

mgr inż. Tadeusz DRENGER, mgr inż. Sławomir FRĄCKOWIAK, mgr inż. Tomasz GADEK,
mgr inż. Łukasz NOWACKI
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań
e-mail: drenger@inop.poznan.pl

Kształtowanie materiału Hastelloy C-276 metodą wyoblania na zimno

Forming Hastelloy C-276 material by the method of cold spinning

Streszczenie

W artykule zamieszczono informację na temat sposobu kształtowania materiału Hastelloy C-276 metodą wyoblania na zimno. Badania prowadzono na wzorniku o kącie 60° . Zastosowano między operacyjną obróbkę cieplną w celu zminimalizowania odsprężynowania powstałego podczas kształtowania materiału. Przedstawiono wyniki badań otrzymanych wyrobów próbných wraz z pomiarem rozkładu grubości ścianki na długości pobocznic.

Abstract

The paper contains information on the way of forming Hastelloy C-276 material by the method of cold spinning. The tests have been performed on a templet with the angle of 60° . Heat treatment between operations has been applied to minimize springback occurring during material forming. The results of examination of received material have been presented including the measurement of the wall thickness distribution on the side wall length.

Słowa kluczowe: wyoblanie, materiał trudno odkształcalny, stop Ni

Keywords: spinning, hard to deform material, Ni alloy

1. WSTĘP

Stop Hastelloy C-276 jest nadstopem niklu, chromu i molibdenu, o średniej zawartości niklu około 57%. Wykazuje on znaczną odporność korozyjną w różnych środowiskach chemicznych, także w środowisku silnych utleniaczy: chlorków miedzi i żelaza, kwasu mrówkowego, wody morskiej. Stopy na osnowie niklu są stosowane, m.in. w przemyśle wydobywczym ropy naftowej i gazu ziemnego, na narażone na korozję części urządzeń do głębokich odwiertów źródeł tych surowców [1].

W literaturze technicznej krajowej i zagranicznej jest niewiele publikacji dotyczących obróbki plastycznej materiału Hastelloy C-276. Większość z nich dotyczy elektrochemicznej obróbki stopu Hastelloy oraz badań powłok galwanicznych. W artykule [2] można znaleźć

1. INTRODUCTION

Hastelloy C-276 is a superalloy of nickel, chromium and molybdenum with an average nickel content of 57%. It presents good corrosion resistance in various chemical environments, even in strong oxidants: copper and iron chlorides, formic acid, sea water. Nickel based alloys are used, among others, in oil mining and natural gas mining, for parts of deep drilling devices exposed to the hazard of corrosion [1].

Only few publications concerning plastic forming of Hastelloy C-276 could be found in Polish or foreign technical literature. Most of them deal with electrochemical machining of Hastelloy and examination of electroplated coatings. In paper [2], one can find informa-

informację na temat wpływu starzenia się materiału na jego twardość.

Stop Hastelloy C-276 wykazuje dużą podatność do umocnienia podczas kształtowania metodami obróbki plastycznej. Charakteryzuje się granicą plastyczności $R_{0,2} = 405$ MPa, wytrzymałością na rozciąganie $R_m = 765$ MPa oraz wydłużeniem A_5 min. 62% [4].

Celem zwiększenia wytrzymałości stopy niklu są zwykle utwardzane przez odkształcanie na zimno. Ze wzrostem odkształcenia plastycznego na zimno wzrasta twardość i wytrzymałość stopu, natomiast współczynnik wydłużenia ulega obniżeniu. W wyniku zastosowania na zimno 50% stopnia odkształcenia względnego, twardość stopu C-276 może zostać zwiększona dwukrotnie od 190 HB (w stanie wyżarzonym) do 380 HB [3].

Dotychczasowe badania kształtowania materiału Hastelloy C-276 metodą tłoczenia, zgniatania obrotowego rzutowego oraz wydłużającego, wykazały możliwość obróbki plastycznej metodami kształtowania obrotowego. Na tej podstawie przystąpiono do badań kształtowania metodą wyoblania materiału Hastelloy C-276.

Celem badań jest wytworzenie wyrobu stożkowego o kącie równym $60^\circ \pm 1^\circ$, a tym samym określenie możliwości kształtowania materiału Hastelloy C-276 metodą wyoblania na zimno.

2. CEL PRACY

Materiałem wyjściowym do badań były krążki z blachy (cięte strumieniem wody) o średnicy: $\varnothing 200$ oraz grubości 2 i 3 mm. Twardość krążków w stanie wyjściowym wynosiła 53 HRA. Skład chemiczny badanego stopu przedstawiono w tablicy 1.

Badania przeprowadzono w Instytucie Obróbki Plastycznej na stanowisku badawczym wyposażonym w wyoblarkę sterowaną numerycznie MZH-500 (rys. 1).

tion on the influence of the material ageing on its hardness.

Hastelloy C-276 shows high work hardenability during plastic forming. It has a yield point of $R_{0,2} = 405$ MPa, tensile strength of $R_m = 765$ MPa and elongation of A_5 equal to minimum 62% [4].

In order to increase their strength, nickel alloys are usually hardened by cold deformation. The alloy hardness and strength grow with the increase of plastic deformation; the coefficient of elongation drops. As a result of relative cold deformation of 50%, the hardness of Hastelloy C-276 can be increased as much as from 190 HB (in annealed condition) to 380 HB [3].

So far, the investigations of forming the Hastelloy C-276 material by the methods of stamping, shear forming and elongating rotary extrusion have shown the possibility of plastic forming by the spinning methods. Basing on that, the investigation of Hastelloy Cf-276 forming by the method of spinning has been started.

The purpose of the investigation is to manufacture a conical product with the angle of $60^\circ \pm 1^\circ$ and, consequently, to determine the possibility of forming Hastelloy C-276 material by the method of cold spinning.

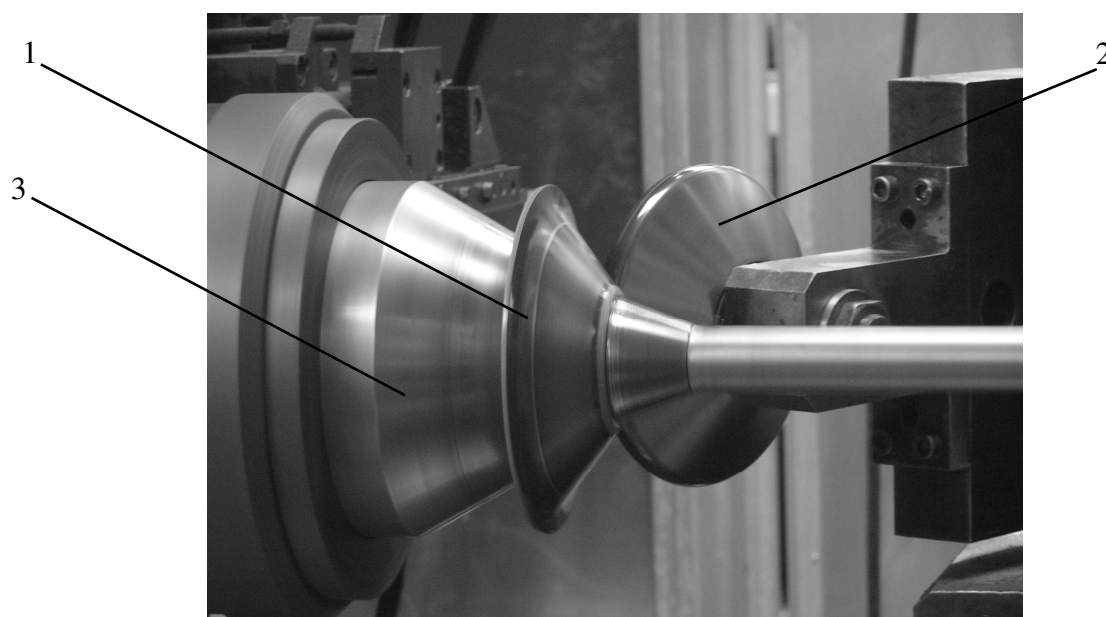
2. AIM OF RESEARCH

The initial test material was in the form of sheet metal disks cut with water beam, having a diameter of 200 mm and thickness of 2 and 3 mm. Their initial hardness was 53 HRA. The chemical composition of the alloy is presented in table 1.

The investigation has been performed in the Metal Forming Institute, on a test stand equipped with a numerically controlled MZH-500 spinning machine (fig. 1).

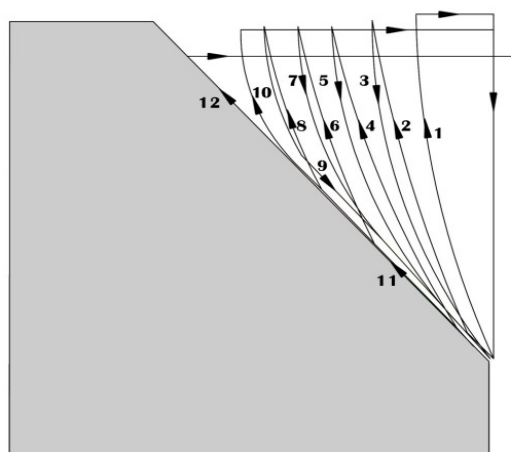
Tablica 1. Skład chemiczny stopu Hastelloy C-276, % masowy
Table 1. Chemical composition of Hastelloy C-276, mass percentage

Ni	Mo	Cr	Fe	W	Mn	Co	C	S
56,8–57,4	16,1–16,3	16–16,2	5,95–6,14	3,35–3,45	0,44–0,5	0,16–0,5	0,003	0,002



Rys. 1. Stanowisko badawcze do wyoblania, maszyna MZH-500: 1 – krążek blachy, 2 – rolka, 3 – wzornik

Fig. 1. Spinning test stand, MZH-500 machine: 1 – sheet metal disk, 2 – roll, 3 – templet



Rys. 2. Przykładowa trajektoria ruchu rolki wyoblającej

Fig. 2. An example of the spinning roll motion trajectory

Przebieg procesu wyoblania przedstawiono na rys.1. Polega on na kształtowaniu zamocowanego na wzorniku (3) wirującego materiału w postaci krążka blachy (1) za pomocą rolki wyoblającej (2), według uprzednio zadanej trajektorii ruchu narzędzia (rys. 2).

Badania przeprowadzono na wzorniku o kącie 60° , dla prędkości obrotowej 410 obr/min oraz prędkości posuwu rolki wyoblającej 0,005 m/s i 0,007 m/s. Dodatkowo, w celu sprawdzenia maksymalnych możliwości odkształcenia materiału Hastelloy C-276, odkształcono materiał dla prędkości posuwu 0,008 m/s oraz 0,012 m/s.

The arrangement used for the spinning process is shown in fig. 1. It consists in forming the rotating material in the form of a sheet metal disk (1) fixed to the templet (3), by means of a spinning roll along previously set trajectory of the tool motion (fig. 2).

The tests were performed on a templet with the angle of 60° , for the rotation speed of 410 rpm and the spinning roll travel speed of 0.005 m/s and 0.007 m/s. Additionally, in order to find the maximum possibilities of deforming the Hastelloy C-276 material, the material has been deformed at the tool travel speed of 0.008 m/s and 0.012 m/s.

Proces wyoblania podzielono na dwie operacje. W pierwszej operacji ukształtowano materiał na wzorniku. Otrzymany wyrób charakteryzował się znacznym odsprężynowaniem na pobocznicę, które powstało w skutek umocnienia się materiału podczas kształtowania. Następnie zastosowano między operacyjną obróbkę cieplną i przystąpiono do drugiej operacji wyoblania, mającej na celu zminimalizowanie powstałego wcześniej odsprężynowania.

Wyniki badań wyoblania materiału Hastelloy C-276 dla pierwszej operacji zamieszczono w tablicy 2, natomiast wyniki dla drugiej operacji, zamieszczono w tablicy 3.

The spinning process has been divided into two operations. In the first operation, the material has been formed on the templet. The obtained product was characterized by significant springback on the side wall resulting from the material work hardening during forming. Next, interoperation heat treatment was applied followed by the second spinning operation performed in order to minimize the springback which had occurred before

The results of investigation of the Hastelloy C-276 material spinning for the first operation can be seen in table 2, those for the second one are presented in table 3.

Tablica 2. Wyniki badań Hastelloy C-276 dla pierwszej operacji wyoblania z materiału o grubości 2 i 3 mm

Table 2. Hastelloy C-276 test results for the first spinning operation of 2 and 3 mm thick material

Nr próbki Sample no.	Obroty wrzeczona obr/min Spindle speed, rpm	Posuw m/s Travel, m/s	Średnia grubość ścianki mm Average wall thickness, mm	Kąt stopień Angle, degree	Średnica zew. mm Outer diameter, mm
Grubość materiału - 2 mm / Material thickness - 2 mm					
A 1-10	410	0,005	1,7-1,74	57,5-58	169,5-169
A 11-20		0,007	1,74-1,78	57-57,5	169-169,5
Grubość materiału - 3 mm / Material thickness - 3 mm					
B 1-10	410	0,005	2,5-2,57	57,5-58	169-170
B 11-20		0,007	2,58-2,61	57	168-169

Tablica 3. Wyniki badań Hastelloy C-276 dla drugiej operacji wyoblania z materiału o grubości 2 i 3 mm

Table 3. Hastelloy C-276 test results for the second spinning operation of 2 and 3 mm thick material

Nr próbki Sample no.	Obroty wrzeczona obr/min Spindle speed, rpm	Posuw m/s Travel, m/s	Średnia grubość ścianki mm Average wall thickness, mm	Kąt stopień Angle, degree	Średnica zew. mm Outer diameter, mm
Grubość materiału - 2 mm / Material thickness - 2 mm					
C 1-10	410	0,005	1,6-1,66	59,3	168,5-170
C 11-20		0,007	1,68-1,72	59,5-60	169-170
Grubość materiału - 3 mm / Material thickness - 3 mm					
D 1-10	410	0,005	2,35-2,41	59,3	168-169
D 11-20		0,007	2,48-2,52	59-59,5	167-168

Zastosowanie międzyoperacyjnej obróbki cieplnej oraz drugiej operacji wyoblania pozwoliło na zminimalizowanie wartości odprężynowania materiału. Otrzymano kąt połowy tworzącej stożka równy $59-60^\circ$, gdy po pierwszej operacji wyoblania kąt wynosił $57-58^\circ$. Dla materiału o grubości 2 mm w drugiej operacji wyoblania pocieniono materiał o grubość 0,1-0,13 mm. Otrzymano wyrób końcowy o średniej grubości ścianki 1,63 mm dla posuwu 0,005 m/s oraz 1,7 mm dla posuwu 0,007 m/s. Materiał o grubości 3 mm w drugiej operacji wyoblania pocieniono o 0,1-0,15 mm i otrzymano wyrób końcowy o średniej grubości ścianki równej 2,38 mm dla posuwu 0,005 m/s oraz 2,5 mm dla posuwu 0,007 m/s.

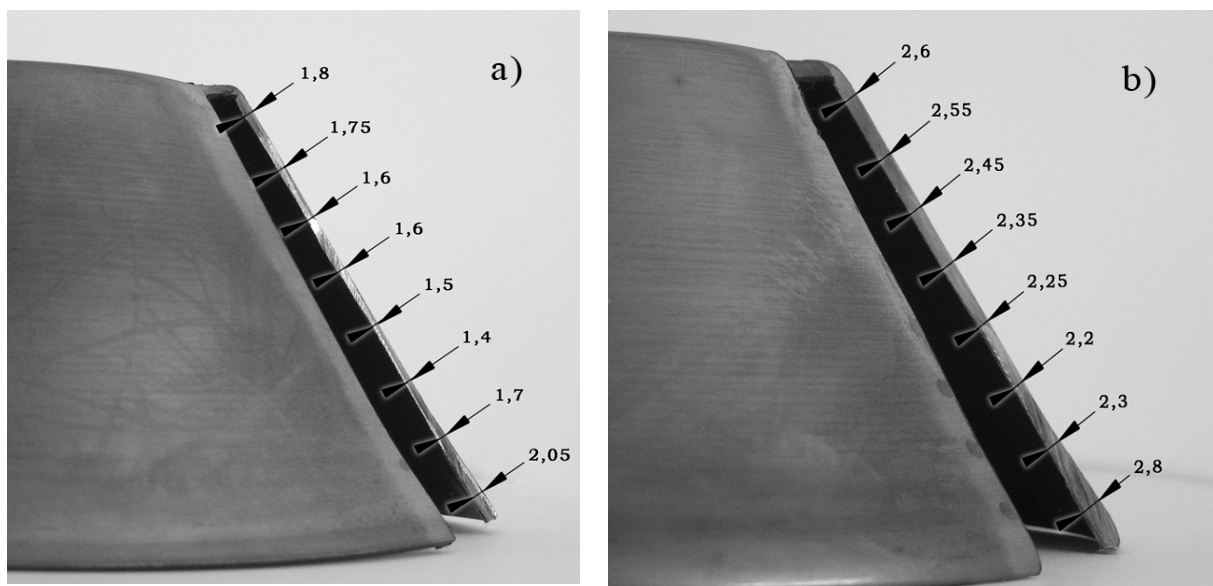
Na rys. 3 zamieszczono rozkład grubości ścianki wyrobu końcowego uzyskany w procesie wyoblania.

Gotowe wyroby otrzymane w procesie wyoblania pokazano na rys. 4.

The application of interoperation heat treatment and the second spinning operation has allowed for minimization of the material springback value. The cone of half angle value of $59-60^\circ$ has been obtained while the angle after the first spinning operation was $57-58^\circ$. For the 2 mm thick material, the material has been thinned by 0.1-0.13 mm in the second spinning operation. The final product had the average wall thickness of 1.63 mm for the travel of 0.005 m/s and 1.7 mm for the travel of 0.007 m/s. The 3 mm thick material has been thinned by 0.1-0.015 mm in the second spinning operation and the final product obtained had the average wall thickness of 2.38 mm for the travel of 0.005 m/s and 2.5 mm for the travel of 0.007 m/s.

In fig. 3 one can find the wall thickness distribution in the final product obtained in the spinning process.

Ready made products obtained in the process of spinning are shown in fig. 4.



Rys. 3. Rozkład grubości ścianki po drugiej operacji wyoblania dla wyrobu o grubości 2 mm (a) oraz 3 mm (b)
 Fig.3. Wall thickness distribution after the second spinning operation for a 2 mm thick product (a) and a 3 mm thick one (b)



Rys. 4. Wyroby z materiału Hastelloy C-276 otrzymane metodą wyoblania

Fig. 4. Products made of the Hastelloy C-276 material obtained by the method of spinning

W celu sprawdzenia maksymalnego odkształcenia materiału Hastelloy przeprowadzono badania wyoblania przy posuwie narzędzia kształtującego 0,008 m/s oraz 0,012 m/s. Zastosowano rolkę wyoblającą, o promieniu o 2 mm mniejszym niż poprzednio. Również w tym przypadku zaistniała konieczność przeprowadzenia obróbki cieplnej w celu wyeliminowania naprężeń powstałych podczas procesu wyoblania. Wyniki badań wyrobu gotowego zamieszczono w tablicy 4, a wyrób gotowy przedstawiono na rys. 5.

Otrzymano wyrób o mniejszym pocienieniu ścianki, niż w przypadku kształtowania przy mniejszych posuwach. Nie udało się całkowicie wyeliminować powstałego w poprzedniej operacji odsprężynowania; otrzymany kąt wynosił 59° .

In order to determine the maximum deformation of the Hastelloy C-276 material, tests have been performed with the forming tool travel of 0.008 m/s and 0.012 m/s. A spinning roll with the radius by 2 mm smaller than before. In this case, too, it was necessary to perform heat treatment in order to eliminate the stresses which had arisen during the process of spinning. The results of the ready made product tests can be found in table 4; a ready made product is shown in fig. 5.

The obtained product revealed less wall thinning than in the case of smaller travels. The springback from the previous operation could not be completely eliminated; the angle obtained was 59° .

Tablica 4. Wyniki badań materiału Hastelloy C-276 po drugiej operacji wyoblania dla grubości 2 i 3 mm

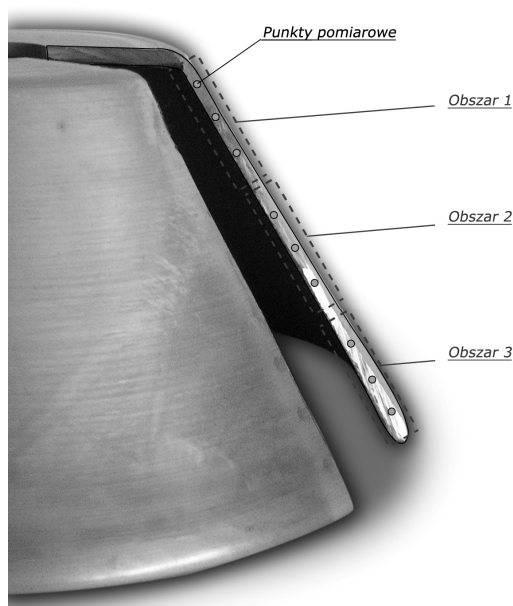
Table 4. Hastelloy C-276 test results after the second spinning operation of 2 and 3 mm thick material

Nr próbki Sample no.	Obroty wrzeczona obr/min Spindle speed, rpm	Posuw m/s Travel, m/s	Średnia grubość ścianki mm Average wall thickness, mm	Kąt stopień Angle, degree	Średnica zew. mm Outer diameter, mm
Grubość materiału - 2 mm / / Material thickness - 2 mm					
E 1-5	410	0,008	1,71-1,73	59	166-167
E 6-10		0,012	1,76-1,79	59	163-164
Grubość materiału - 3 mm / / Material thickness - 3 mm					
F 1-5	410	0,008	2,55-2,58	59	166-166,5
F 6-10		0,012	2,67-2,68	59	164



Rys. 5. Gotowy wyrób uzyskany metodą wyoblania dla posuwu 0,012 m/s

Fig. 5. Ready made product obtained by the method of spinning for the tool travel of 0.012 m/s



Rys. 6. Miejsca pomiaru twardości dla wyrobu otrzymanego w procesie wyoblania

Fig. 6. Hardness measurement points for the product obtained in the spinning process

Po procesie wyoblania dokonano pomiaru twardości wyrobów metodą $HV_{0,3}$, a miejsca pomiaru określono według schematu zamieszczonego na rys. 6.

Twardość wyrobu po pierwszej operacji wyoblania wynosiła od 344 do 378 $HV_{0,3}$. Na dnie nieodkształconego wyrobu, średnia twardość wynosiła 209 $HV_{0,3}$. Próbki poddano obróbce cieplnej, otrzymując średnią twardość na poboczniczy 215-220 $HV_{0,3}$, a następnie ponownie kształtowano stosując dwa ruchy wygładzające. Po przeprowadzeniu prób wyoblania pomierzono twardość próbek w obszarach 1-3.

After the spinning process, the product hardness has been measured by the $HV_{0,3}$ method and the measurement points have been determined according to the diagram shown in fig. 6.

The product hardness after the first spinning operation was from 344 to 378 $HV_{0,3}$. At the bottom of the not deformed product, the average hardness was 209 $HV_{0,3}$. The samples were subjected to heat treatment and the average side wall hardness obtained was 215 – 220 $HV_{0,3}$. Then, they were formed again with the application of two smoothing motions. After the spinning tests, the sample hardness was measured in areas 1-3.

Ze względu na znacznie mniejsze przeformowanie materiału otrzymano mniejszą niż w pierwszej operacji wyoblania twardość wyrobu równą 294 do 315,8 HV_{0,3}. Najślabiej, bo tylko do poziomu 296–301 HV_{0,3} utwardzony został obszar 1.

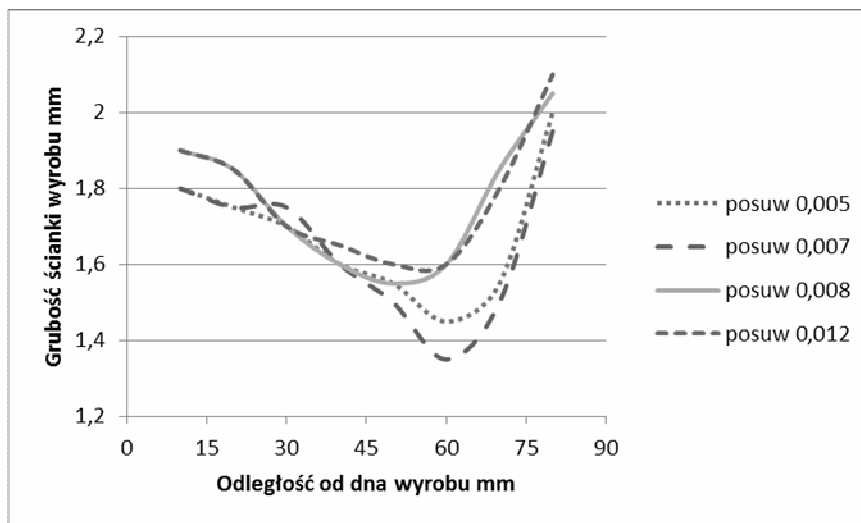
Na rysunku 7 pokazano rozkład grubości ścianki dla wyrobów kształtowanych przy posuwie 0,005, 0,007, 0,008 i 0,012 m/s.

Wyroby po drugiej operacji poddano pomiarom chropowatości, a wyniki badań zamieszczono w tablicy 5.

Due to much less deformation of the material a lower hardness (equal to 294÷315.8 HV_{0,3}) was obtained than that in the first spinning operation. The least hardness occurs in area 1 and it equals 296–301 HV_{0,3}.

Fig. 7 shows the distribution of the wall thickness for products formed with the tool travel of 0.005, 0.007, 0.008 and 0.012 m/s.

Products after the second operation were subjected to roughness measurement (results presented in Table 5).



Rys. 7. Rozkład grubości ścianki wyrobów otrzymanych metodą wyoblania w zależności od posuwu
Fig. 7. Wall thickness distribution of products made by the method of spinning depending on the tool travel

Tablica 5. Chropowatość wyrobów z materiału Hastelloy C-276 po procesie wyoblania
Table 5. Roughness of Hastelloy C-276 material products after the process of spinning

Posuw m/s Tool travel, m/s	Chropowatość Ra, μm Roughness, Ra, μm			
	Obszar 1 Area 1	Obszar 2 Area 2	Obszar 3 Area 3	Średnia wartość Average value
Grubość materiału - 2 mm / Material thickness - 2 mm				
0,005	2,46	2,86	2,38	2,57
0,007	2,05	2,18	2,58	2,27
0,008	1,45	1,99	1,46	1,63
0,012	1,59	1,4	1,46	1,48
Grubość materiału - 3 mm / Material thickness - 3 mm				
0,005	2,36	1,8	2,15	2,1
0,007	1,86	2,09	2,67	2,21
0,008	0,58	1,07	1,12	1,02
0,012	1,72	1,45	1,64	1,6

Jak wynika z pomiarów najmniejszą chropowatość wyrobu otrzymano dla posuwu 0,005 m/s oraz 0,008 m/s.

3. WNIOSKI

1. Wykazano możliwość kształtowania materiału Hastelloy C-276 metodą wyoblania na zimno.
2. Zastosowanie międzyoperacyjnej obróbki cieplnej minimalizuje odsprężynowanie powstałe podczas procesu wyoblania.
3. Wraz ze wzrostem posuwu zwiększa się wartość odsprężynowania wyoblanego materiału Hastelloy C-276.
4. Prędkość posuwu rolki wyoblającej wpływa na wartość pocienienia ścianki wyrobu końcowego. Przy wolniejszych posuwach uzyskuje się większe pocienienie ścianki.

Podziękowania

Badania materiału Hastelloy C-276 realizowane były w ramach projektu badawczego własnego Nr N N507 593838, pt. „Technologia kształtowania plastycznego złożonych wyrobów dla przemysłów: lotniczego, chemicznego i komunalnego ze stopu niklu i molibdenu Hastelloy C-276”.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Szummer A., Lublinska K.: Wpływ odkształcenia plastycznego na dyfuzję wodoru w odpornych na korozję stopach niklu. *Inżynieria Materiałowa* 2006 Nr 1 s. 23-28.
- [2] Akhter J.I., Shaikh M.A., Ahmad M., Iqbal M.: Effect of aging on the hardness and impact properties of Hastelloy C-276. *Journal of Materials Science Letters* 2001, 20, 333-335.
- [3] Podaný P., Kraus L., Zrník J.: Nickel Superalloys Microstructural Changes Caused by Forming. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 2008 nr 6 s. 506-608.
- [4] Drenger T., Nowacki Ł., Gądek T., Frąckowiak S., Pawlicki M.: Kształtowanie obrotowe wyrobów z materiałów trudno odkształcalnych. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 2011 (październik) s. 15.

As can be seen from the measurement results, the least roughness of Hastelloy C-276 material has been obtained for the tool travel of 0.005 and 0.008 m/s.

3. CONCLUSIONS

1. *The possibility of forming the Hastelloy C-276 material by the method of cold spinning has been proved.*
2. *The application of interoperation heat treatment minimizes springback occurring during the spinning process.*
3. *The increase of the tool travel, rises the value of springback of the spinned Hastelloy C-276 material.*
4. *The travel speed of the spinning roll affects the average wall thickness in the final product. Less travel speed results in more wall thinning.*

Acknowledgements

The Hastelloy C-276 material tests have been performed within the Institute's own investigation project No. N507 593838 entitled "Technology of plastic forming of complex products of Hastelloy C-276 alloy of nickel and molybdenum for aircraft industry, chemical and municipal industry".