










Technologie, konstrukcje i automatyzacja produkcji w procesach Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytucie Obróbki Plastycznej

Technologies, designs and automation of production in processes of the Łukasiewicz Research Network – Metal Forming Institute

(1) Michał Chruściński*  (2) Jarosław Lulkiewicz  (3) Marcin Bączek  (4) Maria Gąsioriewicz 
(5) Waldemar Gronowski  (6) Witold Połec  (7) Bogusław Czartoryski  (8) Szymon Szkudelski 
(9) Stanisław Ziółkiewicz 

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

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 28.06.2019
Recenzja: 8.07.2019
Akceptacja: 30.08.2019

Wkład autorów

- (1–2) Przygotowanie artykułu, badania numeryczne i doświadczalne, pomoc przy konstruowaniu
- (3) Przygotowanie artykułu, badania doświadczalne, pomoc przy konstruowaniu
- (4) Badania numeryczne, pomoc przy konstruowaniu
- (5–7) Konstruktor przyrządów kuźniczych i specjalnych, badania doświadczalne
- (8) Nadzór nad pracami w ramach projektów, opiniowanie konstrukcji i przyrządów
- (9) Kierownik projektów badawczych, metodyka, konsultant

ORCID iD

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>
- (2) <https://orcid.org/0000-0003-2703-6970>
- (3) <https://orcid.org/0000-0001-7701-8565>
- (4) <https://orcid.org/0000-0003-2174-9638>
- (5) <https://orcid.org/0000-0001-7479-2619>
- (6) <https://orcid.org/0000-0002-1462-3378>
- (7) <https://orcid.org/0000-0003-2291-7074>
- (8) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
- (9) <https://orcid.org/0000-0002-0684-1981>

Article info

Received: 28.06.2019
Reviewed: 8.07.2019
Accepted: 30.08.2019

Authors' contribution

- (1–2) Article preparation, numerical and experimental investigation, construction assistance

Streszczenie

W artykule przedstawiono informacje dotyczące zakresu niektórych działań i prac w Zakładzie Kształtowania Objętościowego i Automatyzacji Produkcji (BO) oraz w Zakładzie Rozwoju Kuźniczych Przyrządów Specjalnych (TW) zajmujących się obróbką objętościową i automatyzacją procesów produkcyjnych na przestrzeni kilku ostatnich lat. W pierwszej jego części zaprezentowano zagadnienia związane z opracowaniem innowacyjnych technologii kształtowania objętościowego. Poruszono zagadnienie technologii kucia dokładnego, w ramach którego prowadzono projekty badawczo-rozwojowe między innymi z takimi kuźniami jak: Sanha Polska Sp. z o.o. i Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. Przedstawiono wybrane wyniki badań procesów kształtowania objętościowego realizowane w ramach zleceń przemysłowych oraz badań nad technologią wyciskania elektrody ze stopu CuNiSi do zgrzewania oporowego ręcznego poszyc autobusowych szkieletów. W kolejnej części zaprezentowano rozwój i wdrożenia specjalnych przyrządów kuźniczych typu PKJ. Przedstawiono główne zalety oraz możliwości techniczne nowych przyrządów kuźniczych typu PKJ, tj. ich uniwersalność, łatwą wymianę narzędzi oraz prostą konstrukcję. Cechy te sprawiają, że przyrządy typu PKJ bardzo dobrze sprawdzają się w produkcji mało- i średnioseryjnej. W ostatniej części poruszono zagadnienie związane z automatyzacją produkcji procesów obróbki plastycznej oraz konstrukcji specjalnych, jakie wykonał ŁUKASIEWICZ – INOP. W artykule przedstawiono m.in.: automatyzację bezwypłytkowego procesu kucia dokładnego, automatyzację procesu prostowania rur, kształtowania belek wózka kolejowego oraz automatyzację procesu walcowania pierścieni.

Słowa kluczowe: innowacje, konstrukcje specjalne, analiza MES, technologia

Abstract

This article presents information concerning the scope of certain activities and works at the Volumetric Forming and Automation of Production Department (BO) and the Department for Development of Special Forging Instrumentation (TW), which have been dealing with volumetric processing and automation of production processes for the last several years. The first part presents issues related to the development of innovative volumetric forming technologies. The issue of precise forging technology is discussed, on

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

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

- (3) Article preparation, experimental investigation, construction assistance
 (4) Numerical investigation, construction assistance
 (5-7) Construction of forging and special instruments, experimental investigation
 (8) Supervision over works within the scope of projects, providing opinions on structures and instruments
 (9) Kierownik projektów badawczych, metodyka, konsultant

ORCID iDs

- (1) <https://orcid.org/0000-0003-2127-3967>
 (2) <https://orcid.org/0000-0003-2703-6970>
 (3) <https://orcid.org/0000-0001-7701-8565>
 (4) <https://orcid.org/0000-0003-2174-9638>
 (5) <https://orcid.org/0000-0001-7479-2619>
 (6) <https://orcid.org/0000-0002-1462-3378>
 (7) <https://orcid.org/0000-0003-2291-7074>
 (8) <https://orcid.org/0000-0002-6140-0775>
 (9) <https://orcid.org/0000-0002-0684-1981>

1. WSTĘP

Współczesne technologie obróbki plastycznej ukierunkowane są na ekologię, ekonomię i ograniczenie zużycia rodzimych materiałów. Stanowi to nowe wyzwania przy projektowaniu procesów technologicznych, konstrukcji maszyn, nowego podejścia do automatyzacji produkcji. W ŁUKASIEWICZU – INOP wyzwania te obejmują Zakład Kształtowania Objętościowego i Automatyzacji Produkcji (BO) wraz z Zakładem Rozwoju Kuźniczych Przyrządów Specjalnych (TW). Wyżej wymienione zakłady posiadają wykwalifikowaną kadrę, zdolną do realizowania prac naukowych i rozwojowych, które owocują wdrożeniami innowacyjnych rozwiązań w polskich przedsiębiorstwach. W artykule przedstawiono osiągnięcia Instytutu w obszarze objętościowej obróbki plastycznej i automatyzacji procesów ostatnich lat.

2. INNOWACYJNE TECHNOLOGIE KUŹNICZE

Kucie dokładne bezwypływkowe jest metodą wykonywania odkuwek o wymiarach gotowego produktu lub wyrobów wymagających nieznacznej obróbki skrawaniem. Taki rodzaj kucia odbywa się w matrycach zamkniętych. Narzędzia kuźnicze wykonywane są z materiałów o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych, w porównaniu z narzędziami do kucia

which research and development projects were conducted with forges like: Sanha Polska Sp. z o.o. and Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o.. Selected results of research on volumetric forming processes, conducted on the order of industrial entities and of research on CuNiSi alloy electrode extrusion technology for manual resistance welding of bus skeleton sheathing are presented. The next part discusses the development and implementation of special PKJ forging instruments. The main advantages and technical capabilities of the new PKJ forging instruments are presented, i.e. their universality, easy tool change and simple design. These features make PKJ instruments very well suited for small- and medium-series production. The final part touches upon the issue of automation of metalworking production processes as well as the special designs implemented by the Institute. The article presents, among others: automation of the precise flashless forging process, automation of the pipe straightening process, forming of railway cart beams and automation of the ring rolling process.

Keywords: innovation, special designs, FEM analysis, technology

1. INTRODUCTION

Modern metal forming technologies are oriented towards environmentalism, economy and minimization of materials consumption. This poses a new challenge to designing of technological processes, machine designed, and offers a new approach to the automation of production. In ŁUKASIEWICZ – INOP, these challenges have been undertaken by the Volumetric Forming and Automation of Production Department (BO) and Department for Development of Special Forging Instrumentation (TW). The aforementioned departments have a qualified staff, capable of realizing research and development work, which gives fruit in the implementation of innovative solutions at Polish enterprises. This article presents the Institute's achievements in the field of volumetric metalworking and process automation in recent years.

2. INNOVATIVE FORGING TECHNOLOGIES

Precise, flashless forging is a method of manufacturing forgings with the dimensions of the ready product or products requiring slight machining. This type of forging is done in closed dies. Forging tools are made of materials with elevated strength properties in comparison to tools for traditional forging. In precise forging, the volume of the stock must correspond to the volume of the

tradycyjnego. Objętość wsadu przy kuciu dokładnym musi odpowiadać objętości gotowej odkuwki, gdyż w procesie tym nie ma wypłytki. Przyjmuje się tolerancję objętości materiału wsadowego w granicach $\pm 0,5\%$ gotowego wyrobu. Ponadto podczas kucia na gorąco powstaje zgorzelina, którą należy całkowicie usunąć. W tym celu, aby jej uniknąć, stosuje się szybki nagrzew indukcyjny, oporowy lub gazowy [1].

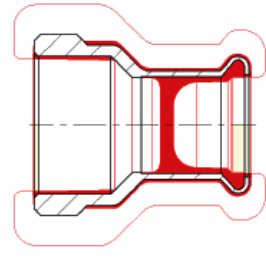
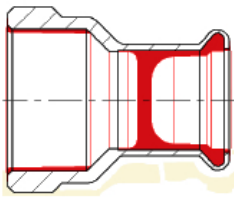
W tab. 1 porównano procesy kucia matrycowego z wypływką z kuciem dokładnym, bezwypłytkowym przykładowej złączki. Można zauważyć, że masa odkuwki zmniejszyła się około 1,4 razy, a wielkość odpadów ponad dwukrotnie.

ready forging, since there is no flash in the process. Stock volume tolerances within the range of $\pm 0.5\%$ of the ready product's volume are adopted. Moreover, scale forms during hot forging, which must be completely removed. To prevent scale from forming, rapid induction heating, by resistance or gas, is applied [1].

Tab. 1 compares die forging processes with flash to precise, flashless forging of a connector. It can be observed that the forging's weight decreased approx. 1.4 times, and the amount of discard over two-fold.

Tab. 1. Porównanie dwóch procesów kucia

Tab. 1. Comparison of two forging processes

		
	Kucie matrycowe z wypływką <i>Die forging with flash</i>	Kucie dokładne bezwypłytkowe <i>Precise, flashless forging</i>
Masa gotowego wyrobu [g] / Weight of ready product [g]	98	98
Masa materiału wyjściowego [g] / Weight of starting material [g]	200	148
Wielkość odpadu dla: 1 szt. [g] / Amount of discard for: 1 pc. [g]	102	50

Korzyści ekonomiczne oraz ekologiczne płynące z technologii kucia dokładnego są znaczące, gdyż pozwalają ograniczyć masę wsadu, eliminują operacje okrawania wypłytki oraz obróbkę wykańczającą wyrób (skrawanie). Korzyścią ze stosowania kucia dokładnego jest osiągnięcie wyższych własności mechanicznych odkuwek.

Zalety kucia dokładnego zachęcają przedsiębiorców do wdrażania różnych technologii kucia dokładnego. ŁUKASIEWICZ – INOP współpracował między innymi z firmami Sanha Polska Sp. z o.o. i Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. w realizowaniu wspólnych projektów badawczo-rozwojowych.

Projekt badawczo-rozwojowy realizowany z kuźnią armatury wodnej Sanha Polska Sp. z o.o.

The economic and environmental benefits of precise forging are significant, as they make it possible to reduce the weight of the stock and eliminate flash trimming operations as well as finishing (machining) of the product. Another benefit of applying precise forging is that forgings have higher mechanical properties.

The advantages of precise forging encourage enterprises to implement various precise forging technologies. ŁUKASIEWICZ – INOP collaborated with, among others, Sanha Polska Sp. z o.o. and Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. to realize joint research and development projects.

The research and development project realized in collaboration with Sanha Polska Sp. z o.o.

z Legnicy polegał na opracowaniu innowacyjnej technologii kucia bezwypływkowego odkuwek złączek do instalacji wodnej z bezołowiowego stopu miedzi typu nypel i trójnik. W ramach prac wykonano badania materiałowe wytypowanego stopu oraz przeprowadzono szereg symulacji numerycznych metodą elementów skończonych, które pozwoliły na skorelowanie wyników badań fizycznych i numerycznych.

W ramach współpracy w konsorcjum obejmującym trzy jednostki naukowe: Politechnikę Poznańską, ŁUKASIEWICZA – INOP i ŁUKASIEWICZA – Instytut Metali Nieżelaznych z Gliwic oraz przedsiębiorstwo Fabrykę Armatur Swarzędz, realizowany był projekt pt. „Bezodpadowa technologia kształtowania elementów armatury wody pitnej z bezołowiowych stopów miedzi”. Projekt finansowany był ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (nr projektu: POIR.04.01.02-00-0030/2016). Celem projektu było opracowanie nowej technologii kucia bezwypływkowego dla wytypowanych przez Fabrykę Armatur Swarzędz Sp. z o.o. małych i średnich odkuwek do instalacji wodnej oraz dostosowanie tej technologii do zautomatyzowanego stanowiska kuźniczego, pozwalającego na konkurowanie przedsiębiorcy z innymi wytwórcami armatury. Dodatkowo w ramach projektu prowadzono prace nad nowym stopem miedzi nie zawierającym ołowiu, a mającym odpowiednie właściwości plastyczne pozwalające na jego prawidłowe kucie.

W ŁUKASIEWICZU – INOP, na podstawie dostarczonych rysunków detali armatury wody pitnej, opracowano nową technologię kucia bezwypływkowego korpusu wodomierza oraz korka/zaślepekki w trzech rozmiarach. Przeprowadzono badania dla nowo opracowanych stopów miedzi z ograniczoną zawartością ołowiu, tj. badania ściskania oraz badania dylatometryczne. Wyniki badań materiałowych posłużyły do uzupełnienia baz materiałowych programów symulacyjnych, w których zweryfikowana została technologia kucia bezwypływkowego różnych materiałów wsadowych. Uzyskany w ten sposób „matematyczny obraz” materiału posłużył do symulacji kucia. W ramach weryfikacji nowych materiałów przeprowadzono badania kucia bezwypływkowego, które weryfikowano na

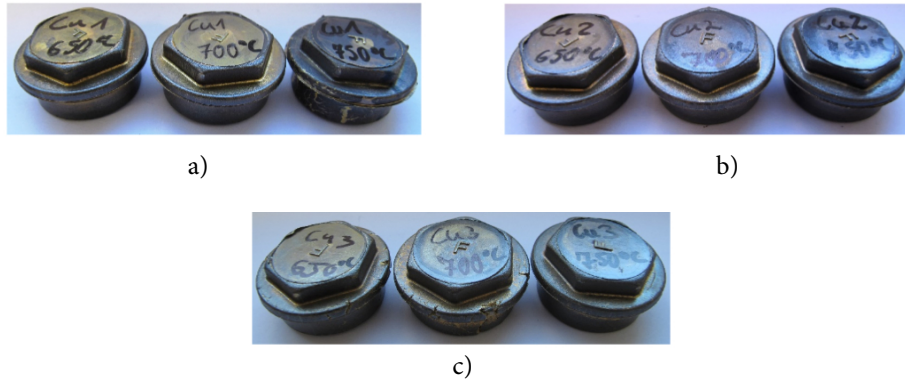
hydraulic fittings forging plant from Legnica involved the development of innovative flashless forging technology for pipe connectors made from a lead-free nypel-type copper alloy and a T-pipe. As part of the project, material tests of the selected alloy were carried out and a series of numerical simulations using the finite element method were conducted, making it possible to correlate the results of physical and numerical tests.

Research was conducted as part of collaboration within a consortium including three scientific units: Poznań University of Technology, ŁUKASIEWICZ – INOP and ŁUKASIEWICZ – Institute of Non-Ferrous Metals in Gliwice, as well as Fabryka Armatur Swarzędz, and the project was titled “Waste-free technology for forming of hydraulic fittings for drinking water from lead-free copper alloys”. The project was financed by the European Regional Development Fund (Project no.: POIR.04.01.02-00-0030/2016). The goal of the project was to develop new flashless forging technology for small and medium forgings for hydraulic systems selected by Fabryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. and adaptation of this technology to an automated forging station, making the enterprise more competitive against other fittings manufacturers. In addition, the project encompassed research of the new lead-free copper alloy, with the plastic properties allowing for its proper forging.

Based on provided drawings of hydraulic fittings for drinking water, a new flashless forging technology was developed at the ŁUKASIEWICZ – INOP for the body of a water meter and cap/stopper in three sizes. Tests of the newly developed copper alloys with limited lead content were performed, i.e. compression tests and dilatometric tests. The results of material tests served to supplement the material databases of simulation software, in which the flashless forging technology was verified for various stock materials. The “mathematical picture” of the material that was obtained served for simulation of forging. Flashless forging tests were performed to verify the new materials, and verification was done on a modernized testing-forging stand found at Fab-

zmodernizowanym stanowisku badawczo-kuźniczym, znajdującym się w Fabryce Armatur Swarzędz Sp. z o.o. Wyniki przedstawiono na rys. 1 [2–3].

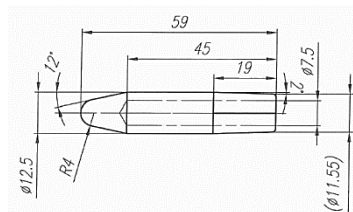
ryka Armatur Swarzędz Sp. z o.o. The results are presented in Fig. 1 [2–3].



Rys. 1. Odkuwki z nowych stopów kształtowane w temperaturze 650, 700 i 750°C: a) Cu-IMN-1, b) Cu-IMN-2, c) Cu-IMN-3
Fig. 1. Forgings made of new alloys formed at temperature 650, 700 and 750°C: a) Cu-IMN-1, b) Cu-IMN-2, c) Cu-IMN-3

Wychodząc naprzeciw potrzeb przemysłu motoryzacyjnego – autobusowego, opracowano nową technologię kształtowania elementów (części chwytowo-montażowych) oraz elektrod do zgrzewania oporowego ze stopu CuNiSi. Elektrode do zgrzewania punktowego wykorzystywaną do ręcznego zgrzewania poszyc autobusów, ich szkieletów, pokazano na rys. 2.

To meet the needs of the automotive industry – specifically buses, new shaping technology was developed for clamps and electrodes for resistance welding of CuNiSi alloy. The point welding electrode used for manual welding of bus sheathings, their skeletons, is shown in Fig. 2.



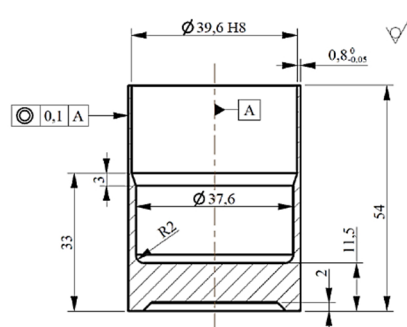
Rys. 2. Elektroda do punktowego zgrzewania oporowego
Fig. 2. Point resistance welding electrode

W celu weryfikacji właściwości użytkowych elektrod, partie 16 szt. przekazano do prób eksploatacyjnych w firmie Solaris Bus & Coach S.A. w Bolechowie [4].

To verify the functional properties of electrodes, a batch of 16 pcs. was sent for operational tests at Solaris Bus & Coach S.A. in Bolechowo [4].

Na zlecenie przemysłu prowadzono badania technologii wyciskania wyrobów o szczególnych cechach użytkowych, rozumianych jako specjalne wymagania nadawane przez odbiorców końcowych. Badania obejmowały dobór parametrów technologicznych procesu, wpływ tych parametrów na cechy użytkowe wyrobów oraz konstrukcję oprzyrządowania.

Tests of extrusion technology for products with special functional features, special requirements of the end recipients, were carried out on the order of the industrial enterprise. Tests covered selection of process parameters, the influence of these parameters on the functional features of products and the design of instrumentation.



Rys. 3. Wyrób o szczególnych cechach użytkowych – przedmiot badań

Fig. 3. Product with special functional features – test subject

Przeprowadzono badania procesów kształtowania detalu cienkościennego (rys. 3) o zmiennym przekroju ścianki, z prętów ze stopów aluminium 6060 i 7075, z zastosowaniem różnych wariantów obróbki cieplnej i smarowania oraz wyciągania przez dwie lub trzy matryce. Stanowisko badawcze składało się z dwóch przyrządów: pierwszego, służącego do wyciskania, zainstalowanego na prasie hydraulicznej PHdW250 oraz drugiego – do wyciągania ścianki wypraski, zainstalowanego na prasie hydraulicznej PYE250.

Z wykorzystaniem programu Simufact Forming 12.0 wykonano kilka wariantów symulacji numerycznych procesu kształtowania wyrobu cienkościennego, celem uzyskania optymalnej geometrii narzędzi. W badaniach doświadczalnych określono wpływ odkształcenia na jakość powierzchni uzyskanego detalu, dla różnych wariantów procesu kształtowania i zastosowanej obróbki cieplnej. Za pomocą mikroskopu świetlnego Eclipse L150 (Nikon) przeprowadzono obserwacje mikroskopowe próbek pobranych z detali wykonanych przy różnych wariantach obróbki cieplnej. Przeprowadzono statyczną próbę rozciągania próbek pobranych z detali wykonanych ze stopu 6060 i określono ich właściwości mechaniczne. Przeprowadzono szereg prób wyciskania na zimno, ciepło i na gorąco oraz wyciągania wyrobów cienkościennych ze stopu 7075 [5].

Zastosowane metody obróbki plastycznej w procesach kształtowania wyrobu ze stopu aluminium o skomplikowanym kształcie wpłynęły na poprawę właściwości wytrzymałościowych, obniżenie materiałochłonności oraz ogra-

Tests of processes for forming a thin-walled piece (Fig. 3) with varying wall cross-section, from 6060 and 7075 aluminum rods, with the application of different heat treatment and lubrication variants as well as extrusion through two or three dies. The test stand consisted of two instruments: the first serving for extrusion, installed on a PHdW250 hydraulic press, and the second for extraction of the wall of the extrudate, installed on a PYE250 hydraulic press.

Using Simufact Forming 12.0 software, several variants of numerical simulations of the process of forming the thin-walled product were carried out for the purpose of achieving optimal tool geometry. In experimental tests, the influence of deformation on the surface quality of the obtained piece was determined for different variants of the forming process and applied heat treatment. Using an Eclipse L150 (Nikon) light microscope, observations of specimens collected from pieces made with different heat treatment variants were carried out under a microscope. A static tensile tests was carried out on specimens collected from pieces made of 6060 alloy, and their mechanical properties were determined. A series of hot, cold and semi-hot extrusion tests and extraction tests of thin-walled products made of 7075 alloy were conducted [5].

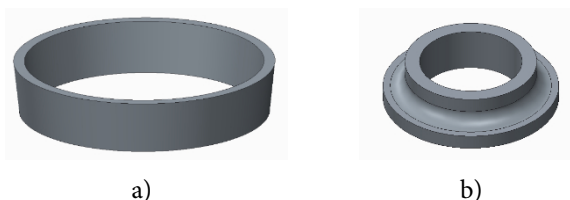
The applied metalworking methods in forming processes applied to a product of complex shape made of aluminum alloy improved strength properties, reduced materials consumption and limited machining to the absolute minimum. Imple-

niczyły obróbkę skrawaniem do absolutnego minimum. Wdrożenie zaprojektowanej technologii kształtowania daje możliwość rozwoju wytwarzania elementów cienkościennych o złożonym kształcie dla przemysłu motoryzacyjnego, medycznego w obszarach bezpieczeństwa narodowego, a także umożliwia konkurencję z wieloma firmami na rynku światowym.

Walcowanie pierścieni wielkogabarytowych stanowi jedną z trudniejszych technologii kształtowania. Kuźnia Zarmen FPA we współpracy z ŁUKASIEWICZEM – INOP podjęła się wdrożenia tej nisko odpadowej technologii. W ramach realizacji zadania w Instytucie zaprojektowano technologię zarówno przygotowania wsadu (spęczanie, dziurowanie i przebijanie), jak i walcowania pierścieni demonstracyjnych (rys. 4).

mentation of the developed forming technology makes it possible to develop manufacturing of thin-walled elements of complex shape for the automotive, medical and national security industries, and enables competition with many companies on the global market.

Rolling of large-size rings is one of the more difficult forming technologies. In collaboration with ŁUKASIEWICZ – INOP, Kuźnia Zarmen FPA undertook the implementation of this low-waste technology. As part of the task, both stock preparation technology (upsetting, hole-punching and piercing) and rolling technology for demonstrative rings (Fig. 4) was designed.

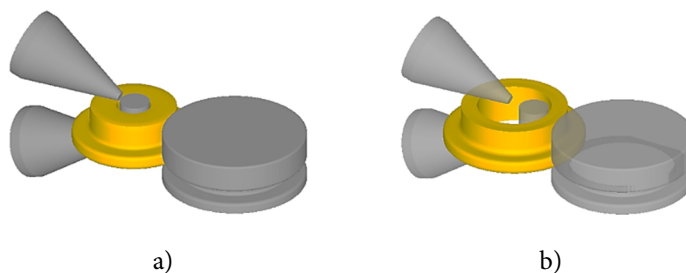


Rys. 4. Pierścienie demonstracyjne: a) stożkowy, b) kołnierkowy

Fig. 4. Demonstrative rings: a) conical, b) flanged

Technologie kształtowania zostały poddane badaniom numerycznym z wykorzystaniem metod elementów skończonych. W wyniku badań procesu przygotowania wsadu (na prasie) określono zmiany sił i rozkłady temperatury po każdej operacji. Dla procesu walcowania opracowano parametry kształtowania, określono wartości sił i momentów i porównano je z danymi technicznymi walcarki. Początek i koniec procesu walcowania demonstracyjnego pierścienia kołnierkowego pokazano na rys. 5.

The forming technologies were simulated numerically using the finite element method. As a result of tests of the stock preparation process (on a press), changes of forces and temperature distributions were determined after every operation. Forming parameters were determined for the rolling process, and the values of forces and moments were determined and compared with the rolling mill's technical specifications. The beginning and end of the process of rolling the demonstrative flanged ring are shown in Fig. 5.



Rys. 5. Proces walcowania demonstracyjnego pierścienia kołnierkowego: a) początek procesu, b) koniec procesu

Fig. 5. Process of rolling a demonstrative flanged ring: a) beginning of process, b) end of process

Technologia zostanie zweryfikowana w warunkach fizycznych w walczarce przemysłowej. Równoległe do badań nad technologią walcowania opracowano wytyczne obróbki cieplnej stali X20Cr13, P91 oraz stopu aluminium EN AW-7075 [6].

3. PRYZRZĄDY KUŹNICZE

ŁUKASIEWICZ – INOP posiada doświadczenie w konstrukcji i eksploatacji samozaciskowych przyrządów kuźniczych. W ciągu ostatnich lat opracowano i sprawdzono w praktyce wiele technologii kucia wyrobów, między innymi: odkuwek typu sworznie, trzpienie, śruby, osie, wrzeciona, stożki, zawiesia do budownictwa, korpusy zaworów, kule z otworem oraz różnego rodzaju przedkuwek, np. szakli, tłoczków z łbem oczkowym, wałków mimośrodowych. Przyrządy tego typu mogą być również wykorzystywane do kształtowania wykańczającego odkuwek uprzednio matrycowanych, np. spęczanie kołnierzy na korpusach zaworów itp. [7]. Odkuwki wykonane w przyrządach kuźniczych przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Odkuwki wykonane w specjalnych przyrządach do kucia

Fig. 6. Forgings made in special forging instruments

Na przestrzeni ostatnich lat w ŁUKASIEWICZU – INOP opracowano i wdrożono nową koncepcję kuźniczych przyrządów specjalnych typu PKJ. Koncepcja przyrządu nie odbiega od kinematyki przyrządów typu TR. Podobnie jak w przyrządach typu TR, została zachowana zasada zmiany ruchu pionowego w ruch poziomy. W nowej koncepcji, ruch przenoszony jest przy pomocy współpracujących ze sobą klinów, tzw. pędni klinowej, a nie jak w przyrządach TR, za

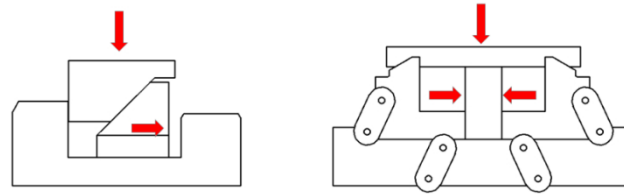
The technology was verified under physical conditions on an industrial rolling mill. In parallel to research on rolling technology, guidelines for heat treatment of X20Cr13, P91 steel and EN AW-7075 aluminum alloy were developed [6].

3. FORGING INSTRUMENTATION

ŁUKASIEWICZ – INOP has experience in designing and operating self-clamping forging instruments. In recent years, forging technologies for many products were developed and verified in practice, including for: pins, mandrels, screws, axles, spindles, cones, lifting slings for construction, valve bodies, balls with a hole and various types of preforms, e.g. shackles, piston rods with eyelet heads, eccentric shafts. Instruments of this type can also be used for finishing forming of forgings previously subjected to die forging, e.g. upsetting of flanges on valve bodies, etc. [7]. Forgings made in the forging instruments are shown in Fig. 6.

Over the last several years, a new concept of special PKJ forging instruments was developed and implemented at ŁUKASIEWICZ – INOP. The concept of the instrument does not deviate from the kinematics of TR instruments. Similarly as in TR instruments, the rule of changing vertical movement to horizontal is preserved. In the new concept, motion is transferred by means of interlocking wedges, a so-called wedge transmission, instead of the self-aligning connectors in TR

pomocą wahliwych łączników. Schemat działania przyrządu przedstawiono na rys. 7. Zastosowanie przeniesienia ruchu pionowego na ruch poziomy za pomocą klinów, pozwoliło na znaczące uproszczenie przyrządu kuźniczego, co z kolei wpłynęło na obniżenie o około 30% kosztów jego wykonania w stosunku do przyrządu typu TR.



Rys. 7. Rozkład sił w przyrządach: a) typu PKJ, b) typu TR
 Fig. 7. Distribution of forces in instruments: a) PKJ, b) TR

Specjalne przyrządy kuźnicze typu PKJ przeznaczone są do obróbki plastycznej wyrobów przez jednostronne spęczanie zgrubień, łbów i kołnierzy, na końcach prętów. Znajdują zastosowanie w produkcji mało- i średnioseryjnej odkuwek części typu: śruby, sworznie, trzpienie, osie, wrzeciona, łączniki, kotwy, ciągnia dla budownictwa itp. Przyrządy te mogą być używane również do wykonywania różnego rodzaju przedkuwek. Proces kucia odbywa się w 1, 2 lub 3 zabiegach. Poziomy podział opraw narzędziowych, pozwala na prowadzenie procesu kucia wyrobów w układzie poziomym. Jest to szczególnie ważne dla wsadów długich. Zależnie od nacisku i energii zastosowanej prasy, w przyrządach można spęcać zgrubienia (kołnierze) o średnicy do 50 mm, na prętach o średnicy do 25 mm. Przy spęczaniu na gorąco średnica prętów nie powinna być mniejsza od 10 mm.

Głównymi zaletami przyrządu kuźniczego typu PKJ jest jego uniwersalność; przyrząd w połączeniu z prasą może zastąpić drogie specjalistyczne maszyny kuźnicze. Poza tym kinematyka przyrządu pozwala na kucie większych odkuwek na mniejszych prasach. Prosta konstrukcja narzędzi i łatwa ich wymiana pozwala na szybkie przebrojenie przyrządu, co korzystnie wpływa na małą i średnioseryjną produkcję.

Nowa koncepcja przyrządu typu PKJ została doceniona na targach Innowacje–Technologie–

instruments. The instrument's principle of operation is illustrated in Fig. 7. The application of transfer of vertical movement to horizontal movement by means of wedges made it possible to simplify the forging instrument substantially, which in turn reduced the costs of its manufacture by 30% in comparison to TR instruments.

Special PKJ forging instruments are intended for metalworking of products through one-side upsetting of bosses, heads and flanges, at the ends of rods. They find applications in small- and medium-series production of forgings like: screws, pins, mandrels, axles, spindles, couplers, anchors, tension members for construction, etc. These instruments can also be used to make various types of preforms. The forging process takes place in 1, 2 or 3 operations. The horizontal division of tool fixtures makes it possible to conduct the product forging process in a horizontal configuration. This is particularly important for long stocks. Depending on the pressing force and energy of the applied press, instruments can be used to upset bosses (flanges) with a diameter up to 50 mm, on rods with diameter up to 25 mm. During hot upset forging, the diameter of rods should not be less than 10 mm.

The main advantage of the PKJ forging instrument is its universality; in combination with a press, this instrument can replace expensive, specialized forging machines. Besides this, the instrument's kinematics allow for forging of larger forgings on smaller presses. The simple design of the tools and their easy replacement allows for fast retooling of the instrument, which has a beneficial effect on small- and medium-series production.

The new concept of the PKJ instrument was appreciated at the Innowacje–Technologie–Maszyny

–Maszyny Polska 2015 i SUBCONTRACTING odbywających się dnia 9 czerwca 2015 roku na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich. Do udziału w konkursie został zgłoszony przyrząd kuźniczy PKJ2, który zdobył złoty medal MTP, ITM Polska 2015, w kategorii nauka dla gospodarki. Sukces przyrządu kuźniczego przyczynił się do wielu wdrożeń w przemyśle. Na rys. 8 przedstawiono przyrząd kuźniczy PKJ2 zamontowany u partnera przemysłowego.

Polska 2015 and SUBCONTRACTING fairs, which were held on 9 June 2015 on the grounds of the MTP Poznań Expo. The PKJ2 forging instrument took part in the contest and won the MTP gold medal, and the ITM Polska 2015 gold medal in the category of science for economy. The forging instrument's success contributed to many implementations in industry. Fig. 8 presents the PKJ2 forging instrument installed at the factory of an industrial partner.



Rys. 8. Przyrząd specjalny – PKJ2: a) widok z boku, b) widok z przodu
 Fig. 8. Special instrument – PKJ2: a) view from the side, b) view from the front

4. WZROST EFEKTYWNOŚCI WYTWARZANIA – AUTOMATYZACJA PROCESÓW

Automatyzacja procesów często kojarzy się tylko z obniżeniem kosztów produkcji poprzez zastąpienie pracy ręcznej na praktycznie bezobsługowy automat. Jest to prawda, ale automatyzacja w procesach obróbki plastycznej pozwala ponadto uzyskać znaczący wzrost wydajności procesu, zapewnia jego powtarzalność poprzez systemy sterowania dbające o stabilność warunków procesu oraz w wielu przypadkach, poprawia bezpieczeństwo pracy.

W ramach realizacji projektu pt. „Bezodpadowa technologia kształtowania elementów armatury wody pitnej z bezołowiowych stopów miedzi”, ŁUKASIEWICZ – INOP podjął się zaprojektowania zautomatyzowanego stanowiska do kucia bezwplywkowego. Na wstępie zdefiniowano elementy i urządzenia konieczne do opracowania layoutu zautomatyzowanego stanowiska. Ze względu na charakter automatyzacji nie można było wykonać stanowiska z elementów

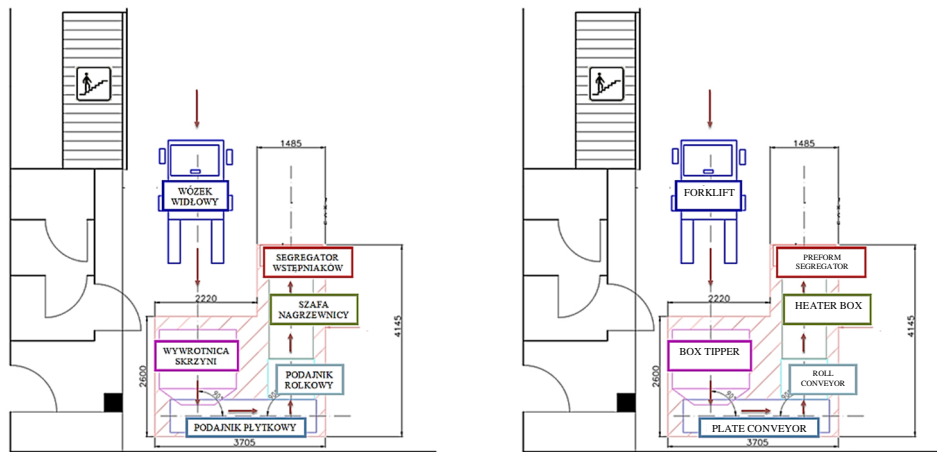
4. IMPROVED MANUFACTURING EFFICIENCY – PROCESS AUTOMATION

Process automation is often associated only with reduction of production costs through replacement of manual labor with a practically unmanned automaton. This is true, however automation in metalworking processes also makes it possible to achieve substantial improvement of process output and ensure repeatability by means of control systems that maintain stable process conditions and, in many cases, improve work safety.

As part of the project titled “Waste-free technology for forming of hydraulic fittings for drinking water from lead-free copper alloys”, ŁUKASIEWICZ – INOP undertook to design an automated station for flashless forging. First, the elements and devices required for developing the automated station's layout were defined. Due to the nature of this case of automation, the station could not be made from ready components. Therefore, the parameters that must be met by the in-

gotowych. Opracowano zatem parametry, jakie musi spełniać nagrzewnica indukcyjna. Obejmują one wymiary materiału wsadowego, wydajność, maksymalną temperaturę nagrzewania oraz warunki elektryczno-przyłączeniowe. Po wytypowaniu i określeniu warunków funkcji pracy urządzenia przystąpiono do opracowania założeń stanowiska, które wyposażono m. in. w podajnik rolkowy, podajnik płytkowy, wywrotnice skrzyni, układ automatycznej regulacji temperatury i automatycznej segregacji wstępniaków. Tak zaprojektowane stanowisko ogranicza do minimum rolę pracownika. Skrzynia w trybie automatycznym jest opróżniana, a materiał trafia na podajnik płytkowy, a z niego na podajnik rolkowy, który przemieszcza materiał przez nagrzewnicę. Na jej końcu umieszczony jest segregator wstępniaków, który nie dopuszcza do procesu kucia wsadu o nieprawidłowej temperaturze. Pozostałe, za pomocą transportu łańcuchowego, trafiają do automatycznego podajnika, gdzie są pobierane i umieszcza w matrycy dolnej. Po odkuciu odkuwki są pobierane i transportowane na pole odkładcze. Rozmieszczenie wszystkich elementów przedstawiono na rys. 9.

duction heater were determined. They include the dimensions of the stock material, output, maximum heating temperature and electrical connection conditions. After selection and specification of the machine's operating conditions, assumptions were worked out for the station, which was equipped with, among other things, a roll feeder, plate feeder, box tippers, an automatic temperature regulation system and automatic preform segregation. The station designed as above limits the role of a worker to a minimum. In automatic mode, the box is emptied and the material falls onto the plate conveyor, then is conveyed to the roll conveyor, which moves the material through the heater. The preform segregator is found at the end, not allowing stock of incorrect temperature to enter the forging process. The remaining stock is transported by a chain to the automatic feeder, where it is collected and placed in the bottom die. After forging, forgings are collected and transported to the storage area. The layout of all elements is shown in Fig. 9.



Rys. 9. Schemat rozmieszczenia urządzeń automatyzacji stanowiska badawczo-kuźniczego

Fig. 9. Layout of the forging research station's automation equipment

W ŁUKASIEWICZU – INOP wykonano adaptację prasy SOSV/2 znajdującej się w Fabryce Armatyr Swarzędz Sp. z o.o. Wykonano pomiar przestrzeni zabudowy, sprawdzono główne parametry kinematyczno-siłowe prasy i na tej podstawie zaprojektowano i wykonano przyrząd do kucia bezwplywkowego. Kształt wykroju

Adaptation of an SOSV/2 press found at Fabryka Armatyr Swarzędz Sp. z o.o. was done at ŁUKASIEWICZ – INOP. Measurement of the enclosure's space was performed, and the main kinematic and force parameters of the press were verified, and on this basis, the flashless forging instrument was designed and made. The shape of

w matrycach, stempli oraz rozmiary wstępniaka zostały określone na podstawie badań symulacyjnych opartych na metodzie elementów skończonych. Badania i projektowanie odbyły się przy ścisłej współpracy z FAS Sp. z o.o.

Na podstawie opracowanego layoutu zautomatyzowanego stanowiska kuźniczego do badań kucia bezwplywkowego zbudowano stanowisko posiadające następujące systemy podawcze, pomiaru i monitorowania procesu:

- system automatycznego podawania materiału wsadowego z podajnika łańcuchowego na grzewnicę indukcyjną do prasy z systemem kontroli temperatury materiału wsadowego,
- system automatycznego odbierania gotowych odkuwek,
- system automatycznego smarowania narzędzi kuźniczych z możliwością precyzyjnego i powtarzalnego ich smarowania,
- system automatycznej regulacji skoku poduszki hydraulicznej, umożliwiający precyzyjną regulację zagłębienia się zestawu matryc w stosunku do stempla kującego,
- system do pomiaru nacisku prasy, który umożliwi kontrolę siły nacisku podczas kucia oraz odczyt uzyskiwanej siły w stosunku do zmieniających się parametrów procesu (temperatura materiału wsadowego, rodzaj materiału wsadowego, rodzaj i skuteczność smarowania narzędzi kuźniczych itp.).

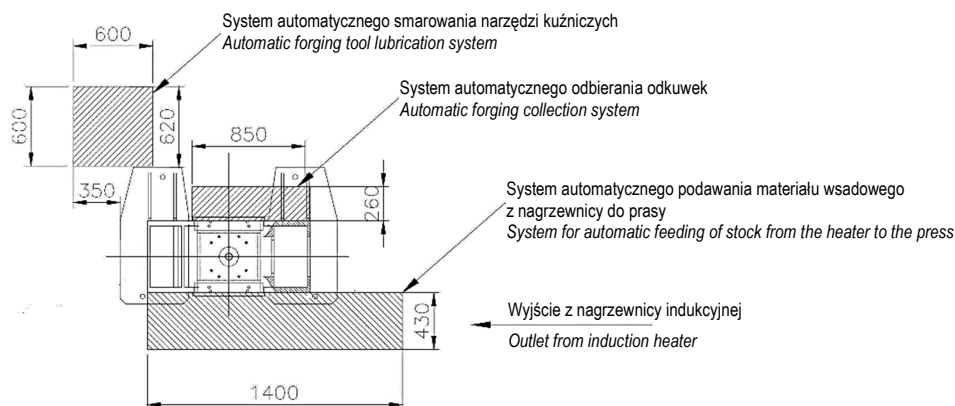
Projekt automatyzacji prasy mechanicznej przedstawiono na rys. 10. W górnej części przedstawiono strefy wraz z wymiarami poszczególnych systemów, a w dolnej rysunek złożeniowy.

the impression in dies, punches, and preform sizes were determined on the basis of simulations based on the finite element method. Testing and designing were conducted in strict collaboration with FAS Sp. z o.o.

Based on the developed layout of the automated forging station for flashless forging testing, a station with the following feeding, measurement and process monitoring systems was built:

- *system for automatic feeding of stock from the chain feeder of the induction heater to the press, with stock temperature control system,*
- *system for automatic collection of ready forgings,*
- *system for automatic lubrication of forging tools, with the possibility of precise and repeatable lubrication,*
- *system of automatic hydraulic pad pitch regulation, enabling precise regulation of the die set's impression with respect to the forging punch,*
- *system for measurement of pressing force, enabling control of pressing force during forging and reading of the force obtained with respect to changing process parameters (stock temperature, type of stock material, type and effectiveness of lubrication on tools, etc.).*

The design of the mechanical press's automation is shown in Fig. 10. The top part shows the areas and dimensions of individual systems, and an exploded drawing is found in the bottom part.

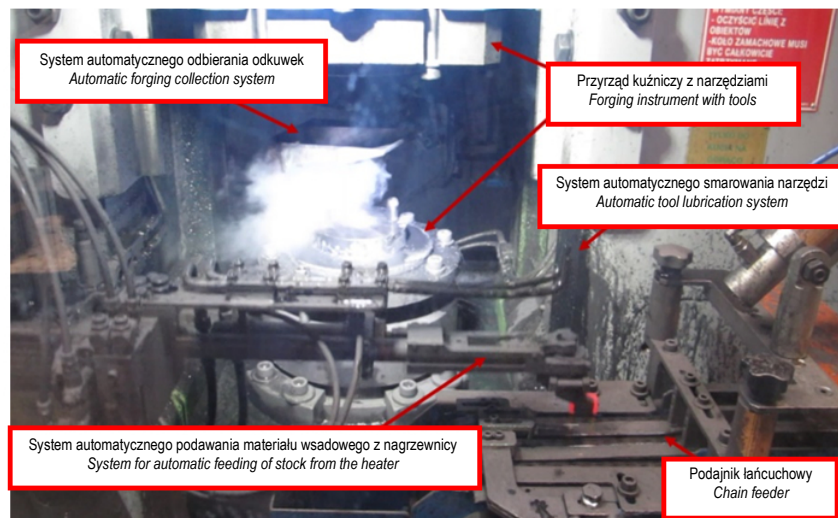


Rys. 10. Projekt automatyzacji prasy mechanicznej SOSV/2

Fig. 10. Design of the automation of the SOSV/2 mechanical press

Na rys. 11 przedstawiono zautomatyzowane stanowisko do badań kucia bezwypływkowego stopów bezołowiowych. Po wykonaniu prac związanych z automatyzacją stanowiska przeprowadzono próbny rozruch, a także zweryfikowano poprawność działania poszczególnych elementów i weryfikację poprawności działania pod kątem automatyki cyklu oraz wydajności. Wykonano pierwsze odkuwki z trzech nowych materiałów dostarczonych przez ŁUKASIEWICZA – Instytut Metali Nieżelaznych.

Fig. 11 presents the automated station for testing of flashless forging of lead-free alloys. After works related to automation of the station were completed, trial start-up was carried out, and the correctness of operation of individual elements was verified along with correctness of operation from the perspective of cycle automation and output. The first forgings were made from the three new materials provided by ŁUKASIEWICZ – Institute of Non-Ferrous Metals.



Rys. 11. Rozmieszczenie elementów automatyzacji prasy mechanicznej SOSV/2

Fig. 11. Layout of automation components of the SOSV/2 mechanical press

Technologia prostowania rur o stałej średnicy zewnętrznej jest znana, a urządzenia do jej wykonania dostępne. W przypadku gdy średnica zewnętrzna nie jest identyczna na całej długości, proces znacznie się komplikuje, szczególnie gdy wygięcia mają charakter przestrzenny. Urządzeń do prostowania takich elementów próżno szukać na rynku, dlatego celem projektu ŁUKASIEWICZA – INOP realizowanego z Zakładami Mechanicznymi Tarnów pt. „Opracowanie przełomowego procesu i urządzenia do automatycznego prostowania grubościennych rur o zmiennym przekroju ścianki wspomaganego systemem ekspertowym” było zaprojektowanie i wykonanie maszyny do nowej technologii.

Założono, że stanowisko do prostowania rur grubościennych musi spełniać następujące wymagania:

The technology for straightening pipes with a constant exterior diameter is known, and machines serving for this purpose are available. However, when the exterior diameter is not constant throughout the entire length of the pipe, the process is significantly more complicated, particularly when bends are spatial in nature. No devices for straightening of such elements are available on the market, so the goal of ŁUKASIEWICZ – INOP project, realized in collaboration with Zakłady Mechaniczne Tarnów, titled “Development of a breakthrough process and equipment for automatic straightening of thick-walled pipes with a variable wall cross-section, assisted by an expert system”, was to design and build a machine applying the new technology.

It was assumed that the station for straightening of thick-walled pipes must meet the following requirements:

- uniwersalność (prostowanie rur o długości od 500 do 2100 mm o zmiennym przekroju poprzecznym),
- wzrost efektywności prostowania,
- zmniejszenie kosztów i czasu trwania procesu,
- prostoliniowość otworu do 0,05mm.

Wymagany zakres zmiennych długości rur wymuszał konieczność budowy bardzo uniwersalnego urządzenia. Na wstępie określono sposób mocowania rur o różnej długości, wytypowano konieczne urządzenia, ich wielkości, działanie z możliwością ich lokalizowania względem położenia rur. Zaprojektowano korpus urządzenia o budowie ramowej, ponieważ charakteryzuje się on dużą przestrzenią roboczą i przewyższa konstrukcje wyciągowe pod względem sztywności. Korzystając z modułu do analizy numerycznej, sprawdzono poprawność opracowanej konstrukcji korpusu przez poddanie statycznym obciążeniom symulującym pracę urządzenia z maksymalną dostępną siłą (750kN).

Urządzenie wyposażono w następujące układy:

- sterowania, nadrzędny układ odpowiadający za kontrolę i zarządzanie wszystkimi podległymi układami,
- gięcia, wyposażony w siłownik i zasilacz hydrauliczny umożliwiający pracę z różnymi prędkościami,
- podawania rur, który odpowiada za załadunek wyrobów o odpowiedniej długości,
- pneumatyczny, składający się z siłowników obsługujących docisk rolki napędowej, przytrzymaniu wyrobu podczas gięcia,
- pomiarowy, który odpowiada za wstępny pomiar prostoliniowości,
- specjalnie zaprojektowany i wykonany system pomiarowy, oparty na interferometrze laserowym, mierzący prostoliniowość wewnątrz wyrobu.

Dodatkowo urządzenie wyposażono w system ekspertowy, wspomagający proces prostowania.

W ramach realizacji projektu o akronimie Innoring, opracowano nowy layout hali, poprzez wpisanie nowych maszyn i urządzeń pomiędzy już zainstalowane, w taki sposób, aby wykonać

- *universality (straightening of pipes with length from 500 to 2100 mm, with variable cross-section),*
- *improved straightening effectiveness,*
- *reduction of the costs and duration of the process,*
- *hole linearity to 0.05 mm.*

The required range of pipe lengths necessitated the construction of a very universal machine. First, the method of fastening pipes of varying length was determined, and the necessary devices, their sizes and operation were selected, along with the capability of their localization relative to the position of pipes. The body of the machine was designed as a frame structure, since it is characterized by a large workspace and exceeds lifting designs in terms of rigidity. Using a module for numerical analysis, the correctness of the developed body design was verified by subjecting it to static loads simulating the machine's work at maximum available force (750kN).

The machine was equipped with the following systems:

- *master control system responsible for the control and management of all subordinate systems,*
- *bending system, equipped with a hydraulic actuator and feeder, enabling work at different speeds,*
- *pipe feeding system, responsible for loading of products of the appropriate length,*
- *pneumatic system, consisting of actuators effecting pressing of the drive roll, and holding the product down during bending,*
- *measuring system, responsible for preliminary linearity measurement,*
- *specially designed and made measuring system based on a laser interferometer, measuring linearity inside the product.*

In addition, the machine was equipped with an expert system supporting the straightening process.

As part of the project, called Innoring in short, a new hall layout was developed by fitting in new machines and equipment between the machines already installed, in such a way as to in-

linię technologiczną do wytwarzania pierścieni kuto-walcowanych. Plan ten uwzględniał aspekty związane z możliwością zabudowy hali, tj. zachowaniem odpowiednich odległości, strefami bezpieczeństwa pracy oraz transportem, a powstał przy współpracy i wymianie doświadczeń z Zarmen FPA. W dokumencie uwzględniono zmodernizowaną prasę o nacisku 32 MN z wbudowanym stanowiskiem do automatycznego spęczania, dziurowania i przebijania wsadu. Linia technologiczna musiała uwzględnić nowe stanowiska do ważenia wsadu, zbijania zgorzeli oraz walcowania pierścieni wraz ze sposobem transportu pomiędzy nimi. Do tak przygotowanego layoutu kuźnia Zarmen FPA, na przestrzeni trwania projektu, wprowadzała zmiany. W wyniku prac, powstała nowoczesna linia technologiczna do wytwarzania pierścieni kuto-walcowanych o średnicy do 4 metrów, z pierwszym w Polsce manipulatorem poruszającym się po krzyżowych torach. Urządzenia linii technologicznej zaprezentowano na rys. 12.

stall a process line for manufacturing forged and rolled rings. This plan accounted for aspects related to the possibility of placing objects in the hall: i.e. keeping the appropriate distances, work safety zones and transport areas, and was created with the cooperation and exchange of experiences with Zarmen FPA. The document accounted for a modernized press with a pressing force of 32 MN, with a built-in automatic stock upsetting, hole-punching and piercing station. The process line had to include new stations for weighing of the stock, striking off scale and rolling rings along with the means of transportation between them. Zarmen FPA made changes to this layout over the course of the project's duration. As a result of works, a modern process line for manufacturing of forged and rolled rings with diameter up to 4 meters was created, with the first cross-track manipulator in Poland. Machines of the process line are presented in Fig. 12.



a)



b)

Rys. 12. Urządzenia linii technologicznej do wytwarzania pierścieni kuto-walcowanych: a) manipulator, b) walcarka do pierścieni
 Fig. 12. Machines of the process line for manufacturing of forged and rolled rings: a) manipulator, b) rolling mill for rings

5. NOWE WYZWANIA – KONSTRUKCJE SPECJALNE

W firmie P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o. w ramach realizacji projektu powstała nowoczesna zmechanizowana linia przestrzennego kształtowania belek czołowych przeznaczonych do budowy wózków kolejowych towarowych typu Y25 (rys. 13), której projektantem i wykonawcą był ŁUKASIEWICZ – INOP. Linia zautomatyzowała proces, powodując znaczny wzrost

5. NEW CHALLENGES – SPECIAL DESIGNS

As part of a project, a modern, mechanized line for spatial forming of buffer beams intended for the construction of Y25 railway freight cars (Fig. 13) was created at P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o. and designed and built by ŁUKASIEWICZ – INOP. The line automated the process, substantially increasing production output with much lower involvement of personnel. The line

wydajności produkcji przy znacznie mniejszym udziale pracowników. Linia otrzymała Złoty Medal MTP w 2012 roku i Srebrny Laur Innowacyjności w 2013 roku.

received the MTP Gold Medal in 2012 and the Silver Laurel of Innovation in 2013.



Rys. 13. Wózek kolejowy towarowy typu Y25. Strzałką zaznaczono belkę czołową

Fig. 13. Y25 freight railway car. The buffer beam is indicated by an arrow

Wdrożenie linii zaowocowało dalszą współpracą z firmą P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o., potwierdzoną zawianiem konsorcjum badawczo-rozwojowym w celu zrealizowania projektu pt. „Prace B+R nad innowacyjnymi wielkogabarytowymi łożyskami wieńcowymi, na bazie lekkich materiałów konstrukcyjnych”. Instytut zrealizował m. in. dwa zadania dotyczące opracowania konstrukcji łożyska wraz z technologią wytwarzania, montażu oraz projektem urządzenia badawczego do wykonania serii testów łożyska.

Pierwsze zadanie dotyczyło opracowania konstrukcji oraz wykonanie wirtualnych badań w symulowanym stanie obciążenia konstrukcji bazowej łożyska.

Przed konstrukcją łożyska zostały postawione wymagania dotyczące jego nośności, masy, warunków zabudowy oraz wymagania eksploatacyjne. Obejmowały one:

- podstawową nośność:
 - dynamiczna: 100 kN,
 - dynamiczna osiowa: 91 kN,
 - statyczna promieniowa: 580 kN,
 - statyczna osiowa: 1200 kN;
- ograniczenia wagowe:
 - masa łożyska: max 73 kg;
- luz łożyska: 0,02 do 0,05 mm (w temperaturze otoczenia około 20°C);
- maksymalną prędkość obrotową: 9,55 obr/min (1,0 rad/s).

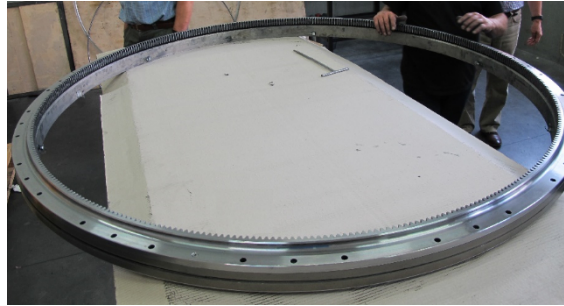
The line’s implementation gave fruit in further collaboration with P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o., solidified by the formation of a research and development consortium for the purpose of realizing the project titled “R&D work on innovative, large-size slewing bearings based on light structural materials”. The Institute realized, among other things, two tasks concerning development of the bearing’s design along with the technology of manufacturing, assembly and design of the testing device for performing a series of bearing tests.

The first task involved development of the design and performance of virtual tests in a simulated loading state of the bearing’s base structure.

Requirements concerning the bearing’s load-bearing capacity, weight, installation conditions and operational requirements were posed. They covered:

- *base load-bearing capacity:*
 - *dynamic: 100 kN,*
 - *axial dynamic: 91 kN,*
 - *radial static: 580 kN,*
 - *axial static: 1200 kN;*
- *weight limitations:*
 - *bearing weight: max 73 kg;*
- *bearing clearance: 0.02 to 0.05 mm (at ambient temperature of approx. 20°C).*
- *maximum rotational speed: 9.55 rpm (1.0 rad/s).*

Wynikiem przeprowadzonych prac było opracowanie dokumentacji technologicznej, wykonawczej i montażowej wielkogabarytowego łożyska wieńcowego. Ogólny widok wykonanego łożyska wg dokumentacji konstrukcyjnej zaprezentowano na rys. 14.



Rys. 14. Lekkie wielkogabarytowe łożysko wieńcowe
Fig. 14. Light large-size slewing bearing

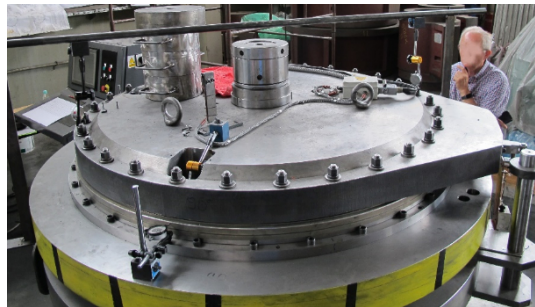
The result of this work was the development of technological, design and installation documentation for the large-size slewing bearing. A general view of the bearing made according to design documentation is presented in Fig. 14.

Drugie zadanie dotyczyło wykonania badań właściwości eksploatacyjnych na modelu laboratoryjnym lekkiego wielkogabarytowego łożyska wieńcowego.

W ramach realizacji zadania zaprojektowano urządzenie badawcze symulujące rzeczywistą pracę łożyska pod obciążeniem (rys. 15). Układ sterujący i rejestrujący został wyposażony w czujniki monitorujące w czasie rzeczywistym zmiany geometryczne zachodzące w łożysku.

The second task involved testing of operational properties on a laboratory model of the light, large-size slewing bearing.

As part of this task, a testing device was designed to simulate the actual work of the bearing under load (Fig. 15). The control and logging system was equipped with sensors monitoring geometric changes occurring in the bearing in real-time.



Rys. 15. Stanowisko do badań odkształceń konstrukcji łożyska pod wpływem działania obciążenia statycznego
Fig. 15. Station for testing of deformation of the bearing's structure under the action of static load

Celem testów było zweryfikowanie założonych do konstrukcji łożyska wymagań, w tym trwałości łożyska oraz jego elementów. Przeprowadzone badania wskazały słabsze miejsca konstrukcji badanego łożyska, które wymagają zmian konstrukcyjnych i technologicznych, celem zagwarantowania stabilności procesu wytwarzania i jakości pracy produktu. Łożysko ba-

The goal of tests was to verify the requirements adopted for the bearing's structure, including the durability of the bearing and its elements. Tests indicated weaker points in the structure of the tested bearing, requiring design and technological changes for the purpose of guaranteeing stability of the manufacturing process and quality of the product's work. The bearing

dano również w zabudowie na urządzeniu docelowym. W ramach realizacji projektu zgłoszono dwa patenty.

Zaprojektowanie walca segmentowego stanowiło jedno z zadań Instytutu w ramach realizacji projektu pt. „Innowacyjna nisko odpadowa technologia kształtowania pierścieni wielkogabarytowych”. Realizacja zadania objęła zaprojektowanie systemu budowy składanego walca głównego w celu ograniczenia kosztów wytwarzania narzędzi, szczególnie dla zamówień jednostkowych i małoseryjnych. Wiąże się to z ograniczeniem związanym z zakresem geometrii kształtu narzędzi, jaki można uzyskać. Jednak otrzymanie uniwersalnego narzędzia dla jednej rodziny kształtu przyczynia się znacznie do obniżenia kosztów wytwarzania pierścieni. W ramach opracowanego rozwiązania powstała kompletna dokumentacja wykonawcza. Ze względu na fakt, że rozwiązanie jest na etapie przygotowania zgłoszenia patentowego, nie zostanie ono zaprezentowane w tym artykule.

Powstało konsorcjum złożone z Przedsiębiorstwa Specjalistycznego „bocar” Sp. z o.o., ŁUKASIEWICZ – INOP i Politechniki Częstochowskiej, którego celem jest wdrożenie nowego produktu „panelowe zabudowy wozów strażackich” w ramach realizowanego projektu. Oczekiwane wyniki projektu będą stanowiły przełom nie tylko na rynku nadwozi specjalnych, ale również na rynku przyczep i naczep, obejmującym zabudowy z elementów aluminiowych. Prowadzenie projektu i koordynację działań powierzono ŁUKASIEWICZOWI – INOP, który odpowiada m. in. za opracowanie geometrii i technologii wykonania łączników oraz sposobu łączenia paneli montażowych.

Zaprojektowanie geometrii łącznika i jego gniazda w profilu wymagało uwzględnienia takich parametrów, jak: pewność zacisku, tolerancja kształtu elementów wykonywanych obróbką plastyczną, wytrzymałość, masę łącznika oraz odporność na korozję. Na wstępie przeprowadzono badania wytrzymałościowe i porównawcze, które umożliwiły wytypowanie materiału łącznika stop aluminium 6082. Po otrzymaniu wymiarów gabarytowych paneli opracowano geometrię łącznika i gniazda wraz z dopuszczalną tolerancją wymiarów, które po skrę-

was also tested while housed in the target machine. Two patent applications were filed within the framework of this project.

Designing of a segmented cylinder was among the Institute's tasks in the project titled "Innovative, low-waste technology for forming large-size rings". The realization of this task covered designing of a system for manufacturing a collapsible main cylinder for the purpose of limiting the costs of tool manufacture, particularly in the case of unit and low-series orders. This is linked to restriction of the range of tool geometries that can be obtained. However, obtaining a universal tool for one shape family contributes to a substantial reduction of ring manufacturing costs. Complete design documentation was created for the developed solution. Due to the fact that the solution is at the stage of patent application filing, it has not been presented in this article.

A consortium was formed between company "bocar" Sp. z o.o., ŁUKASIEWICZ – INOP and Częstochowa University of Technology, the goal of which is the implementation of a new product "panel sheathing for fire trucks), as part of a realized project. The project's expected results will be a breakthrough, not only on the market of special bodywork, but also on the market of trailers and semi-trailers, including sheathing made from aluminum components. The execution and coordination of the project was entrusted to ŁUKASIEWICZ – INOP, which is responsible, among other things, for developing the geometry and production technology of connectors and the method of joining panels.

Designing of connector geometry and its seat in the panel required accounting for such parameters as: reliability of clamping, shape tolerance of parts made by metalworking, strength, connector weight and corrosion resistance. First, strength tests and comparative tests were performed, making it possible to select 6082 aluminum alloy as the connector's material. After obtaining the overall dimensions of panels, the geometry of the connector and seat was developed, along with permissible tolerances of dimensions. After fastening by screws, the parts must form a joint gua-

ceniu ze sobą śrubami musiały tworzyć połączenie gwarantujące wymaganą sztywność węzłów. Opracowane rozwiązanie zostało poddane numerycznym badaniom wytrzymałościowym, które potwierdziły poprawność układu łączącego. Zaprojektowano narzędzia kształtujące i przeprowadzono analizę numeryczną procesu. Dla określonych kształtów łącznika i wykrojów zaprojektowano przyrządy do ich wytwarzania i opracowano dla nich pełną dokumentację wykonawczą. Kształt łącznika jest przedmiotem przygotowania zgłoszenia patentowego, dlatego nie jest prezentowany w niniejszym artykule.

6. PODSUMOWANIE

Niniejsza praca przedstawia kierunek działań, potencjał oraz możliwości ŁUKASIEWICZA – INOP. Przedstawione badania przyczyniły się do rozwoju wielu zakładów przemysłowych, co pozwoliło poprawić ich konkurencyjność. Rozwój i wdrażanie nowych technologii pozwala przedsiębiorcom współpracującym z ŁUKASIEWICZEM – INOP uzyskiwać przewagę na rynku zarówno polskim, jak i światowym. Realizowane projekty badawcze i zlecenia przemysłowe związane z automatyzacją procesów produkcyjnych przyczyniły się do wzrostu innowacyjności i rozwoju przedsiębiorstw.

PODZIĘKOWANIA

Artykuł został zrealizowany ze środków własnych.

LITERATURA

- [1] Sińczak Jan. 2007. *Kucie dokładne*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne.
- [2] Chruściński Michał, Szymon Szkudelski, Jacek Borowski, Beata Cwolek, Michał Lehmann. 2019. „Kucie na gorąco nowych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu stosowanych w armaturze wodnej. Hot forging of new copper alloys with reduced lead content for water pipe fittings”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (1): 35–46.
- [3] Krocak Paweł. 2012. „Badania procesu kucia trójkątów z bezołowiowego stopu miedzi. Research of

ranteeing the required rigidity of nodes. The developed solution was subjected to numerical strength tests, which confirmed the correctness of the connecting system. Forming tools were designed, and numerical analysis of the process was carried out. Instruments were designed for the manufacture of specific shapes of the connector and impressions, and complete design documentation was prepared for them. The shape of the connector is the subject of a patent application currently being prepared, which is why it is not presented in this article.

6. SUMMARY

This article presents the direction of activity, potential and capabilities of ŁUKASIEWICZ – INOP. The presented tests contributed to the development of many industrial plants and allowed them to raise their competitiveness. The development and implementation of new technologies allows enterprises collaborating with the Metal Forming Institute to gain an advantage on both the Polish and the global market. Realized research projects and orders from industry related to automation of production processes contributed to the development of innovation and growth of enterprises.

ACKNOWLEDGEMENTS

The article has been prepared as a part of the ŁUKASIEWICZ – INOP Work Program.

REFERENCES

- [1] Sińczak Jan. 2007. *Kucie dokładne*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne.
- [2] Chruściński Michał, Szymon Szkudelski, Jacek Borowski, Beata Cwolek, Michał Lehmann. 2019. „Kucie na gorąco nowych stopów miedzi o obniżonej zawartości ołowiu stosowanych w armaturze wodnej. Hot forging of new copper alloys with reduced lead content for water pipe fittings”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (1): 35–46.
- [3] Krocak Paweł. 2012. „Badania procesu kucia trójkątów z bezołowiowego stopu miedzi. Research of

- forging process of tees with lead-free copper alloy”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 255–263.
- [4] Wendland Justyna, Szymon Szkudelski, Jacek Borowski, Hanna Wiśniewska-Weinert. 2008. „Elektrody do zgrzewania punktowego – kształtowanie i eksploatacja. Electrodes for spot welding – formation and operation”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 81 (8): 608–615.
- [5] Chruściński Michał, Szymon Szkudelski. 2019. „Analiza wpływu wybranych parametrów technologicznych procesu wyciskania na jakość powierzchni aluminiowej wypraski o zmiennym przekroju ścianki. Analysis of the influence of selected technological parameters of the extrusion process on the surface quality of aluminum drawpiece with varying wall cross-section”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (1): 23–34.
- [6] Pachutko Beata, Jarosław Lulkiewicz, Michał Surma, Stanisław Ziółkiewicz, Szczepan Kajpust. 2018. „Optymalizowanie struktury i właściwości mechanicznych stali martenzytycznych przeznaczonych na wielkogabarytowe pierścienie. Optimization of the structure and mechanical properties of martensitic steels intended for large-size rings”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIX* (4): 315–330.
- [7] Walczyk Wojciech, Maria Gąsioriewicz, Jarosław Lulkiewicz, Szymon Szkudelski. 2015. „Studium adaptacji konstrukcji urządzenia kuźniczego TR dla potrzeb metody N-TR. Study of design adaptation of TR forging device for purposes of the N-TR method”. *Obróbka Plastyczna Metali XXVI* (2): 159–176.
- forging process of tees with lead-free copper alloy”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 255–263.
- [4] Wendland Justyna, Szymon Szkudelski, Jacek Borowski, Hanna Wiśniewska-Weinert. 2008. „Elektrody do zgrzewania punktowego – kształtowanie i eksploatacja. Electrodes for spot welding – formation and operation”. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 81 (8): 608–615.
- [5] Chruściński Michał, Szymon Szkudelski. 2019. „Analiza wpływu wybranych parametrów technologicznych procesu wyciskania na jakość powierzchni aluminiowej wypraski o zmiennym przekroju ścianki. Analysis of the influence of selected technological parameters of the extrusion process on the surface quality of aluminum drawpiece with varying wall cross-section”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (1): 23–34.
- [6] Pachutko Beata, Jarosław Lulkiewicz, Michał Surma, Stanisław Ziółkiewicz, Szczepan Kajpust. 2018. „Optymalizowanie struktury i właściwości mechanicznych stali martenzytycznych przeznaczonych na wielkogabarytowe pierścienie. Optimization of the structure and mechanical properties of martensitic steels intended for large-size rings”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIX* (4): 315–330.
- [7] Walczyk Wojciech, Maria Gąsioriewicz, Jarosław Lulkiewicz, Szymon Szkudelski. 2015. „Studium adaptacji konstrukcji urządzenia kuźniczego TR dla potrzeb metody N-TR. Study of design adaptation of TR forging device for purposes of the N-TR method”. *Obróbka Plastyczna Metali XXVI* (2): 159–176.