

Dr inż. Marek PAWLICKI, mgr inż. Tadeusz DRENGER, mgr inż. Łukasz NOWACKI,
mgr inż. Tomasz GADEK, mgr inż. Sławomir FRĄCKOWIAK, inż. Michał PIESZAK
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań
e-mail: marek.pawlicki@inop.poznan.pl

Specjalne technologie kształtowania rolkami – – przykłady aplikacji w przemyśle

Special technologies of forming by rolls – examples of application in industry

Streszczenie

W artykule przedstawiono dwa procesy technologiczne kształtowania wyrobów na specjalnej maszynie, zaprojektowane na potrzeby przedsiębiorstw przemysłowych. Jeden z materiałów wyjściowych wymagał zastosowania obróbki cieplnej (przesycania) w celu zmniejszenia oporów kształtowania plastycznego, a drugi zastosowania zespołu trzymania półfabrykatu i pospawania dwóch połówek celem kształtowania krawędzi tak złączonej próbki. Uzyskano pozytywne wyniki badań (w postaci wyrobów spełniających warunki odbioru), które mogą być z powodzeniem wdrożone do praktyki przemysłowej.

Abstract

The paper presents two technological processes of forming products on a special machine, designed for the needs of industrial enterprises. One of the materials required heat treatment (Solution heat treatment) in order to reduce the plastic metal forming resistance; the other required the application of a blank holding unit and welding of the two halves to form the edges of the sample joined in this way. The investigation has rendered positive results (in the form of products meeting the conditions of acceptance) which can be successfully implemented in industrial practice.

Słowa kluczowe: kształtowanie obrotowe, specjalna maszyna, próby technologiczne, konstrukcja

Keywords: rotary forming, special machine, technological tests, design

1. WSTĘP

W ramach współpracy z zakładami przemysłowymi wykonano w Instytucie Obróbki Plastycznej próby kształtowania obręczy ze stali nierdzewnej 1.4301 (pkt. 1.1) dla przedsiębiorstwa z Gorzowa Wlkp. oraz badania kształtowania elementów układów kominowych ze stali tzw. czarnej (DC01) (pkt. 1.2) dla zakładu przemysłowego z Kościana.

Wykonanie elementów cylindrycznych z zagiętą poboczną (ukształtowanym kołnierzem) może być realizowane w przyrządach na prasach, lub w maszynach do kształtowania obrotowego (wyoblarki, wyoblarko-zgniatarki, żłobiarki, itp.). O ile jednak wykonanie takich części metodami klasycznymi (tłoczenia) wiąże

1. INTRODUCTION

Within collaboration with industrial plant, the Metal Forming Institute has performed trials of forming rings of stainless steel 1.4301 (item 1.1) for an enterprise in Gorzów Wlkp. and investigation of forming chimney system elements of the so called black steel (DC01) (item 1.2) for an industrial plant in Kościan.

Cylindrical elements with bend side wall (formed flange) can be executed in devices on presses or in rotary forming machines (spinning machines, flow forming ones, grooving machines, etc.). However, while execution of such parts by the classical methods (stamping) involves the necessity of manufacturing

się bezpośrednio z koniecznością wykonania drogich przyrządów (tłoczników), o tyle wybrana grupa metod kształtowania obrotowego wymaga zastosowania jedynie rolek o odpowiedniej geometrii (zaprojektowanej specjalnie dla kształtów, wymiarów, grubości ścianki i rodzaju materiału części).

Kolejnym argumentem, który przemawia za zastosowaniem kształtowania obrotowego przy wykonywaniu elementów cylindrycznych jest prostota przygotowania procesu wytwarzania.

Pewnym ograniczeniem jest jednak czas kształtowania – tzn. jest on zazwyczaj dłuższy niż w metodach z grupy tłoczenia. Przy dużych seriach (powyżej 10 000 szt.) bardziej opłacalne staje się wykorzystanie metod klasycznych (tłoczenia) i zaprojektowanie specjalnych przyrządów.

Metody kształtowania obrotowego stosuje się przy wykonaniu prototypów, produkcji jednostkowej i małoseryjnej.

Ze względu na nietypowy, prototypowy charakter części, będących przedmiotem współpracy, zrealizowano badania kształtowania obrotowego. Próby wykonano na specjalnej maszynie będącej od niedawna na wyposażeniu Instytutu (rys. 1). Przy ustalaniu metodyki badań wspierano się wynikami badań własnych [1] wytycznymi klientów oraz wynikami zawartymi w pracach [2-5].

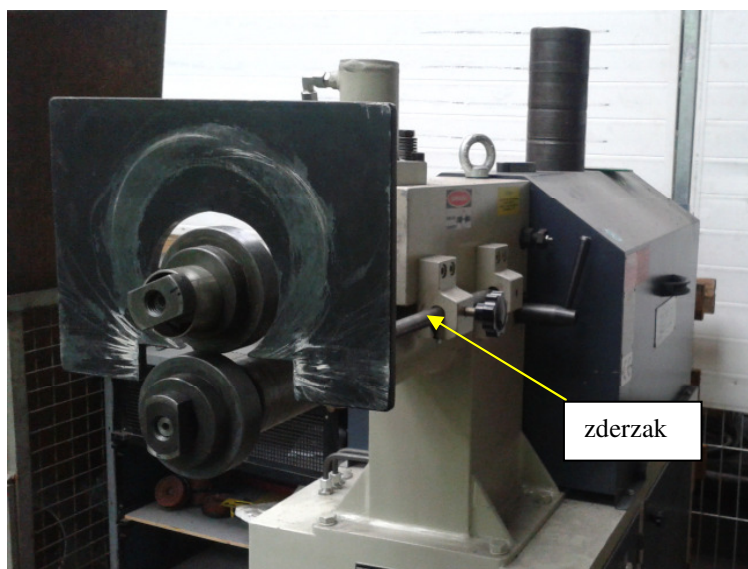
expensive devices (stamping dies) the selected group of rotary forming methods requires only the application of rolls with adequate geometry (designed specially for the part shapes, dimensions, wall thickness and kind of material).

Another reason why flow forming should be applied in manufacturing cylindrical elements is the simplicity of the manufacturing process preparation.

Some limitation is the time of forming, i.e. it is usually longer than in the stamping methods. In the case of long series (over 10 000 pcs) it becomes more cost-effective to apply classical methods (stamping) and to design special devices.

The rotary forming methods are applied in prototype making, in unitary and short series production.

Due to the unique, prototype character of the parts being the object of collaboration, investigation of rotary forming has been realised. The tests have been performed on a special machine which has been incorporated in the Institute's equipment not long ago (fig.1). When establishing the investigation methods, the results of the Institute's own investigations have been used [1], as well as the customers' guidelines and the results stated in works [2-5].



Rys. 1. Stanowisko badawcze zastosowane do realizacji badań kształtowania obrotowego przygotowane do prób wraz z widocznym zderzakiem (ogranicznikiem strefy kształtowania i przykładowymi rolkami)

Fig. 1. Test stand used in the investigation of rotary extrusion prepared for trials with visible fender (forming zone limiter) and examples of rolls

2. BADANIA KSZTAŁTOWANIA OBREŹ- CZY ZE STALI NIERDZEWNEJ

Na potrzeby realizacji prób technologicznych dla obręczy ze stali nierdzewnej 1.4301 (rys. 2) zaprojektowano w programie Solid Works 12 specjalne rolki (rys. 3). Dostarczono do badań 10 próbek rur zgrzewanych (rys. 2). Ogranicznik strefy kształtowania zamontowano na specjalnym zderzaku maszyny (rys. 1).

Zoptymalizowano parametry kształtowania na specjalnej maszynie, regulując ciśnienie siłownika dociskającego górną rolkę oraz korygując wymiary rolek (co ma wpływ na prędkość obwodową rolek). Końcowe parametry podano w tabeli 1.

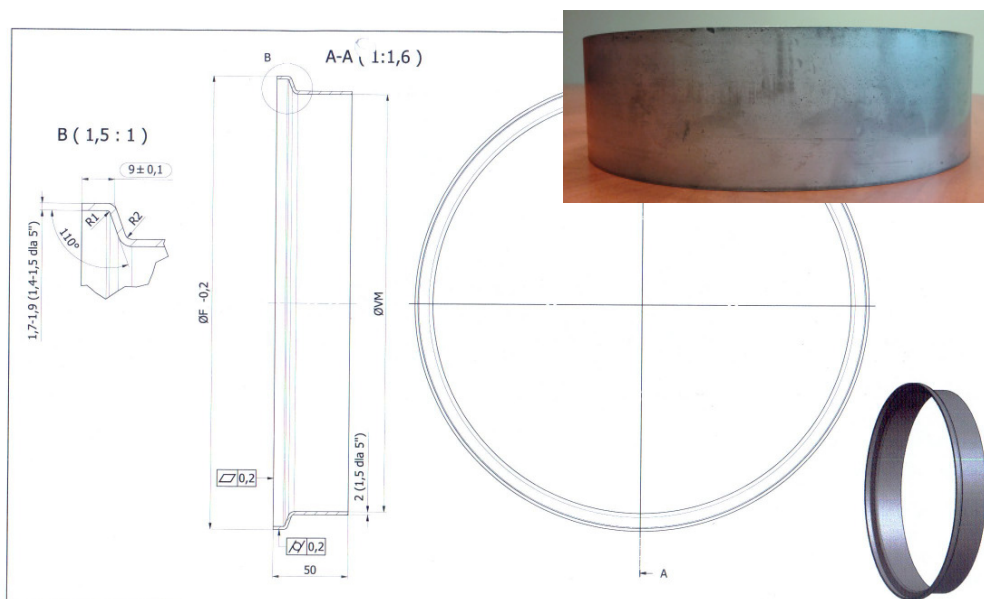
2. INVESTIGATION OF FORMING A STAINLESS STEEL RING

For the realisation of technological tests for 1.4301 stainless steel rings (fig. 2), special rolls (fig. 3) have been designed in the Solid Works 12 program. Ten samples of pressure welded pipes (fig. 2) have been supplied for the tests. The forming zone limiter has been mounted on a special fender of the machine (fig. 1).

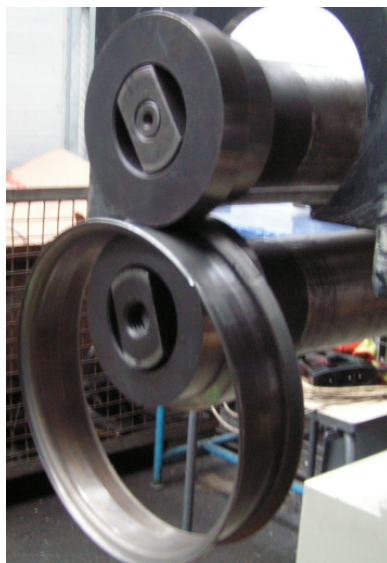
The forming parameters were optimised on a special machine by adjusting the pressure of the servomotor pressing the upper roll and correcting the roll dimensions (which influences the circumferential speed of the rolls). The final parameters have been stated in table 1.

Tabela 1. Optymalne, końcowe parametry kształtowania obręczy
Table 1. Optimum, final parameters of ring forming

Lp. / Parametr Item / Parameter	Obroty trzpieni do mocowania rolek [obr./min] Roll fixing mandrel speed [rpm]	Siła docisku górnej rolki [kN] Upper roll pressing force [kN]	Prędkość obwodowa [mm/min] Circumferential speed [mm/min]
1	10,7	16,5	4233,4



Rys. 2. Rysunek gotowej obręczy ze stali nierdzewnej udostępniony przez klienta i przykładowa obręcz wyjściowa
Fig. 2. A drawing of a ready made stainless steel ring made available by the customer and an example of an initial ring



Rys. 3. Stanowisko badawcze podczas prób kształtowania z widokiem zaprojektowanych rolek do kształtowania obręczy; rolki zaprojektowano w oparciu o wyniki [1]

Fig. 3. The test stand during forming trials with a view of the designed ring forming rolls; the rolls have been designed basing on the results of [1]

Siłę docisku górnej rolki kontrolowano za pomocą regulacji ciśnienia w układzie hydraulicznym i mierzono manometrem (pomiar dokonywany był na bieżąco w barach i przeliczany na kN).

Geometrie i wymiary ukształtowanych na zimno obręczy (rys. 4), po pierwszych próbach, znacznie odbiegały od żądanych kształtów docelowych (nie spełniały warunków technicznych odbioru – rys. 2). Odznaczały się nieregularnym zarysem kształtu i nie mieściły się w odchyłkach kołowości i płaskości, co można tłumaczyć trudnością kształtowania obręczy na zimno ze stali nierdzewnej. Rolki wymagały korekty kształtu w celu poprawy uzyskanych parametrów geometrycznych po analizie pomiarów kształtu i grubości ścianki.

The upper roll pressing force has been controlled by adjusting the pressure in the hydraulic system measured with a manometer (the measurement was currently effected in bar and converted into kN).

The geometries and dimensions of cold formed rings (fig. 4) after the first trials differed significantly from the desired target shapes (they did not meet the technical acceptance requirements – fig. 2). They had irregular outline of the shape and they were not included in the limit deviations of circularity and flatness, which can be explained by the difficulty of cold forming of stainless steel ring. The rolls required a shape correction in order to improve the obtained parameters after the analysis of the shape and wall thickness parameters.



Rys. 4. Obręcze po pierwszych próbach – nie spełniają warunków odbioru technicznego

Fig. 4. Rings after first trials – do not meet the requirements of technical acceptance

Tabela 2. Porównanie wymiarów rzeczywistych i rysunkowych obręczy ze stali nierdzewnych – po korekcie kształtu rolek

Table 2. Comparison of actual and drawing dimensions of stainless steel rings – after roll shape correction

Obręcz / Wymiar <i>Ring / dimension</i>	Średnica wew. (śr.) [mm] <i>Inner diameter (dia.) [mm]</i>	Średnica zew. (śr.) [mm] <i>Outer diameter (dia.) [mm]</i>	Promień przegięcia [mm] <i>Radius of flange [mm]</i>	Grubość ścianki przy kołnierzu [mm] <i>Wall thickness at the flange [mm]</i>
Teoretyczna (rysunek) <i>Theoretical (drawing)</i>	202,0	213,6	1,0 2,0	1,70-1,90
Rzeczywista próbka <i>Actual sample</i>	202,5	214,8	3,0	1,93

Tabela 3. Porównanie wymiarów rzeczywistych i rysunkowych obręczy ze stali nierdzewnych – po przesyleniu obręczy wyjściowych

Table 3. Comparison of actual and drawing dimension of stainless steel rings - after heat treatment of the initial rings

Obręcz / Wymiar <i>Ring / dimension</i>	Średnica wew. (śr.) [mm] <i>Inner diameter (dia.) [mm]</i>	Średnica zew. (śr.) [mm] <i>Outer diameter (dia.) [mm]</i>	Promień przegięcia [mm] <i>Radius of flange [mm]</i>	Grubość ścianki przy kołnierzu [mm] <i>Wall thickness at the flange [mm]</i>
Teoretyczna (rysunek) <i>Theoretical (drawing)</i>	202,0	213,6	1,0 2,0	1,70-1,90
Rzeczywista próbka <i>Actual sample</i>	202,0	213,7	1,5	1,81

Jak wynika z tabeli 2, po korekcie kształtu rolek, najbardziej zbliżony dożądanego był wymiar średnicy wewnętrznej. Ze względu jednak na zbyt duży promień przegięcia, zbyt dużą średnicę zewnętrzną oraz grubość ścianki przy kołnierzu, podjęto dalsze modyfikacje metody kształtowania. Konieczność modyfikacji procesu wynikała także z widocznych gołym okiem wad obręczy (rys, wgłębienia). Dlatego podjęto próby zmniejszenia oporu kształtowania plastycznego na drodze przesylenia połowy próbek w temperaturze 1060° w czasie 1 godziny. Chłodzenie zrealizowano w azocie w czasie 10 min. Tak obrobione cieplnie obręcze (rys. 5) były ukształtowane prawidłowo (rys. 6, tab. 3). Po przesyleniu (tab. 3) wymiary (m.in. średnica wewnętrzna i zewnętrzna, promień przegięcia, grubość ścianki przy kołnierzu) ukształtowanych obręczy spełniały warunki odbioru. Na próbkach stwierdzono również brak wad w postaci rys i wgłębienia.

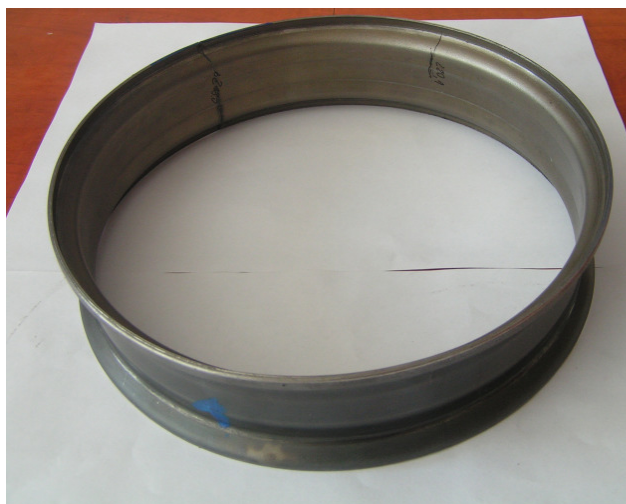
As can be seen from table 2, after correction of the roll shape, the inner diameter was the dimension closest to the desired one. However, due to the too large radius of flange, too large inner diameter and wall thickness at the flange, further modifications of the forming method have been undertaken. The necessity of the process modification has also been due to the defects of the ring (scratches, cavities) visible to the naked eye. That is why attempts have been made to reduce the plastic forming resistance by solution heat treatment half of the samples at the temperature 1060°C for 1 hour. Cooling has been performed in nitrogen for a period of 10 minutes. Rings heat treated in this way (fig. 5) were formed correctly (fig. 6, table 3). After heat treatment (table 3), the dimensions (among others, the inner and outer diameter, radius of contraflexure, wall thickness at the flange) of the formed rings have met the acceptance requirements. No defects in the form of scratches and cavities have been found on the samples, too.

Aktualnie są prowadzone rozmowy z przedsiębiorstwem przemysłowym w celu zaprojektowania specjalnej maszyny do realizacji kształtowania obrotowego wyrobów w warunkach produkcyjnych.

At the moment, negotiations with the industrial enterprise are conducted aiming at designing a special machine for rotary forming of products under manufacturing conditions.



Rys. 5. Obręcze po obróbce cieplnej (przesyceniu) przygotowane do prób kształtowania
 Fig. 5. Rings after heat treatment (solution heat treatment) prepared for the tests of forming



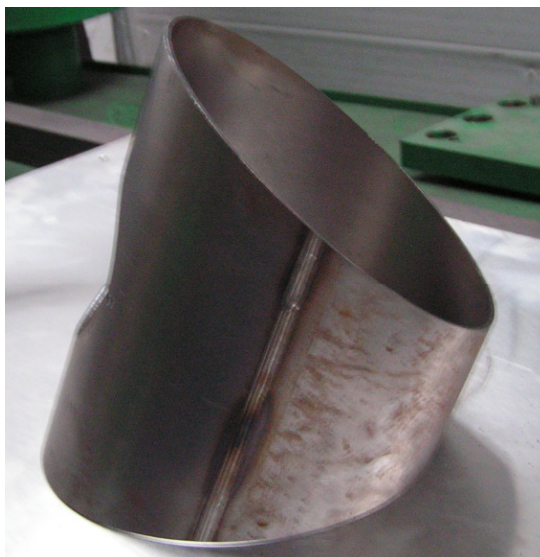
Rys. 6. Prawidłowe obręcze spełniające warunki odbioru technicznego
 Fig. 6. Correct rings meeting the technical acceptance requirements

3. BADANIA KSZTAŁTOWANIA ELEMENTÓW UKŁADÓW KOMINOWYCH

Również na potrzeby realizacji prób technologicznych dla elementów układów kominowych (rys. 7) zaprojektowano specjalne rolki w programie VISI Cad 18 (rys. 8). Do badań, od klienta otrzymano 15 zukosowanych pod kątem próbek (rur) ze stali DC01 (rys. 9). Ogranicznik strefy kształtowania zamontowano na zderzaku maszyny (rys. 1) ze względu na kształt materiału wyjściowego (zukosowanych rur).

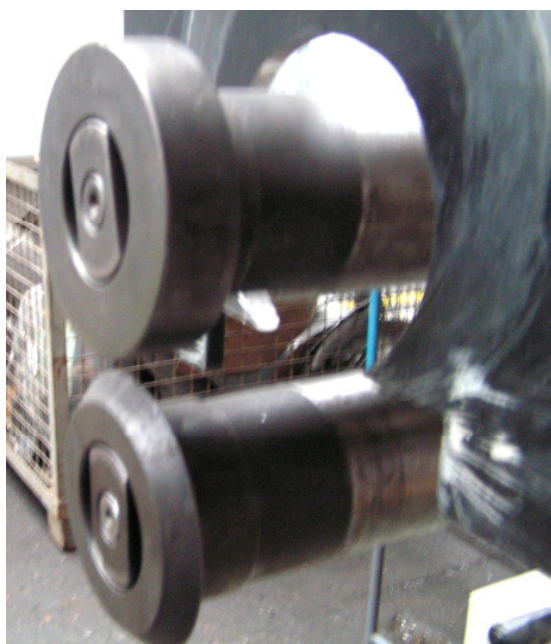
3. INVESTIGATION OF FORMING CHIMNEY SYSTEM ELEMENTS

For the technological tests for chimney system elements (fig. 7), special rolls have been designed in the VISI Cad 18 program (fig. 8). For the investigation, the customer has provided 15 samples (pipes) with oblique ends made of DC01 steel (fig. 9). The forming zone limiter has been fixed on the machine fender (fig. 1) due to the shape of the initial material (oblique pipes).



Rys. 7. Rura wyjściowa zukosowana pod kątem – przygotówka do wykonania elementów układów kominowych dostarczona do prób przez klienta

Fig. 7. Initial pipe made oblique – a blank for the execution of chimney system elements provided for the tests by the customer



Rys. 8. Specjalnie skonstruowane rolki do kształtowania elementów układów kominowych; rolki zaprojektowano w oparciu o wyniki [1] i próby kształtowania obręczy (pkt. 1.1)

Fig. 8. Specially designed rolls for forming chimney system elements; the rolls have been designed basing on the results [1] and the ring forming tests (item 1.1)

Tabela 4. Optymalne parametry kształtowania elementów układów kominowych (analogicznie jak dla obręczy)
Table 4. Optimum parameters of forming chimney system elements (similar as in the case of rings)

Lp. / Parametr Item / Parameter	Obroty trzpieni do mocowania rolek [obr./min] Roll fixing mandrel speed [rpm]	Siła docisku górnej rolki [kN] Upper roll pressing force [kN]	Prędkość obwodowa [mm/min] Circumferential speed [mm/min]
1	10,6	16,4	4193,8; 4326,9

Końcowe parametry kształtowania elementów podano w tabeli 4.

Tak, jak w przypadku kształtowania obręczy, siła docisku górnej rolki kontrolowana była za pomocą regulacji ciśnienia w układzie hydraulicznym i mierzona manometrem (pomiar dokonywany na bieżąco w barach i przeliczany na kN). Również w przypadku elementów układów kominowych, w pierwszych próbach nie udało się uzyskać geometrii i wymiarów, które byłyby zgodne z żądanymi wymiarami docelowymi (spełniałyby zatem warunki techniczne odbioru) – rys. 9. Problem w złożeniu wynikał z kształtu przygotówki (krawędzie rury nie były równoległe względem siebie).

O ile w przypadku obręczy (pkt. 1.1) można było zastosować proces przesycania, dlatego, że materiał kształtowany nie był dostatecznie plastyczny, o tyle w przypadku elementów układów kominowych problem nie wynikał z właściwości plastycznych materiału (blacha DC01 dostatecznie dobrze się odkształca), tylko z kształtu przygotówek (zukosowanych rur). Podjęto zatem próby pospawania dwóch rur w jedną rurę (rys. 10) tak, aby można było zastosować proste zderzaki i realizować kształtowanie przy zastosowaniu specjalnego zespołu trzymania (rys. 11).

Te działania przyniosły pozytywne rezultaty, ukształtowano kołnierz rury i spełniał on warunki odbioru technicznego – rys. 12.

The final parameters of forming the elements have been stated in table 4.

As in the case of forming rings, the force of the upper roll pressing was controlled by adjusting the pressure in the hydraulic system and measured with a manometer (the measurement performed in bars and converted to kN). In the case of chimney system elements, too, geometry and dimensions conforming with the target ones (and, consequently, meeting the acceptance requirements) have not been fully obtained – fig. 9. The problem of grooving resulted from the shape of the blank (pipe edges were not parallel to each other).

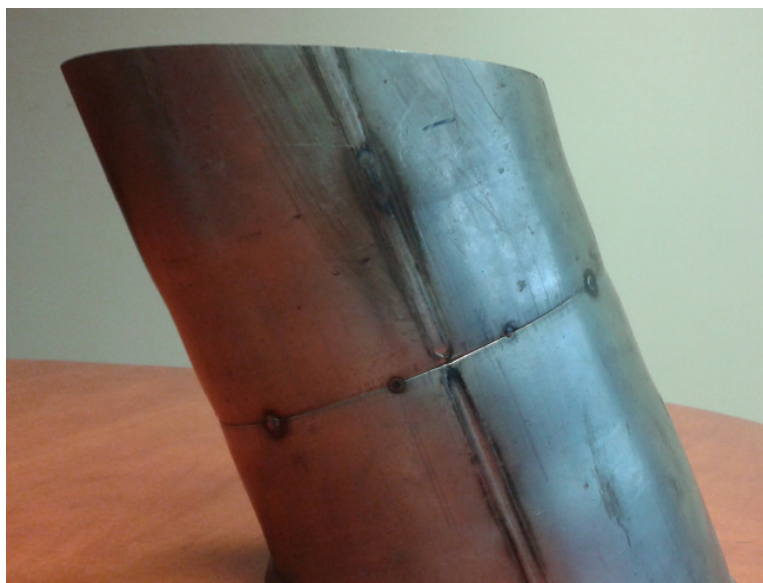
In the case of rings (item 1.1), the process of solution heat treatment could be applied because the material to be formed was not sufficiently plastic; in the case of chimney system elements the problem did not result from the plastic properties of the material (DC01 sheet is sufficiently deformable), but from the shape of blanks (oblique ended pipes). Therefore, trials of welding two pipes together into a single one (fig. 10) have been performed so that straight fenders could be used and the forming process performed with the application of a special holding unit (fig. 11).

Those actions have brought positive results, pipe flange has been formed and it met the requirements of technical acceptance – fig. 12.



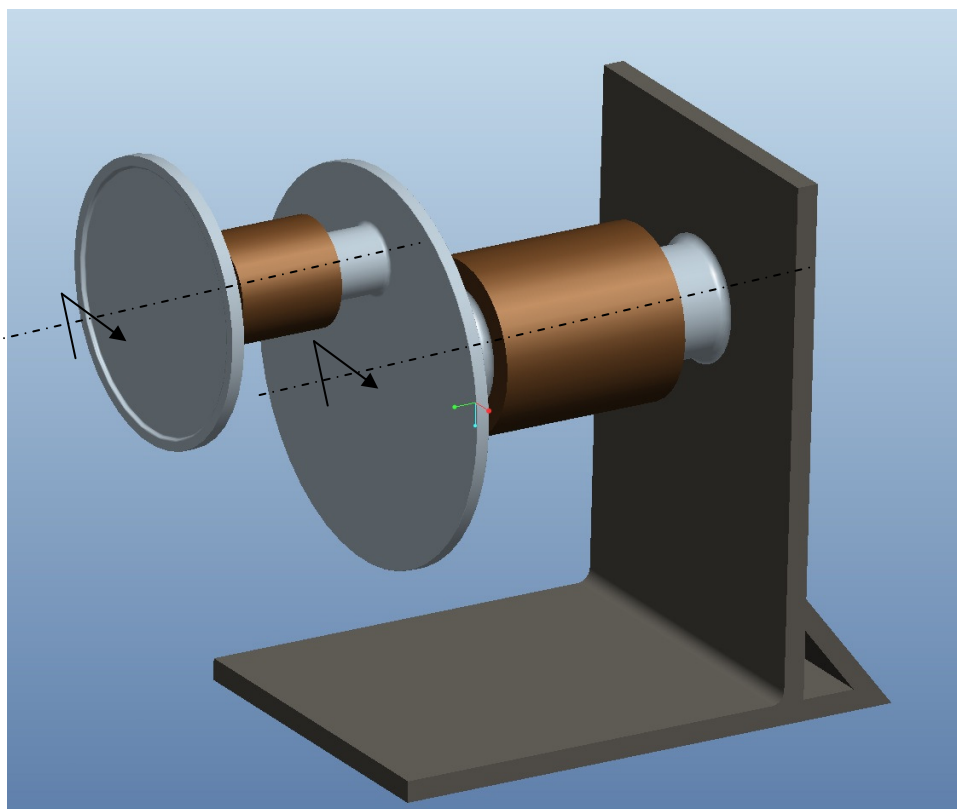
Rys. 9. Elementy układów kominowych z ukształtowanym kołnierzem niespełniające warunków odbioru technicznego (kolorem zaznaczono wady w postaci rys i wgłębień)

Fig. 9. Chimney system elements with formed flange not meeting the requirements of technical acceptance (colour marks defects in the form of cavities and scratches)



Rys. 10. Pospawane dwie rury i połączone w jedną próbkę celem eliminacji niekorzystnych zjawisk na styku narzędzie – rura kształtowana prowadzących m.in. do wygięcie kołnierza

Fig. 10. Two pipes welded to each other and joined into one sample in order to eliminate disadvantageous phenomena at the tool-formed pipe contact resulting, among others, in the flange deflection



Rys. 11. Wizualizacja specjalnego, zarazem prostej konstrukcji zespołu trzymania użytego do prób kształtowania elementów układów wentylacyjnych

Fig. 11. Visualisation of the special, but of simple design, holding unit used in the trials of forming ventilation system elements



Rys. 12. Końcowy wyrób – pospawana rura z ukształtowanym kołnierzem spełniająca warunki odbioru technicznego zawarte w zapytaniu ofertowym klienta

Fig. 12. The final product – welded pipe with formed flange meeting the requirements of technical acceptance stated in the customer's inquiry

W związku z pozytywnymi wynikami również i tych prób podejmowane są uzgodnienia celem zaprojektowania i wykonania w metalu prototypu maszyny z prostym zespołem trzymania do realizacji procesu kształtowania elementów układów kominowych dla zakładu przemysłowego.

4. PODSUMOWANIE

1. Korekta rolek na etapie badań kształtowania obręczy nie okazała się skuteczna (wymiary i geometria próbek odbiegały od żądanych). Dzięki zastosowanej obróbce cieplnej przygotówek obręczy zmniejszono opory plastycznego kształtowania i wykonano próbki spełniające warunki odbioru technicznego (pod kątem geometrii, wymiarów i kształtu).
2. W badaniach kształtowania elementów układów kominowych również korekta rolek nie pozwoliła na otrzymanie próbek spełniających warunki odbioru. Dzięki pospawaniu przygotówek (zucosowanych rur) na elementy układów wentylacyjnych oraz zastosowaniu specjalnego zespołu trzymania, zrealizowano z powodzeniem badania, w których wyniku uzyskano próbki spełniające pożądane warunki odbioru technicznego.

Considering the positive results of those tests, too, negotiations are undertaken in order to design the prototype of a machine with simple holding unit for the realisation of the process of forming chimney system elements for an industrial enterprise

4. SUMMARY

1. Correction of the rolls at the stage of ring forming tests has not been effective (the sample dimensions and geometry differed from the desired ones). Thanks to the heat treatment of the ring blanks, plastic forming resistance has been reduced and samples meeting the requirements of technical acceptance (in respect of geometry, dimensions and shape) have been made.
2. In the investigation of forming chimney system element, correction of rolls has not allowed us to obtain samples meeting the acceptance requirements. Thanks to welding of the blanks (oblique ended pipes) for ventilation system elements and to the application of the special holding unit, tests have been successfully realised, which has resulted in obtaining samples meeting the desired requirements of technical acceptance.

3. W badaniach obróbki elementów układów kominowych nie prowadzono obróbki cieplnej materiału wyjściowego gdyż stal DC01 odznacza się dostateczną plastycznością do kształtowania obrotowego. Problem technologiczny stanowił kształt przygotówek, co rozwiązano spawając dwie połówki rury razem ze sobą (uzyskując równoległe krawędzie próbki – niezbędne do wybranej metody kształtowania).
 4. Pomyślna realizacja prób w nowym stanowisku badawczym pozwoliła na prowadzenie rozmów zarówno z jednym, jak i drugim przedsiębiorstwem w zakresie zaprojektowania, wykonania w metalu i uruchomienia specjalistycznych maszyn do wykonywania wyrobów (obręczy i elementu układów kominowych) na skalę produkcyjną.
3. *In the investigation of chimney element processing, the initial material has not been heat treated because DC01 steel reveals sufficient plasticity for rotary forming. The technological problem was in the shape of blanks, which has been solved by welding two pipe halves to each other (obtaining parallel sample edges, necessary for the selected forming method).*
 4. *The successful realisation of the tests in the new test stand has allowed us to negotiate with both enterprises concerning designing, execution and launching of specialized machines for manufacturing the products (rings and chimney system element) in the scale of industrial production.*

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Raport z pracy własnej nr BT 904.04.01, 2011, niepublikowany,
- [2] Cho J.R., Song J.I., Swaging process of power steering hose: Its finite element analysis considering the stress relaxation. *Journal of Materials Processing Technology* 187–188 (2007), s. 497–501.
- [3] Lim S., Choi H., Lee C., Forming characteristics of tubular product through the rotary swaging process. *Journal of Materials Processing technology* 209 (2009), s. 283–288.
- [4] Aoki K., Aruga K., Numerical ball swaging analysis of head arm for hard disk drives. *Microsystem Technology* 13 (2007), s. 943–949.
- [5] Lee G., Kim H., Park J., Jin H., Lee Y., Kim J., An Experimental Study and Finite Element Analysis for Finding Leakage Path in High Pressure Hose Assembly. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 12 nr 3 (2011), s. 537-542.