

Badania modelowe procesu walcowania pierścieni

Model tests of the ring rolling process

(1) Jarosław Lulkiewicz*  (2) Szymon Szkudelski  (3) Stanisław Ziółkiewicz 

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 2.07.2019

Recenzja: 5.07.2019

Akceptacja: 30.08.2019

Wkład autorów

- (1) Opracowanie artykułu, metodyka, badania numeryczne
- (2) Analiza literatury, badania numeryczne
- (3) Nadzór nad realizacją prac badawczych

ORCID iD

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2703-6970>
- (2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
- (3) <https://orcid.org/0000-0002-0684-1981>

Streszczenie

Wytwarzanie pierścieni metodą kuto-walcowaną należy do najbardziej widowiskowych, a zarazem zaawansowanych kinematycznie procesów obróbki plastycznej. Opracowane technologie kształtowania pierścieni są bardzo cenne i stanowią *know-how* firm, które nie jest ani udostępniane, ani publikowane. Obecnie wykonanie kuto-walcowanych pierścieni polega na walcowaniu pierścieni z jednoczesnym profilowaniem pobocznic w szczególności materiałów lekkich. Niniejsza praca stanowi wstęp do badań nad opracowaniem i weryfikacją procesu walcowania pierścieni ze stopu aluminium EN AW-7075. W pracy przedstawiono studium opracowania procesu walcowania pierścieni w programie symulacyjnym Simufact Forming, wykorzystującym metodę elementów skończonych. Na wstępie przedstawiono planowaną metodykę badawczą, mającą na celu uzyskanie zweryfikowanej technologii kształtowania pierścieni. Zaprezentowano zakres i metodę przeprowadzenia badań plastometrycznych, które posłużyły do opracowania matematycznego opisu zmian materiałowych. W dalszej części wskazano na zależności pomiędzy różnymi rodzajami przyjętej kinematyki walców w procesie walcowania pierścieni, jej wpływem na przebieg procesu i geometrię pierścienia. Artykuł wskazuje na możliwość zastosowania uproszczonego procesu symulacyjnego, który nie wpłynie na przebieg walcowania po przeniesieniu wyników do badań fizycznych przeprowadzonych na walcarki laboratoryjnej lub przemysłowej. Otrzymane wyniki badań kształtowania numerycznego pierścienia, takich warunków procesu, jak: prędkość obrotowa walca głównego, posuw trzpienia oraz zapotrzebowanie siłowe procesu posłużyły do zaprojektowania i wykonania modelowej walcarki do pierścieni, na której przeprowadzone zostaną badania weryfikujące symulacje.

Słowa kluczowe: walcowanie pierścieni, aluminium, walcarka, profilowane pierścienie

Article info

Received: 2.07.2019

Reviewed: 5.07.2019

Accepted: 30.08.2019

Authors' contribution

- (1) Preparation of article, methodology, numerical investigation
- (2) Analysis of literature, numerical investigation
- (3) Supervision of the research works

Abstract

Manufacturing of rings rolling method is among the most spectacular and most kinematically advanced metal forming processes. Developed ring forming technologies are very valuable and constitute the know-how of their respective companies, which are not made available or published. Currently, manufacturing of forged and rolled rings involves rolling rings with simultaneous profiling of side surfaces, particularly with the application of lightweight materials. This article is an introduction to research concerning the development and verification of the process of rolling rings from EN AW-7075 aluminum alloy. This article presents a study of simulation of the ring rolling process in the Simufact Forming simulation environment, utilizing the finite element method. The planned research methodology, with the objective of obtaining verified ring forming technology, is presented in the introduction. The scope and method of conducting plastometric tests, which served for the development of a mathematical description of material changes, is presented. Further on, dependencies between various types of adopted roll kinematics in the ring rolling process are indicated, along with their

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; e-mail: jaroslaw.lulkiewicz@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; e-mail: jaroslaw.lulkiewicz@inop.poznan.pl

ORCID iDs

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2703-6970>
(2) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
(3) <https://orcid.org/0000-0002-0684-1981>

influence on the course of the process and ring geometry. The article indicates the possibility of applying a simplified simulation process, which will not affect the course of rolling after transfer of results to physical tests performed on a laboratory or industrial rolling mill. Obtained results of ring forming numerical simulations and process conditions, such as: rotational speed of the main roll, mandrel advance and force demand of the process, served for the design and construction of a model ring rolling mill, on which tests will be performed to verify the simulation.

Keywords: ring rolling, aluminum, rolling mill, profiled rings

1. WPROWADZENIE

Rozwój wielu współczesnych maszyn, urządzeń i instalacji o wysokim stopniu zaawansowania technologicznego związany jest z zapotrzebowaniem na elementy pierścieniowe. Odpowiedzią rynku na ten stan rzeczy stała się metoda wytwarzania pierścieni kuto-walcowanych, która umożliwiła kształtowanie pierścieni o wyrównanej strukturze, małych nadatkach technologicznych, średnicach do kilku metrów oraz prędkościach procesu niemożliwych do osiągnięcia przy zastosowaniu metody kucia swobodnego na trzpieniu. Potwierdzają to dane różnych organizacji kuźniczych zaprezentowane na International Forging Congress 2014, który odbył się w Berlinie [1]. Udział procentowy metody *ring rolling* w całkowitej tonażowej ilości odkuwek w krajach zrzeszonych w NAFTA oraz Chinach i Indiach wynosi 10%, natomiast w Europie – 8%. Istotną informację stanowi udział metody kształtowania pierścieni kuto-walcowanych w ujęciu odkuwek kutych swobodnie. Najwyższy wskaźnik udziału jest w Japonii oraz USA i wynosi odpowiednio 68% i 33%. Na podstawie tej informacji można domniemywać, że im większe zaawansowanie technologiczne kraju, tym większy udział metody *ring rolling* w rynku odkuwek kutych swobodnie. Metoda ta, zarówno w zakresie maszyn, jak i samego walcowania, podlega ciągłemu doskonaleniu. W 2018 roku w Chinach oddano największą walcarkę, umożliwiającą kształtowanie pierścieni do 18 metrów. Technologia kształtowania pierścieni rozwija się w dwóch głównych kierunkach: wytwarzania pierścieni o profilowanych pobocznicach w celu ograniczenia wielkości nadatku do minimum oraz materiałowym, zorientowanym na walcowanie pierścieni ze stopów lekkich. Na polskim rynku zlokalizo-

1. INTRODUCTION

The development of many modern machines, appliances and installations of a high degree of technological advancement is linked to the demand for ring elements. The market's response to this state of affairs is the forging and rolling method of ring manufacturing, which made it possible to form rings with a uniform structure, low technological allowances, diameters up to several meters, and process speeds that cannot be achieved using the method of open die forging on a mandrel. This is confirmed by data of various forging organizations, presented at the International Forging Congress 2014, which was held in Berlin [1]. The percentage share of the ring rolling method in the total tonnage of forgings in NAFTA member states as well as China and India is 10%, while in Europe, it is 8%. The share of the ring forging and rolling method in open-die-forged forgings is significant information. The highest share is observed in Japan and the USA, amounting to 68% and 33%, accordingly. Based on this information, it can be surmised that the greater a country's technological advancement, the greater the share of the ring rolling method on the market of open-die-forged forgings. This method, in terms of both machines and rolling itself, is undergoing continuous improvement. In 2018, the largest rolling mill was commissioned in China, enabling forming of rings of up to 18 meters. Ring forming technology is developing in two main directions: manufacturing of rings with profiled side surfaces for the purpose of limiting the size of the allowance to a minimum, and with respect to materials, oriented towards rolling of rings from lightweight alloys. Only one manufacture of large-size steel rings is present on the Polish market. Nobody manufactures rings from lightweight alloys in Poland,

wany jest tylko jeden producent pierścieni wielkogabarytowych ze stali. Pierścieni ze stopów lekkich w Polsce nikt nie produkuje, natomiast w Europie znajdują się (prawdopodobnie) tylko dwaj producenci oferujący takie wyroby. Nisza na polskim rynku, a także światowe tendencje wyrażające zapotrzebowanie na lekkie wielkogabarytowe pierścienie sprawiły, że Sieć Badawcza ŁUKASIEWICZ – Instytut Obróbki Plastycznej (ŁUKASIEWICZ – INOP) wraz z kuźnią Zarmen FPA podjęły się realizacji projektu badawczo-rozwojowego, w którym jednym z zagadnień jest opracowanie technologii wytwarzania kuto-walcowanego pierścienia wielkogabarytowego ze stopu aluminium EN AW-7075 [2–5].

2. CEL BADAŃ

Celem badań było zaprojektowanie technologii walcowania pierścienia ze stopu aluminium EN AW-7075 o wymiarach $\phi 1650,5 / \phi 1518 / 223$ [mm]. Określenie wpływu parametrów kinematycznych na przebieg procesu i jakość kształtowanego pierścienia oraz na wyznaczenie parametrów siłowych procesu.

3. MATERIAŁ

Do badań przyjęto stop aluminium EN AW-7075 charakteryzujący się wysoką wytrzymałością, która po przeprowadzeniu procesu obróbki cieplnej T6 wynosi $R_m > 540$ MPa, $R_e \sim 500$ MPa. Wartości własności mechanicznych powodują, że części z tego stopu znajdują zastosowanie w produkcji odpowiedzialnych elementów maszyn, pojazdów czy samolotów. Skład chemiczny stopu aluminium wg PN EN 573-3:2010 przedstawiono w tab. 1.

while in Europe, there are (probably) only two manufacturers offering such products. This niche on the Polish market, as well as global tendencies expressing demand for lightweight, large-size rings, have led the ŁUKASIEWICZ Research Network – Metal Forming Institute (ŁUKASIEWICZ – INOP) and the Zarmen FPA forge – to undertake the realization of a research and development project in which one of the problems is to develop technology for manufacturing a forged and rolled large-size ring from EN AW-7075 aluminum alloy [2–5].

2. GOAL OF RESEARCH

The goal of research was to design technology for rolling of rings from EN AW-7075 aluminum alloy with dimensions $\phi 1650.5 / \phi 1518 / 223$ [mm]. Other goals were to determine the influence of kinematic parameters on the course of the process and quality of the formed ring as well as to determine the force parameters of the process.

3. MATERIAL

EN AW-7075 aluminum alloy, characterized by high strength, which amounts to $R_m > 540$ MPa, $R_e \sim 500$ MPa after T6 heat treatment, was adopted for research. The values of this alloy's mechanical properties mean that parts made from it find applications in manufacturing heavy-duty parts of machines, vehicles and aircraft. The chemical composition of this aluminum alloy according to PN EN 573-3:2010 is given in Tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny stopu aluminium EN AW-7075 – w ujęciu procentowym (norma PN EN 573-3:2010)

Tab. 1. Chemical composition of EN AW-7075 aluminum alloy – values given as percentages (standard PN EN 573-3:2010)

Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Si	Mn	Ti
5,1–6,1	2,1–2,9	1,2–2,0	0,18–0,28	Max 0,5	Max 0,4	Max 0,3	Max 0,2

Podstawą prawidłowej symulacji i projektowania procesów technologicznych jest znajomość charakterystyk opisujących własności materiału. Dla każdego procesu technologicznego można określić zestaw cech, które dobrze opisują podatność materiału do danego procesu. Prawidłowe wyznaczenie własności materiału w postaci wykresów naprężenie–odkształcenie, uwzględniających wpływ temperatury przerabianego metalu i prędkości odkształcenia, zapewnia zwiększenie dokładności obliczeń, podczas korzystania z wzorów empirycznych, jak również podczas obliczeń numerycznych, w których wykorzystuje się metodę elementów skończonych. Naprężenie uplastyczniające, w zależności od parametrów procesu przeróbki plastycznej, określono na podstawie prób ściskania na gorąco. Próby przeprowadzono w symulatorze Gleeble 3800, w Instytucie Przeróbki Plastycznej i Inżynierii Bezpieczeństwa Politechniki Częstochowskiej. Urządzenie to umożliwia prowadzenie badań w określonej temperaturze dla zdefiniowanej prędkości odkształcenia. Próby prowadzono w komorze próżniowej, przy stałej temperaturze odkształcanego próbki. Dobór zakresu prędkości odkształcania i temperatur dla badań plastometrycznych przedstawiono w Tab. 2. Badania wykonano zgodnie z normą PN-68/H-04500.

Familiarity with curves describing a material's properties is the foundation of proper simulation and designing of technological processes. For every technological process, a set of features that describe the material's suitability for the given process can be defined. Proper determination of the material's properties in the form of stress-strain curves, accounting for the influence of the processed metal's temperature and strain rate, improves the accuracy of calculations when using empirical formulas as well as during numerical simulations utilizing the finite element method. Yield stress, depending on the parameters of the metalworking process, was determined based on hot compression tests. Tests were conducted by means of the Gleeble 3800 physical simulator at the Institute of Metalworking and Safety Engineering of Częstochowa University of Technology. This machine makes it possible to perform tests at a specific temperature at a defined strain rate. Tests were conducted in a vacuum chamber, at a constant temperature of the specimen undergoing deformation. The selected range of strain rates and temperatures for plastometric tests is presented in Tab. 2. Tests were conducted according to standard PN-68/H-04500.

Tab. 2. Parametry badań plastometrycznych stopu aluminium EN AW-7075

Tab. 2. Parameters of plastometric tests of EN AW-7075 aluminum alloy

Temperatura Temperature	Prędkość odkształcenia / Strain rate		
	0,1 s ⁻¹	1,0 s ⁻¹	10,0 s ⁻¹
380°C	•	•	•
400°C	•	•	•
430°C	•	•	•
450°C	•	•	•
480°C	•	•	•

Uzyskane wyniki badań w postaci tabelarycznej dla 3 próbek na każdy punkt badawczy uśredniono i wyznaczono krzywą płynięcia plastycznego. Dane te zaimplementowano do programu symulacyjnego, uzyskując odpowiednik matematycznych materiału.

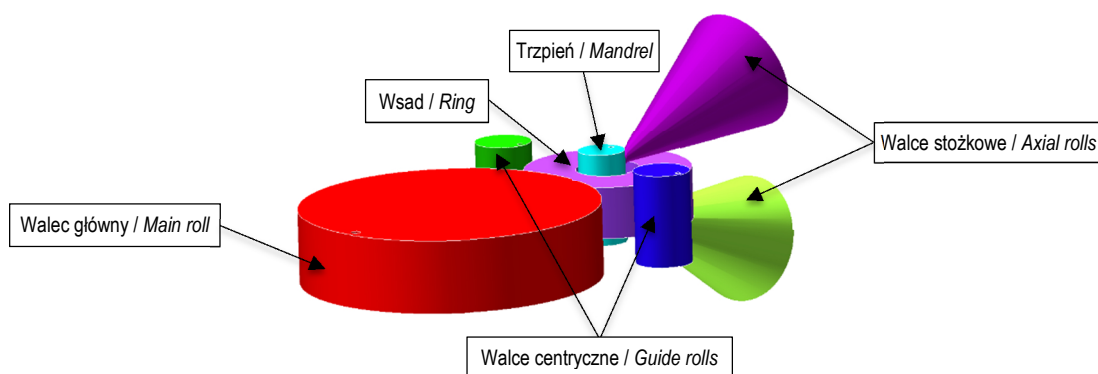
Obtained test results, presented in tabular form for 3 samples for every tested point, were averaged and the plastic flow curve was plotted. This data was implemented in the simulation software, obtaining the mathematical counterpart of the material.

4. PROCES WALCOWANIA

Walcowanie pierścieni odbywa się z użyciem 6 walców. Schemat procesu zaprezentowano na rys. 1. Walec główny wykonuje ruch obrotowy, napędzając wsad. Trzpień obraca się wokół własnej osi ruchem wymuszonym z posuwem liniowym o zadanej prędkości w kierunku walca głównego. Walce stożkowe posiadają niezależny napęd, który wspomaga ruch obrotowy wsadu. Dodatkowo górny walec stożkowy posiada możliwość ruchu w pionie, w celu utrzymania stałej wysokości pierścienia lub jej zredukowania. Walce centryczne odpowiadające za utrzymanie geometrii pierścienia poruszają się po promieniu.

4. ROLLING PROCESS

Ring rolling takes place using 6 rolls. A diagram of the process is presented in Fig. 1. The main roll revolves, driving the stock. The mandrel revolves around its own axis, with linear advance at the set speed in the direction of the main roll. Conical rolls have an independent drive that supports the stock's rotation. In addition, the top conical roll has the capability of moving vertically for the purpose of maintaining constant ring height or reducing it. Central rolls, responsible for preserving ring geometry, move along the radius.



Rys. 1. Układ walców w procesie walcowania pierścienia metodą ring rolling

Fig. 1. Configuration of rolls in the ring rolling process

5. PRZEDMIOT BADAŃ

Do badań modelowych przyjęto pierścień w skali 1:8 o wymiarach: $\phi 203,3 / \phi 189,8 / 29$ [mm]. Rozwiązanie to zostało przyjęte ze względu na koszt badań fizycznych w walcierce przemysłowej. Istnieje pełna świadomość, że nie da się w pełni przełożyć modelu w skali na pełnowymiarowy. Nie mniej jednak przeprowadzenie badań numerycznych w skali, a następnie przeprowadzenie ich na modelowej walcierce laboratoryjnej, umożliwi zaobserwowanie wpływu zmian parametrów kinematycznych na kształtowanie i jakość pierścienia, jakie mogą wystąpić podczas procesu przemysłowego. Ponadto takie podejście badawcze umożliwi zweryfikowanie i skalibrowanie zaprojektowanego modelu numerycznego procesu.

5. SUBJECT OF INVESTIGATION

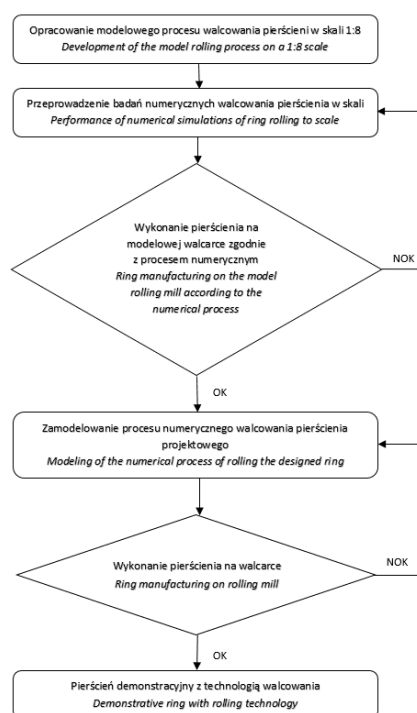
A ring on a scale of 1:8 was accepted for model tests, with dimensions of: $\phi 203.3 / \phi 189.8 / 29$ [mm]. This solution was adopted due to the cost of physical tests on an industrial rolling mill. The authors are fully aware that the scale model cannot be fully translated to the full-size process. Nevertheless, the performance of numerical simulations to scale, followed by tests on the model laboratory rolling mill, will make it possible to observe the influence of changes of kinematic parameters on the forming and quality of the ring, which may occur during an industrial process. Moreover, such a research approach will enable verification and calibration of the designed numerical model of the process.

6. METODYKA BADAWCZA

Do opracowania technologii walcowania pierścienia przyjęto następującą metodykę. Wstępne badania numeryczne zostaną przeprowadzone w skali 1:8, a następnie zweryfikowane na modelowej walcarce. Umożliwią zdefiniowanie wstępnego zestawu ruchowego walców oraz obserwację przebiegu procesu i jego wpływu na geometrię pierścienia. Uzyskane dane posłużą do opracowania technologii walcowania docelowego pierścienia wielkogabarytowego ze stopu aluminium EN AW-7075. Algorytm metodyki badawczej przedstawiono na rys. 2.

6. RESEARCH METHODOLOGY

The following methodology was adopted for developing ring rolling technology. Preliminary numerical tests were conducted on a scale of 1:8 and then verified on the model rolling mill. They will enable definition of the preliminary roll movement configuration and observation of the course of the process and its influence on ring geometry. Obtained data will serve for development of the rolling technology of the target large-size ring made of EN AW-7075 aluminum alloy. The algorithm of the research methodology is presented in Fig. 2.



Rys. 2. Algorytm metodyki badawczej

Fig. 2. Algorithm of the research methodology

7. BADANIA NUMERYCZNE

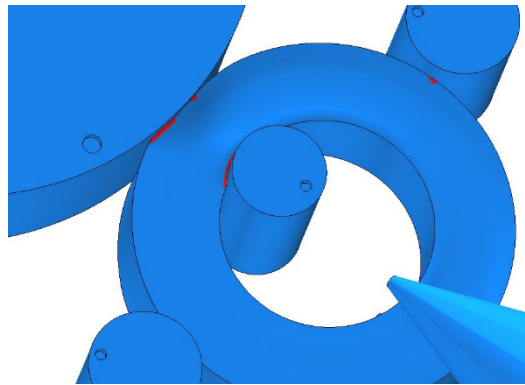
Badania numeryczne przeprowadzono w programie Simufact Forming 14. Ponieważ w procesie walcowania pierścienia istotnym parametrem jest określenie kinematyki walców, za zadanie postawiono odpowiedni dobór prędkości liniowej trzpienia, która wpływa na wielkość gniołu w funkcji czasu. Badania przeprowadzono dla dwóch wariantów: stała wartość posuwu trzpienia oraz zmienna wartość posuwu trzpienia.

7. NUMERICAL SIMMULATIONS OF RING ROLLING PROCESS

Numerical simulations were conducted in Simufact Forming 14 software. Since determination of roll kinematics is an important parameter in the ring rolling process, proper selection of the mandrel's linear speed, which affects the size of draft as a function of time, was undertaken. Simulations were conducted for two variants: constant mandrel advance speed and variable mandrel advance speed.

7.1. Stała wartość posuwu trzpienia

Przeprowadzone badania numeryczne wykazały, że zdefiniowanie w taki sposób posuwu trzpienia powoduje zwiększanie gniotu w czasie wraz ze zwiększającą się średnicą kształtowanego pierścienia. W rezultacie po kilkunastu sekundach procesu gniot jest na tyle duży, że powoduje zablokowanie obrotów kształtowanego pierścienia. Zaistniałe zdarzenie zaprezentowano na rys. 3.



Rys. 3. Deformacja kształtowanego pierścienia, która uniemożliwia kontynuowanie procesu walcowania

Fig. 3. Deformation of formed ring disabling continuation of the rolling process

7.2. Zmienna wartość prędkości liniowej trzpienia

Badania z użyciem metody elementów skończonych przeprowadzono z zastosowaniem zmiennej prędkości liniowej trzpienia wyrażającej się funkcją: $V_{\text{trzpienia}} = f(R/t)$, gdzie R jest rosnącym promieniem walcowanego pierścienia zmieniającym się w czasie t . Uzależnienie prędkości liniowej trzpienia od zmiany wartości promienia kształtowanego pierścienia w czasie umożliwiło zachowanie stałego umownego gniotu na obrót podczas całego procesu. Zdefiniowana w taki sposób kinematyka trzpienia wyeliminowała deformację pierścienia.

Istotnym aspektem projektowania kinematyki procesu numerycznego walcowania jest koordynacja prędkości obrotowych walców stożkowych ze zmianą średnicy i prędkości obrotowej kształtowanego pierścienia w funkcji czasu. Błędnie dobrana prędkość walców stożkowych może doprowadzić do deformacji pierścienia (rys. 4) lub nawet wypadnięcia poza strefę walcownia.

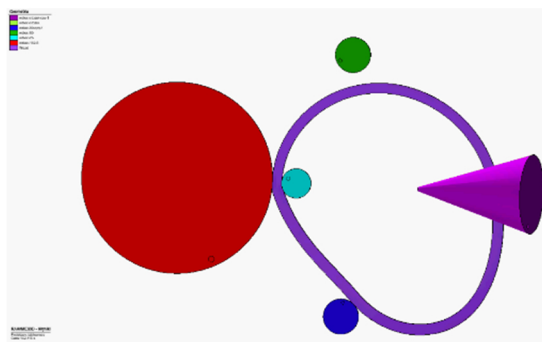
7.1. Constant mandrel advance value

Conducted numerical simulations demonstrated that defining mandrel advance in this way increases draft over time as the diameter of the formed ring increases. As a result, teens of seconds into the process, the draft is large enough that it causes blocking of the formed ring's rotations. This event is presented in Fig. 3.

7.2. Variable mandrel linear speed value

Simulations utilizing the finite element method were carried out with the application of variable mandrel linear speed, expressed by the function: $V_{\text{mandrel}} = f(R/t)$, where R is the growing radius of the rolled ring, changing over time t . Making the mandrel's linear speed dependent on the change in the formed ring's radius valve over time made it possible to preserve a constant, conventional draft per revolution throughout the entire process. Mandrel kinematics defined in this way eliminated ring deformation.

An important aspect of designing the kinematics of the numerical rolling process is coordination of conical rolls' rotary speeds with the change of diameter and rotary speed of the formed ring as a function of time. Incorrectly selected speeds of conical rolls may lead to ring deformation (Fig. 4) or even falling outside of the rolling zone.



Rys. 4. Deformacja pierścienia spowodowana błędnym skorelowaniem prędkości obrotowej i liniowej walców stożkowych ze zmianą średnicy i prędkości obrotowej pierścienia

Fig. 4. Ring deformation caused by incorrect correlation of rotary and linear speed of conical rolls with the change in the ring's diameter and rotary speed

Walcarki do pierścieni posiadają zaawansowane algorytmy, które w połączeniu z czujnikami laserowymi realizującymi stały pomiar średnicy kształtowanego pierścienia i czujnikami położenia walców stożkowych minimalizują ryzyko wystąpienia takiej sytuacji. To rozwiązanie w walcierce umożliwia wprowadzenie uproszczenia do modelu numerycznego w postaci pominięcia tarcia, występującego pomiędzy kształtowanym pierścieniem a walcami stożkowymi. Zapewni to swobodne przejście kształtowanego pierścienia pomiędzy walcami stożkowymi, eliminując konieczność skorelowania ich prędkości obrotowej z prędkością obrotową pierścienia.

Powyższe próby posłużyły do opracowania procesu numerycznego walcowania, w którym przyjęto uproszczony model korelacji walce stożkowe – pierścień walcowany, a posuw trzpienia uzależniono od funkcji wzrostu średnicy pierścienia w czasie.

Przyjęto następujące parametry procesu:

- umowny gniot na obrót: 0,3 mm/obr,
- prędkość obrotowa walca głównego: 28 obr/min,
- temp. wsadu: 470°C,
- temp. narzędzi: 150°C,
- czas procesu: 110 sekund.

8. WYNIKI BADAŃ

Zastosowanie przyjętych parametrów umożliwiło poprawne przeprowadzenie symulacji walcowania pierścienia ze stopu aluminium EN AW-7075. Położenie końcowe walców wraz z geometrią pierścienia przedstawiono na rys. 5.

Ring rolling mills have advanced algorithms, which, in combination with laser sensors realizing continuous measurement of the formed ring's diameter and conical roll position sensors, minimize the risk of such a situation occurring. This solution in the rolling mill makes it possible to introduce simplifications to the numerical model in the form of omission of the friction occurring between the formed ring and conical rolls. This will enable free passage of the formed ring between conical rolls, eliminating the need to correlate their rotary speed with the ring's rotary speed.

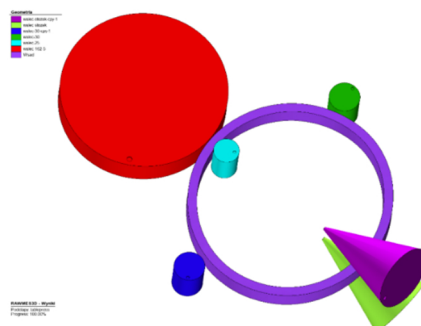
The aforementioned tests served for development of the numerical rolling process, in which a simplified model of conical rolls – rolled ring correlation was adopted, and mandrel advance was made dependent on the function of ring diameter increase over time.

The following process parameters were adopted:

- conventional draft per revolution: 0.3 mm/rev.
- rotary speed of main roll: 28 rpm,
- stock temp.: 470°C,
- tool temp.: 150°C,
- process time: 110 sec.

8. TEST RESULTS

The application of the adopted parameters made it possible to correctly carry out simulations of ring rolling from EN AW-7075 aluminum alloy. The final positions of rolls and ring geometry are presented in Fig. 5.



Rys. 5. Końcowa faza procesu walcowania pierścienia

Fig. 5. Final phase of the ring rolling process

9. WNIOSKI

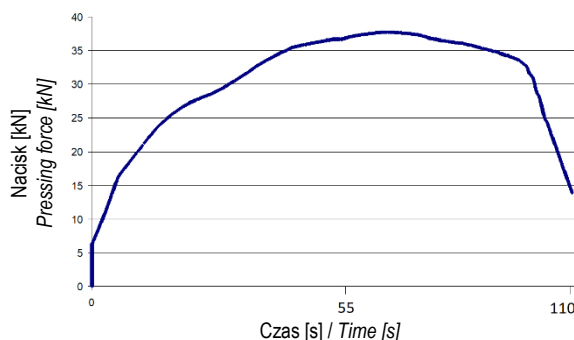
Badania modelowe metodą elementów skończonych umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- zweryfikowano warunki brzegowe, wskazując wartość umownego gniotu na obrót kształtowanego pierścienia jako parametr do ustalania zmiennej prędkości liniowej trzpienia;
- określono warunki pracy walców stożkowych przy zastosowaniu uproszczenia w postaci poślizgu pomiędzy kształtowanym pierścieniem a walcami stożkowymi; umożliwiło to płynne przeprowadzenie symulacji bez deformacji pierścienia, wskazując ważność korelacji prędkości liniowej i obrotowej walców stożkowych względem prędkości obrotowej pierścienia;
- na podstawie wyników symulacji wyznaczono przebieg siły nacisku trzpienia podczas procesu walcowania (rys. 6.); maksymalna wartość siły nacisku wyniosła 37,5 kN i stanowiła jeden z parametrów budowy modelowej walcarki na której zostaną przeprowadzone badania weryfikacyjne.

9. CONCLUSIONS

Model simulations using the finite element method made it possible to formulate the following conclusions:

- boundary conditions were verified, with indication of conventional draft per revolution of the formed ring as the parameter for determining the mandrel's variable linear speed;
- the working conditions of conical rolls were determined with the application of a simplification in the form of slip between the formed ring and conical rolls; this enables fluid simulation without ring deformation, indicating the importance of the correlation between the linear and rotary speeds of conical rolls relative to the ring's rotary speed;
- based on simulation results, the evolution of mandrel pressing force over the course of the rolling process (Fig. 6) was determined; the maximum value of pressing force was 37.5 kN and constituted one of the parameters for construction of the model rolling mill on which verification tests will be performed.



Rys. 6. Zmiana siły nacisku trzpienia w czasie procesu walcowania pierścienia

Fig. 6. Change of mandrel's pressing force over the duration of the ring rolling process

Urządzenie (rys. 7), które zostało zaprojektowane w ŁUKASIEWICZU – INOP, posiada regulację głównych parametrów procesu takich, jak: posuw trzpienia, prędkość obrotowa walca głównego. Zainstalowane systemy kontrolno-pomiarowe umożliwią uzyskanie informacji dotyczących zapotrzebowania siłowego procesu, zmiany temperatury wsadu oraz drogi trzpienia.

The machine (Fig. 7) designed at ŁUKASIEWICZ – Metal Forming Institute, features regulation of main process parameters, such as: mandrel advance rate, rotary speed of main roll. The installed control and measurement systems will make it possible to obtain information concerning the force demand of the process, change of stock temperature and mandrel path.



Rys. 7. Modelowa walcarka laboratoryjna

Fig. 7. Model laboratory rolling mill

PODZIĘKOWANIA

„Innowacyjna nisko odpadowa technologia kształtowania pierścieni wielkogabarytowych”. Projekt w ramach Działania 1.1: Projekty B+R przedsiębiorstw, Poddziałanie 1.1.2: Prace B+R związane z wytworzeniem instalacji pilotażowej/demonstracyjnej Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Umowa o dofinansowanie projektu podpisana z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie dnia 01.07.2016 r. (umowa POIR.01.01.02-00-0079/16).

LITERATURA

- [1] Dane opracowano na podstawie raportów: Euroforge, FIA, CoChMI, Japan Forging Association z 2012 i 2014 roku.
- [2] Liang L., L. Guo, X. Li, W. Yang. 2018. “Intelligent simulation for real – timely – force – controlled radial – axial rolling process of supersized aluminium alloys rings”. *Procedia Manufacturing* 15: 105–112.

ACKNOWLEDGEMENTS

The project titled “Innovative, low-waste technology of forming large-size rings.” Project within the framework of Measure 1.1: R&D projects of enterprises, Submeasure 1.1.2: R&D work related to the creation of a pilot/demonstrative installation of the Smart Growth Operational Programme 2014–2020, co-funded by the European Regional Development Fund. A project co-funding agreement was signed with the National Centre for Research and Development in Warsaw on 01.07.2016 (agreement POIR.01.01.02-00-0079/16).

REFERENCES

- [1] The data was prepared on the basis of the following reports: Euroforge, FIA, CoChMI, Japan Forging Association of 2012 and 2014.
- [2] Liang L., L. Guo, X. Li, W. Yang. 2018. “Intelligent simulation for real – timely – force – controlled radial – axial rolling process of supersized aluminium alloys rings”. *Procedia Manufacturing* 15: 105–112.

-
- [3] Surdacki P., A. Gontarz. 2017. „Analiza teoretyczna parametrów geometrycznych I prędkościowych w procesie walcowania pierścieni na gorąco”. *Hutnik, Wiadomości hutnicze* 84 (9): 420–424.
- [4] Wang C., H.J.M. Geijselares, E. Omerspahic, V. Recina, A.H. Van den Booogaard. 2016. “Influence of ring growth rate on damage development in hot ring rolling”. *Journal of Materials Processing Technology* 227: 268–280.
- [5] Zhou J., F-I. Wang, M.-F. Wang, W.-J. Xu. 2011. „Study on forming defects in the rolling process of large aluminum alloy ring via adaptive controlled simulation”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 55: 95–106.
- [3] Surdacki P., A. Gontarz. 2017. „Analiza teoretyczna parametrów geometrycznych I prędkościowych w procesie walcowania pierścieni na gorąco”. *Hutnik, Wiadomości hutnicze* 84 (9): 420–424.
- [4] Wang C., H.J.M. Geijselares, E. Omerspahic, V. Recina, A.H. Van den Booogaard. 2016. “Influence of ring growth rate on damage development in hot ring rolling”. *Journal of Materials Processing Technology* 227: 268–280.
- [5] Zhou J., F-I. Wang, M.-F. Wang, W.-J. Xu. 2011. „Study on forming defects in the rolling process of large aluminum alloy ring via adaptive controlled simulation”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 55: 95–106.

