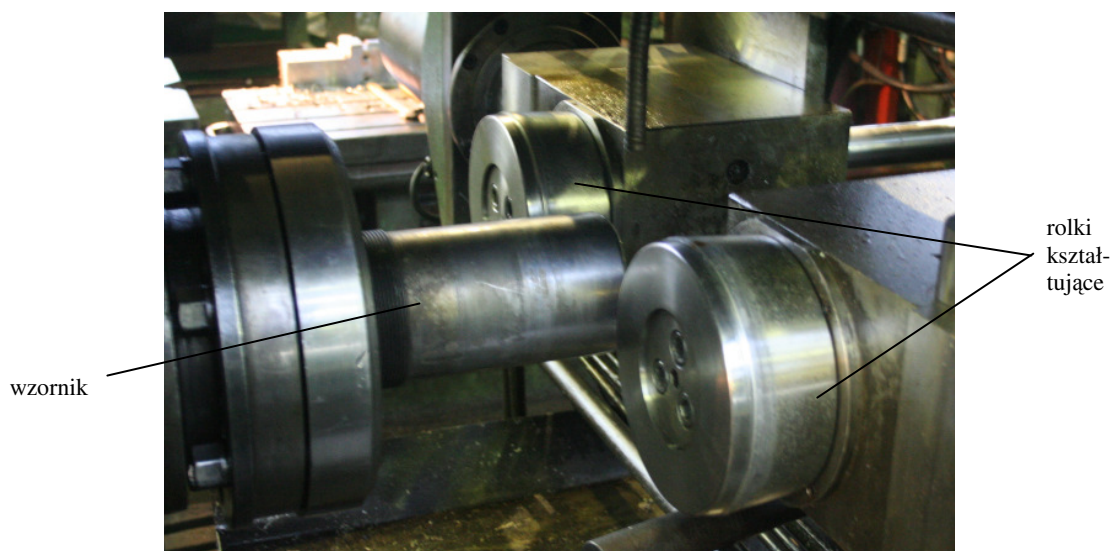
### 3. BADANIA PROCESU ZGNIATANIA OBROTOWEGO WYDŁUŻAJĄCEGO WYROBÓW CYLINDRYCZNYCH ZE STOPU NIKLU, STALI NIERDZEWNEJ I STALI GŁĘBOKOTŁOCZNEJ

Badania procesu obrotowego wydłużania półwyrobów cylindrycznych [1, 2] o średnicy zewnętrznej  $\phi 126$  mm i grubości ścianki 2 i 3 mm przeprowadzono w gnieździe badawczym na zgniatarce obrotowej MZH-400 (rys. 3) metodą zgniatania obrotowego i w procesie przyrostowego odkształcenia punktowego. Odkształcenie miejscowe można osiągnąć w tym procesie mniejszymi siłami niż przy klasycznym procesie ciągnięcia z pocienieniem ścianki.

### 3. INVESTIGATION OF THE PROCESS OF ELONGATING FLOW FORMING OF CYLINDRICAL PRODUCTS MADE OF AN ALLOY OF NICKEL, STAINLESS STEEL AND DEEP-DRAWING STEEL

*Investigation of flow forming of cylindrical products [1, 2] with the outer diameter of  $\phi 126$  mm and wall thickness of 2 and 3 mm has been performed in an investigation center on the MZH-400 flow forming machine (fig. 3) by the method of flow forming and incremental local deformation.*

*Local deformation can be obtained in this process with lower forces than in the case of classical drawing process with wall thinning.*



Rys. 3. Zgniatarka obrotowa MZH-400

Fig. 3. MZH-400 flow forming machine

### 3.1. Metodyka badań

Badania procesu zgniatania obrotowego wydłużającego przeprowadzono na półwyrobach (miscozkach) o grubości 2 i 3 mm ze stopu niklu (Inconel 625), stali nierdzewnej w gatunku 0H18N9 (X5CrNi18 10) oraz stali węglowej głębokotłocznej w gatunku DC03, wytłaczanych przy współczynniku ciągnięcia  $m = 0,61$  bez międzyoperacyjnej obróbki cieplnej (wyżarzania).

Wykorzystując dotychczasowe doświadczenie Instytutu w badaniach zastosowano następujące parametry technologiczne: obroty 500 obr/min, posuw 250, 300 i 350 mm/min.

Podczas procesu badawczego stosowano chłodziwo będące mieszaniną oleju z emulsją typu ANTOL. Chłodziwo było stosowane dla usuwania ciepła generowanego w procesie kształtowania w celu uniknięcia nadmiernego nagrzania adiabatycznego.

W procesie badawczym zgniatania obrotowego zastosowano dwie pary rolek wykonanych ze stali narzędziowej gatunku SW7M.

### 3.2. Wyniki badań procesu zgniatania obrotowego wydłużającego

Zestawione wyniki pomiarów wytłoczek i wyrobów przed i po zgniataniu obrotowym zamieszczono w tablicach 4, 5 i 6.

### 3.1. Methodology of the investigation

*The process of elongating flow forming has been examined on blanks (cups) with the thickness of 2 and 3 mm made of Inconel 625 nickel alloy, stainless steel grade 0H18N9 (X5CrNi18 10) and deep drawing carbon steel grade DC03 drawn with the drawing coefficient,  $m = 0.61$  without heat treatment (annealing between) the operations.*

*As a result of the Institute's experience, the following technological parameters have been applied: speed 500 rpm, travel 250, 300 and 350 mm/min.*

*The coolant used during the investigation process was a mixture of oil with ANTOL type emulsion. The coolant was applied to remove heat generated in the forming process to avoid excessive adiabatic heating.*

*In the flow forming investigation process, two pair of rolls made of tool steel grade SW7M were used.*

### 3.2. Elongating flow forming process investigation results

*Assembled results of measurements of drawpieces and products prior to and after flow forming can be found in tables 4, 5 and 6.*

Tablica 4. Wyniki pomiarów wytłoczek przed i po zgniataniu obrotowym wydłużającym. Stal węglowa DC04  
 Table 4. Drawpiece measurement results before and after elongating flow forming. Carbon steel DC04

Lp.	Pomiary przed zgniataniem Measurement before flow forming				Pomiary po zgniataniu Measurement after flow forming						Posuw Travel [mm/min]	Pręđ. obr. Rotational speed [obr/min]
	Średnica zew. Outer diameter φ [mm]	Średnica wew. Inner diameter φ [mm]	Śr. gr. ścianki Average wall thickness [mm]	Wysokość Height [mm]	Średnica zew. Outer diameter φ [mm]	Średnica wew. Inner diameter φ [mm]	Śr. gr. ścianki Average wall thickness [mm]	Wysokość Height [mm]	Odształcenie względne Relative deformation [%]	Wydłużenie Elongation [%]		
<b>DC04 – 2 mm</b>												
1	124,75	120,1	1,92	58,9	122,5	120,4	1,05	112,8	45	91,51	<b>250</b>	<b>355</b>
2	124,8	120	1,9	59	122,5	120,3	1,1	112,1	42,10	90		
3	124,85	119,8	1,9	59,9	122,3	120,4	0,95	112,3	50	87,48		
4	124,85	120	1,94	59,3	122,3	120,3	1	108,7	48	83,33	<b>300</b>	
5	124,8	120	1,97	59,1	122,2	120,3	0,95	107,9	51,8	82,57		
6	125	119,8	1,93	59,2	122,5	120,5	1	107,6	48,1	81,75		
7	124,8	120	1,95	60,9	122,5	120,4	1,05	103,3	46,1	69,62	<b>350</b>	
8	124,8	119,9	1,91	60	122,2	120,2	1	103,8	47,6	73		
9	124,5	120	1,93	60	122,4	120,5	0,95	102,9	50,8	71,5		
<b>DC04 – 3 mm</b>												
1	126,3	119,75	2,98	57,5	123,8	120,8	1,48	110	50,3	90,06	<b>250</b>	<b>500</b>
2	126,1	119,9	3,1	58	123,8	120,7	1,48	109,7	52,2	89,13		
3	126,2	120,1	3,1	59,2	123,9	120,8	1,45	111,5	53,2	88,17		
4	126,3	119,75	2,98	57,7	123,8	121,1	1,51	106,5	49,3	84,58	<b>300</b>	
5	126,2	119,9	2,99	58,3	123,7	121,2	1,5	108,8	49,8	86,62		
6	126,4	119,8	2,98	58	123,7	121,1	1,53	107,7	48,5	85,69		
7	126,1	119,75	2,98	58,5	123,7	121,1	1,52	106,6	49,1	82,22	<b>350</b>	
8	126	119,7	2,99	57,6	124,3	121,2	1,56	104,9	47,8	82,12		
9	126,1	119,8	2,98	57,5	124,4	121,3	1,55	105	47,9	82,6		

Tablica 5. Wyniki pomiarów wytloczek przed i po zgniataniu obrotowym wydłużającym. Stal nierdzewna 0H18N9  
 Table 5. Drawpiece measurement results before and after elongating flow forming. Stainless steel 0H18N9

Lp.	Pomiary przed zgniataniem <i>Measurement before flow forming</i>				Pomiary po zgniataniu <i>Measurement after flow forming</i>						Posuw <i>Travel</i> [mm/min]	Pręđ. obr. <i>Rotational speed</i> [obr/min]
	Średnica zew. <i>Outer diameter</i> φ [mm]	Średnica wew. <i>Inner diameter</i> φ [mm]	Śr. gr. ścianki <i>Average wall thickness</i> [mm]	Wysokość <i>Height</i> [mm]	Średnica zew. <i>Outer diameter</i> φ [mm]	Średnica wew. <i>Inner diameter</i> φ [mm]	Śr. gr. ścianki <i>Average wall thickness</i> [mm]	Wysokość <i>Height</i> [mm]	Odształcenie względne <i>Relative deformation</i> [%]	Wydłużenie <i>Elongation</i> [%]		
<b>0H18N9 – 2 mm</b>												
1	124,7	120,1	1,95	57,5	124,8	120,7	1,18	88,6	39,48	54,08	<b>250</b>	<b>355</b>
2	124,9	120,1	1,92	57,9	124,9	120,8	1,14	87,7	41,66	51,46		
3	124,8	120,2	1,96	57,1	124,9	120,7	1,21	90,1	38,26	47,79		
4	124,85	120,2	1,93	58	125	120,7	1,29	84,1	33,16	45	<b>300</b>	
5	124,85	120	1,94	58	124,7	120,7	1,33	83,9	31,44	44,65		
6	124,9	120	1,91	57,1	124,7	120,7	1,34	83,2	29,84	45,71		
7	124,75	120	1,97	57,8	124,6	120,5	1,44	76,7	26,9	32,69	<b>350</b>	
8	124,7	120,1	1,96	58,5	124,5	120,6	1,47	75,9	25	29,74		
9	124,9	120,2	1,96	58,8	124,7	120,7	1,4	77,1	28,57	31,12		
<b>0H18N9– 3 mm</b>												
1	126,7	119,8	3,17	57,5	126	120,6	1,87	94,6	41	64,52	<b>250</b>	<b>500</b>
2	126,3	119,8	3,01	58	125,9	120,7	1,88	95,1	37,54	63,96		
3	126,7	119,9	3,13	57,4	125,9	120,7	1,81	93,4	42,17	62,71		
4	126,3	119,8	3,07	57,6	126	120,6	1,97	86,5	35,7	50,17	<b>300</b>	
5	126,6	119,6	3,06	57,8	125,3	120,6	1,93	86,9	36,5	52,19		
6	126,2	119,9	3,04	57,8	125,4	120,6	1,97	87	35,8	50		
7	126,6	119,6	3,06	57,1	120,5	120,5	2,14	81,2	30	42,2	<b>350</b>	
8	126,5	119,8	3,02	57,5	125,9	120,5	2,1	79,8	30,46	38,78		
9	126,2	119,9	3,04	58	125,8	120,5	2,09	80,2	31,25	38,27		



Tablica 6. Wyniki pomiarów wytłoczek przed i po zgniataniu obrotowym wydłużającym. Stop niklu Inconel 625  
 Table 6. Drawpiece measurement results before and after elongating flow forming. Nickel alloy Inconel 625

Lp.	Pomiary przed zgniataniem <i>Measurement before flow forming</i>				Pomiary po zgniataniu <i>Measurement after flow forming</i>						Posuw <i>Travel</i> [mm/min]	Pręđ. obr. <i>Rotational speed</i> [obr/min]
	Średnica zew. <i>Outer diameter</i> φ [mm]	Średnica wew. <i>Inner diameter</i> φ [mm]	Śr. gr. ścianki <i>Average wall thickness</i> [mm]	Wysokość <i>Height</i> [mm]	Średnica zew. <i>Outer diameter</i> φ [mm]	Średnica wew. <i>Inner diameter</i> φ [mm]	Śr. gr. ścianki <i>Average wall thickness</i> [mm]	Wysokość <i>Height</i> [mm]	Odkształcenie względne <i>Relative deformation</i> [%]	Wydłużenie <i>Elongation</i> [%]		
<b>Inconel 625 – 2 mm</b>												
1	125,7	120,3	2,46	54,4	126,1	121,3	2,11	62,4	14,23	14,7	<b>300</b>	<b>500</b>
2	125,1	119,9	2,31	57,8	125,2	120,8	2,03	63,7	12,12	10,21		
3	125,3	119,9	2,35	58,1	125,7	120,8	2,09	63,1	10,3	8,6		
4	125,2	119,9	2,3	58	125,5	120,7	2,11	63,6	8,26	9,65	<b>350</b>	
5	124,9	119,8	2,27	57,9	125,4	120,7	2,07	62,4	8,81	7,77		
6	125,2	119,8	2,31	57,2	125,5	120,9	2,1	63,8	9,1	8,6		
<b>Inconel 625 – 3 mm</b>												
1	126,5	119,7	3,19	57,8	126,8	120,6	2,83	64	11,29	10,69	<b>300</b>	<b>500</b>
2	126,4	119,7	3,11	57,4	126,6	120,7	2,77	66,2	10,93	15,33		
3	126,4	119,7	3,15	57,3	126,7	120,6	2,81	64,2	10,79	12,04		
4	126,5	119,7	3,19	57,8	126,6	120,6	2,79	63,8	12,54	10,38	<b>350</b>	
5	126,4	119,7	3,2	57,8	126,5	120,7	2,78	64,3	13,13	11,24		
6	126,5	119,8	3,06	59,9	126,7	120,6	2,76	64,5	9,8	7,68		

Tablica 7. Średnie odkształcenia i własności wytłoczki po zgniataniu obrotowym w jednej operacji  
 Table 7. Properties of the drawpiece after flow forming in one operation

Oznaczenie Designation		Gatunek materiału Material grade		
		DC04	0H18N9	Inconel 625
Średnie odkształcenie względne Average relative deformation $\epsilon = \frac{g_0 - g_1}{g_0} \cdot 100\%$ $g_0, g_1$ – grubość ścianki wall thickness	$g_0 = 2$ mm	47,7%	32,7%	10,5%
	$g_0 = 3$ mm	49,8%	35,6%	11,4%
Średnie wydłużenie względne Average relative elongation $A = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$ $l_0, l_1$ – długość pobocznic side wall length	$g_0 = 2$ mm	A = 81,2%	43,6%	10,5%
	$g_0 = 3$ mm	A = 85,7%	51,4%	11,3%
Twardość HRA HRA hardness	dno wytłoczki drawpiece bottom	46 HRA	51HRA	59,8 HRA
	pobocznica side wall	48 HRA	68,3 HRA	70,8 HRA

W tablicy 7 podano średnie wielkości odkształcenia względnego, wydłużenia oraz twardości uzyskane na wytłoczkach po zgniataniu obrotowym w jednej operacji.

In table 7, one can find the average magnitudes of relative deformation, elongation and hardness obtained on the drawpieces after flow forming in one operation.

### 3.3. Wnioski

Z przeprowadzonych badań procesu zgniatania obrotowego wydłużającego wyrobów cylindrycznych ze stopu niklu, stali nierdzewnej i stali węglowej głębokotłocznej wynikają następujące wnioski:

- 1) Stwierdzono i potwierdzono możliwość zastosowania procesu kształtowania plastycznego metodą zgniatania obrotowego wydłużającego do wykonywania, z wytłoczek z blach, wyrobów cylindrycznych ze stopów niklu Inconel 625 oraz stali nierdzewnej 0H18N9.
- 2) Wytłoczki kształtowane ze stopu niklu metodami tłoczenia i zgniatania obrotowego wykazały dużą skłonność do sprężynowania powrotnego po uwolnieniu sił zewnętrznych.

### 3.3. Conclusions

The investigation of the process of elongating flow forming ion allows us to draw the following conclusions:

- 1) It has been found and confirmed that that the process of plastic forming by the method of elongating flow forming can be applied for manufacturing cylindrical products from sheet metal drawpieces of Inconel 625 nickel alloys and of stainless steel grade 0H18N9.
- 2) Drawpieces formed of the nickel alloy by the methods of stamping and flow forming have revealed strong tendency to springback after the release of external forces.

- 3) Zjawisko sprężynowania powrotnego występowało szczególnie podczas zgniatania obrotowego wydłużającego, gdzie po ukształtowaniu następowało powiększenie średnicy zewnętrznej i wewnętrznej części cylindrycznej wytłoczki.
- 4) Przewiduje się podjęcie dalszych prac badawczych, mających na celu zlikwidowanie zjawiska odsprężynowania powrotnego wytłoczek ze stopu niklu Inconel 625 poprzez:
- określenie optymalnych parametrów procesów kształtowania, (rodzaje ruchów narzędzi, posuwu, obrotów wrzeciona oraz ograniczenia intensywności chłodzenia),
  - dobór optymalnej geometrii rolek kształtujących,
  - zastosowanie międzyoperacyjnej obróbki cieplnej,
  - wprowadzenie do procesu kształtowania obrotowego podgrzewania laserowego,
  - realizowanie procesu zgniatania obrotowego na maszynie wyposażonej w 3 lub 4 komplety rolek.

#### **4. BADANIA PROCESU KSZTAŁTOWANIA OBROTOWEGO WYROBÓW O ZŁOŻONYCH KSZTAŁTACH**

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu przeprowadzono badania możliwości zastosowania procesów kształtowania obrotowego wyrobów z blachy zamiast stosowania odlewów stalowych.

Badania dotyczyły korpusów przepustnic centrycznych, które były dotychczas wykonywane jako odlewy. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano i opracowano nowy proces technologiczny wytwarzania tarcz zmodernizowanych przepustnic centrycznych, których ciężar jest 3-5 razy mniejszy niż przepustnic odlewanych. [3, 4, 5].

Korpus (obudowa) składa się z dwóch tarcz dolnej i górnej odpowiednio wyprofilowanych i połączonych ze sobą podczas montażu wraz z pozostałymi elementami przepustnicy technologią spawania (rys. 4).

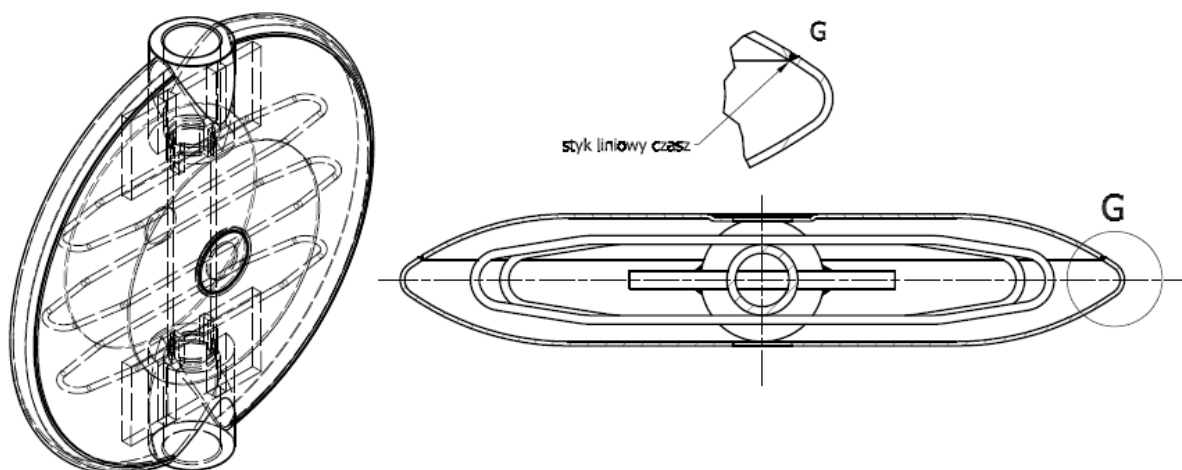
- 3) *The springback phenomenon occurred particularly during elongating flow forming where forming was followed by an increase of the outer and inner diameter of the draw-piece cylindrical part.*
- 4) *Further investigation works are expected to be undertaken in order to eliminate the phenomenon of springback of Inconel 625 alloy drawpieces by:*
- *determination of the optimum parameters of the forming processes (kinds of tool motions, travel, spindle speed and limitation of cooling intensity,*
  - *selection of the optimum geometry of the shaping rolls,*
  - *application of interoperation heat treatment,*
  - *introduction of laser heating to the rotary forming process,*
  - *realization of the flow forming process on a machine equipped with 3 or 4 sets of rolls.*

#### **4. INVESTIGATION OF THE PROCESS OF FLOW FORMING OF COMPLEX SHAPE PRODUCTS**

*The Metal Forming Institute in Poznan has investigated the possibilities of applying the rotary forming processes in manufacturing metal sheet products instead of applying steel castings.*

*The investigation concerned centric throttle bodies which had been made as castings so far. Basing on the investigation performed, a new technological process of manufacturing the disks of modernized centric throttles has been elaborated and proposed; the weight of the modernized throttles 3–5 times lower than that of the cast ones [3,4,5].*

*The body (casing) consists of two disks, the upper and the lower one, adequately profiled and joined together with the other throttle elements by the technology of welding (fig.4).*



Rys. 4. Przepustnica centryczna DN-200  
Fig. 4. A centric throttle DN-200

Tarcze mają złożone kształty i ze względu na ich stosowanie w środowiskach ekologicznych wykonane są ze stali nierdzewnej (kwasoodpornych), które w procesie kształtowania plastycznego szybko się umacniają.

Tarcza dolna składa się z części płaskiej, sferycznej i parabolicznej zaś tarcza górna z części płaskiej i sferycznej.

Badania obejmowały tarcze do przepustnic centrycznych DN-500, 700 i 1000.

Nową technologię wdrożono w AFT Poznań w ramach Projektu Celowego nr ROW-II-238/2007 pt. „Uruchomienie produkcji innowacyjnej przepustnicy z taśmą spawaną wzmocnioną wypełnieniem”.

Firma AFT Poznań otrzymała za przepustnice centryczne DN-600 i DN-500 Złoty Medal EURO DYSC na Międzynarodowych Targach POL-EKO w 2008 r. w Poznaniu.

## 5. BADANIA TECHNOLOGII ZAWIJANIA KOŁNIERZY ZA POMOCĄ ROLKI

Na stanowisku badawczym wyoblarki MZH-500 zbadano możliwości zawijania kołnierzy blach (rys. 5), dla określonych grubości i wybranych gatunków materiałów z krążka o średnicy  $\varnothing 320$  mm ze stali głębokotłocznej w gatunku DC03 o grubości: 1,2,3 i 4 mm oraz z krążka o średnicy  $\varnothing 320$  mm z aluminium w gatunku 1050A o grubości: 1,2,3,4 i 5 mm.

*The disks have complex shapes and, due to their application in ecological environments, they are made of stainless steel (acid resistant), which is quickly work hardening in the process of plastic forming. The lower disks consists of a flat, a spherical and a parabolic part; the upper disks consists of flat part and a spherical one.*

*The investigation comprised disks for DN-500, 700 and 1000 throttles.*

*The new technology has been implemented in AFT Poznan within the Target Project no ROW-II-238/2007 entitled “Launching of production of an innovative throttle with welded strip reinforced by filling”.*

*AFT has been awarded EURO DYSC Golden Medal in the International Fair POL-EKO in Poznań in 2008.*

## 5. INVESTIGATION OF THE TECHNOLOGY OF FLANGE HEMMING BY MEANS OF A ROLL

*In the MZH-500 spinning machine investigation stand, the possibilities of hemming metal sheet flanges have been examined (fig. 5) for predetermined thicknesses and selected materials from a coil with the diameter of  $\varnothing 320$  mm of deep-drawing steel grade DC03 with the thickness of: 1, 2, 3 and 4 mm and from a 1050A grade aluminium coil  $\varnothing 320$  mm with the thickness of 1, 2, 3, 4 and 5 mm.*



Zadowalające wyniki zawijania kołnierza uzyskano dla parametrów podanych w tabeli 8.

*Satisfactory results have been obtained for the parameters stated in table 8.*

Tablica 8. Parametry technologiczne zawijania kołnierza na wyoblarcie MZH-500  
Table 8. Technological parameters of flange hemming on the MZH-500 spinning machine

Materiał Material	Grubość blachy Sheet thickness g [mm]	Obroty wrzeciona Spindle speed obr/min	Posuw Ravel mm/min	Uwagi Notes
Blacha aluminiowa 1050A Aluminium sheet 1050A	3	800	100	Wyniki zadowalające Satisfactory results
	4	800	100	
	5	800	100	
Blacha stalowa DC03 Steel sheet DC03	3	800	100	

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Wyniki badań połączonych procesów wytłaczania z przyrostowym zginiataniem obrotowym na trzech różnych materiałach potwierdziły możliwość kształtowania metodami obróbki plastycznej stopu niklu Inconel 625.
2. Parametry procesu kształtowania stopu Inconel 625 różnią się znacznie w stosunku do innych materiałów.
3. Negatywne zjawiska powstające podczas procesu zginiatania obrotowego wydłużającego na wylotkach ze stopu niklu szczególnie odsprężynowanie obwodowe należy wyeliminować w dalszych badaniach. Badania te powinny uwzględniać:
  - dobór optymalnych geometrii rolek kształtujących oraz prędkości kształtowania,
  - zastosowanie międzyoperacyjnej obróbki cieplnej,
  - wprowadzenie do procesu podgrzewania laserowego.
4. Pozytywne wyniki badań technologii zawijania kołnierzy krążków za pomocą profilowanych rolek umożliwiają rozpowszechnienie tej technologii w krajowym przemyśle. Technologia ta wykazuje znacznie niższe koszty niż koszty zawijania w przyrządach na prasie.
5. Przewiduje się kontynuację badań w zakresie innych materiałów.

## 6. FINAL CONCLUSIONS

1. The results of combined investigation of the processes of drawing and incremental flow forming on three different materials have proved that the nickel alloy, Inconel 625 could be shaped by the methods of metal forming.
2. The forming parameters of the Inconel 625 alloy differ significantly from those of other materials.
3. Negative phenomena occurring during the process of elongating flow forming on the nickel alloy drawpieces, particularly the circumferential springback should be eliminated in further investigations. Those investigations should incorporate:
  - selection of the optimum forming roll geometry and forming speed,
  - application of heat treatment between operations,
  - introduction of laser heating into the process.
4. The positive results of the investigation of disk flange hemming by means of profiled rolls enable the technology to be disseminated in the domestic industry. This technology offers much lower costs as compared to those of hemming in devices on a press.
5. Investigation is expected to be continued on other materials

**LITERATURA/REFERENCES**

- [1] Sprawozdanie końcowe BT 901.45.001.002.003.004. Doskonalenie technologii i konstrukcji maszyn ze sterowaniem komputerowym do wyoblania i zgniatania obrotowego, szczególnie wyrobów długich o złożonych kształtach z wydłużoną pobocznica. INOP Poznań 2008.
- [2] Sprawozdanie końcowe BT 901.27.001.002.003.004.005.006.075055 Doskonalenie metod zgniatania obrotowego i wyoblania o złożonych kształtach, głównie z materiałów trudnoodkształcalnych. INOP Poznań 2007.
- [3] Badania i przygotowanie produkcji innowacyjnej przepustnicy centrycznej dla firmy AFT na wielkości DN-500, DN-600. INOP Poznań 2007.
- [4] Drenger T. (i in.): Technologia kształtowania obrotowego tarczy przepustnic centrycznych. Obróbka Plastyczna Metali 2007 t. XVIII nr 4 s. 19-27.
- [5] Drenger T. (i in.): Badania technologii kształtowania obrotowego i wdrożenie innowacyjnych przepustnic centrycznych w firmie AFT-Poznań. Obr. Plast. Met. 2009 t. XX nr 1 s. 21-37.