





Przegląd badań z zakresu kształtowania blach w ramach realizowanych projektów Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Obróbki Plastycznej

Review of research on sheet forming within the framework of realized projects of the Łukasiewicz Research Network – Metal Forming Institute

(1) Tomasz Gądek*  (2) Marcin Majewski  (3) Tadeusz Drenger  (4) Łukasz Nowacki 

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

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 13.06.2019

Recenzja: 21.06.2019

Akceptacja: 30.08.2019

Wkład autorów

- (1) Koncepcja, badania, analiza wyników
- (2) Prowadzenie badań
- (3) Koncepcja, założenia, metodyka, analiza wyników
- (4) Prowadzenie badań, koncepcja

ORCID iD

- (1) <https://orcid.org/0000-0002-7195-7219>
- (2) <https://orcid.org/0000-0002-0212-642X>
- (3) <https://orcid.org/0000-0002-8948-2928>
- (4) <https://orcid.org/0000-0002-5285-218X>

Streszczenie

W artykule przedstawiono zakres prac prowadzonych w Zakładzie Tłoczenia Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Obróbki Plastycznej na przełomie ostatnich lat. Zamieszczono wyniki badań, m.in. prac statutowych, związanych z wyoblaniem wyrobów osiowo niesymetrycznych na specjalnej do tego celu zaprojektowanej przez Zakład Tłoczenia wyoblarnie MWS-200. W trakcie badań statutowych wspomagano się oprogramowaniem do badań numerycznych, umożliwiającym przeprowadzenie prób wyoblania. Przedstawiono wyniki prac prowadzonych dla przemysłu, m.in. oświetleniowego, wentylacyjnego, motoryzacyjnego, lotniczego i spożywczego. Pokazano przykładowe wyroby wykonane metodą wyoblania, w tym wyroby wykonane z blachy perforowanej, stali nierdzewnej i aluminium. Ponadto zaprojektowano, wykonano i wdrożono maszynę przeznaczoną do łączenia ze sobą elementów wentylacji. W omawianym okresie Zakład Tłoczenia uczestniczył w realizacji 8 projektów unijnych i krajowych, z czego trzy z nich są nadal realizowane. Zakres prowadzonych prac dotyczył m.in.: walcowania płaskowników o zmiennym przekroju; walcowania pierścieni na gorąco wraz z analizą rozkładu temperatury podczas trwania procesu; gięcia wyciskanych profili aluminiowych o długości do 13 metrów, wykonanych ze stopów serii 5xxx i 6xxx; walcowania na zimno z zastosowaniem układu grzewczo-chłodzącego pomiędzy kłatkami linii walcowniczej; modernizacji specjalnej prasy do zgrzewania pasów z włókna szklanego o szerokości do 2,5 m; gięcia profili cienkościennych o zmiennym przekroju z zastosowaniem miejscowego podgrzewania laserem diodowym.

Słowa kluczowe: wyoblanie, stal nierdzewna, maszyny do obróbki plastycznej, laser diodowy, walcowanie, gięcie

Article info

Received: 13.06.2019

Reviewed: 21.06.2019

Accepted: 30.08.2019

Authors' contribution

- (1) Concept, testing, analysis of results
- (2) Testing

Abstract

This article presents the scope of works performed at the Press Forming Department of the Łukasiewicz Research Network – Metal Forming Institute in recent years. It includes the results of tests, including statutory works, associated with spinning of axially asymmetrical products on the MWS-200 spinning lathe designed especially for this purpose by the Press Forming Department. Over the course of statutory works, numerical simulation software was used to assist and enable the performance of spinning tests. The results of works performed for industry, including: lighting, ventilation, automotive, aviation and food, are presented. Examples of products made using the spinning method are shown, including products made of perforated sheet, stainless steel and aluminum.

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

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

- (3) *Concept, assumptions, methodology, analysis of results*
 (4) *Testing, concept*

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>

Moreover, a machine intended for joining of ventilation elements was designed, made and implemented. During the period under discussion, the Press Forming Department participated in the realization of 8 EU and domestic projects, three of which are still underway. The scope of performed works concerned, among other things: rolling of flat bars with variable cross-section; hot-rolling of rings along with analysis of temperature distribution over the duration of the process; bending of extruded aluminum profiles with length up to 13 meters, made from 5xxx and 6xxx series alloys; cold rolling with the application of a heating and cooling system between cages of the rolling line; modernization of a special press for bonding of glass fiber belts with a width up to 2.5 m; bending of thin-walled profiles of variable cross-section with the application of local heating using a diode laser.

Keywords: *spinning metal, stainless steel, metal forming machines, diode laser, rolling, bending*

1. WPROWADZENIE

W Zakładzie Tłoczenia wykonywane są prace związane z kształtowaniem blach. Zakład ten wdrożył do przemysłu wiele specjalnych maszyn do obróbki plastycznej takich, jak: wyoblarki, zgniatarki, obciagarki, prostowarki, walcarki, maszyny do podwójnego zawijania obrzeży znaków drogowych, maszyny specjalistyczne np. do zawijania krawędzi otulin wkładek gazo-przepuszczalnych czy maszyny do łączenia blach elementów klimatyzacji. Ponadto współpraca z przemysłem w zakresie opracowywania technologii m.in. dla przemysłu motoryzacyjnego, stoczniowego, militarnego, spożywczego czy elektrotechnicznego często łączy się z badaniami statutowymi prowadzonymi w zakładzie. Rozwój zakładu poprzez badania [1–3], jak również udział w konferencjach naukowych, powoduje stałe zacieśnianie współpracy z przemysłem [4]. Taka współpraca prowadzi do wspólnej realizacji projektów badawczych, często również przy udziale innych jednostek naukowych [5–9]. Efektem takiej współpracy są patenty, nagrody i medale. Zakład stara się sprostać oczekiwaniom coraz to bardziej wymagających klientów.

2. BADANIA W RAMACH PROJEKTÓW STATUTOWYCH

W ostatnim czasie Zakład Tłoczenia prowadził badania nad kształtowaniem obrotowym wyrobów osiowo niesymetrycznych. Zaprojektowano i wykonano specjalną wyoblarkę do kształ-

1. INTRODUCTION

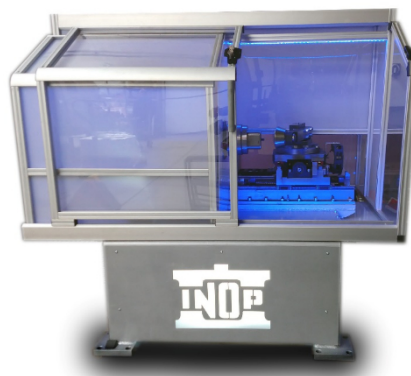
Works related to forming of sheets are performed at the Press Forming Department. This Department has implemented into industry many special machines for metalworking, such as: spinning lathes, crushers, stretch-forming machines, straighteners, rolling mills, machines for double curling of road sign edges, specialized machines, e.g. for curling the edges of lagging of gas-permeable inserts, and machines for joining sheets of air conditioning elements. Moreover, it has collaborated with industry with respect to development of technologies for, among others, automotive, shipbuilding, military, food and electrotechnical industries, which often overlaps with statutory research conducted at the Department. The Department's development through studies [1–3] as well as its participation in scientific conferences continuously brings it closer to industry in collaboration [4]. Such collaboration leads to joint realization of research projects, often with the involvement of other scientific entities [5–9]. Patents, awards and medals are the effects of this collaboration. The Department strives to meet the expectations of increasingly demanding clients.

2. STUDIES WITHIN THE FRAMEWORK OF STATUTORY PROJECTS

The Press Forming Department has recently conducted studies on spin-forming of axially asymmetrical products. A special spinning lathe for forming of products with square or elliptical cross-

towania m.in. wyrobów o przekroju kwadratowym lub eliptycznym. Wyoblarka MWS-200 (rys. 1) jest sterowana numerycznie i programowana za pomocą G-code. Zastosowano szereg nowych rozwiązań niestosowanych dotychczas w praktyce. Maszyna ta umożliwia kształtowanie wyrobów o max. średnicy do 250 mm lub maksymalnej długości do 150 mm. Więcej informacji można znaleźć w artykule [10, 13].

sections, among others, was designed and made. The MWS-200 spinning lathe (Fig. 1) is numerically controlled and programmed using G-code. A series of new solutions not applied in practice until now were applied. This machine makes it possible to form products with a max. diameter up to 250 mm or maximum length up to 150 mm. More information can be found in articles [10, 13].

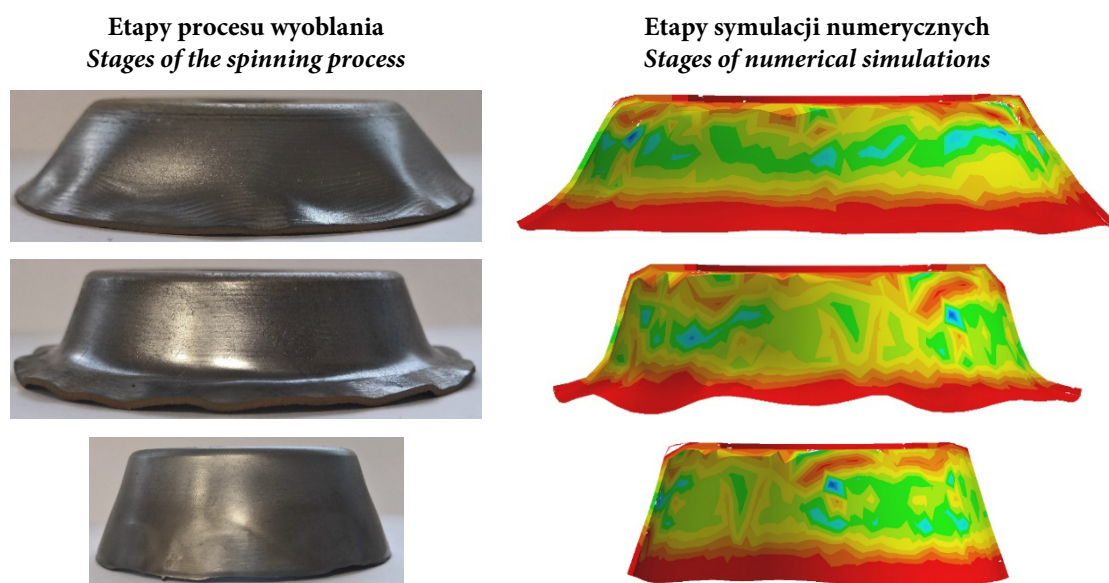


Rys. 1. Wyoblarka MWS-200

Fig. 1. MWS-200 spinning machine

Prowadzono badania kształtowania, podczas których wspomagano się programem Simufact Forming (rys. 2). Celem pracy była technologia kształtowania w płaskim stanie naprężenia i odkształcenia wytłoczek o złożonych kształtach i poszerzenie wiedzy z tego zakresu.

Forming tests were conducted, in which Simufact Forming software was used (Fig. 2). The goal of the work was forming technology in a flat stress and strain state of drawpieces with complex shapes, and to expand knowledge in this scope.



Rys. 2. Wybrane etapy kształtowania materiału metodą wyoblania

Fig. 2. Selected stages of material forming using the spinning method

W efekcie przeprowadzonych prac uzyskano wyroby przedstawione na rys. 3.

As an effect of performed works, the products presented in Fig. 3 were obtained.



Rys. 3. Detale wyoblane na maszynie MWS-200 [10]

Fig. 3. Parts spun on the MWS-200 machine [10]

Aktualnie prowadzone są badania wyoblania z podgrzewaniem laserowym przy współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą, która przeprowadzi badania symulacji z zastosowaniem MES uwzględniające stan materiału, zależnie od temperatury kształtowania. W ramach badań przeprowadzone zostaną próby symulacji komputerowej wyrobu o kształcie przewężanej rury. W oparciu o wyniki symulacji przeprowadzone zostaną badania fizyczne wyoblania dwóch gatunków stali nierdzewnej. Uzyskane wyroby próbne będą podlegały ocenie wymiarów, zgodności kształtu i grubości ścianki. Przeprowadzone będą pomiary chropowatości. Uzyskane wyniki pozwolą udoskonalić przebiegu procesu technologicznego, dokonać korekty obliczeń i parametrów procesu.

Ponadto w Zakładzie Tłoczenia prowadzone są badania walcowania, których celem jest także otrzymanie walcowaniem na zimno blachy o zmiennej grubości. Dotychczas wyroby o zmiennym przekroju (najczęściej) wykonywane były metodą walcowania na gorąco lub metodą spawania. Walcowanie wykrojowe na zimno jest pomysłem mało stosowanym. Obecnie nowe materiały narzędziowe umożliwiają uzyskanie tego typu wyroby metodą walcowania na zimno przy zachowaniu dotychczasowej trwałości narzędzi. Badania walcowania będą prowadzone zarówno na taśmach ocynkowanych, jak i nieocynkowanych. Produkty otrzymane z taśm o zmiennej grubości charakteryzują się obniżoną masą przy zachowaniu parametrów wytrzymałościowych, co wpływa na obniżenie kosztów produkcji.

Currently, studies of spinning with laser heating are underway, in collaboration with the AGH University of Science and Technology, which will conduct simulations with the application of FEM, accounting for the state of the material depending on forming temperature. As part of studies, computer simulations of the product, with the shape of a narrowing tube, will be carried out. Based on the results of simulations, physical spinning tests of two stainless steel grades will be carried out. Obtained trial products will be subject to evaluation of dimensions, consistency of shape and wall thickness. Roughness measurements will be carried out. Obtained results will make it possible to improve the course of the technological process, make corrections to calculations and process parameters.

Moreover, rolling tests are conducted at the Press Forming Department, the goal of which is to obtain sheets with variable thickness by means of cold rolling. Until now, products with a variable cross-section have (usually) been made using the hot rolling or welding method. Cold pass rolling is an idea that is not often put into practice. Currently, new tool materials make it possible to obtain products of this type through cold rolling while maintaining tool lifetime as until now. Rolling tests will be performed on both galvanized and non-galvanized tapes. Products obtained from tapes of variable thickness are characterized by reduced weight, while maintaining their strength properties, which reduces production costs.

3. PRACE DLA PRZEMYSŁU

Zakład Tłoczenia dokonał wielu wdrożeń z zakresu technologii wyoblania i zgniatania obrotowego. Jego działalność polegała też na opracowaniu dokumentacji technicznych narzędzi i przyrządów. Sporządzano opinie i prowadzono badania, wspomagając się analizą numeryczną takich programów, jak: Auto Form, Simufact Forming czy SolidWorks Simulation. Współpracowano m.in. z takimi firmami, jak: Bozamet, ŁUKASIEWICZ – Instytut Lotnictwa, Kotłorembud, Azofer, USM Zglinicki, Novodworski Lightning, Maem, RMT Motors, Luna Drums, Landsberg, ŁUKASIEWICZ – Instytut Metali Nieżelaznych, Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia, WSK PZM Kalisz, Pallas X, MW Lublin, Poland Tokai Okaya Manufacturing, Centrum Systemów Asekuracji.

Przykładowe wyroby, dla których opracowano technologię, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wyroby uzyskane metodą wyoblania

Fig. 4. Products obtained using the spinning method

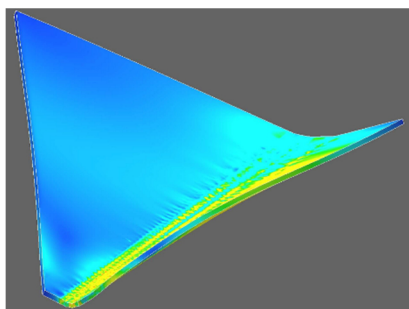
Ponadto w zakładzie przeprowadzono badania numeryczne oraz analizę wielooperacyjnego procesu gięcia (rys. 5), jak również numeryczne badania tłoczenia elementów konstrukcji do zabudowy pojazdów ciężarowych (rys. 6). Dla przemysłu kolejowego wykonano analizę obciążeń oraz drgań elementów wibracyjnych podzespołu kół jezdnych oraz opracowano dokumentację techniczną tłoczenia wielkogabarytowych dennic.

3. WORKS FOR INDUSTRY

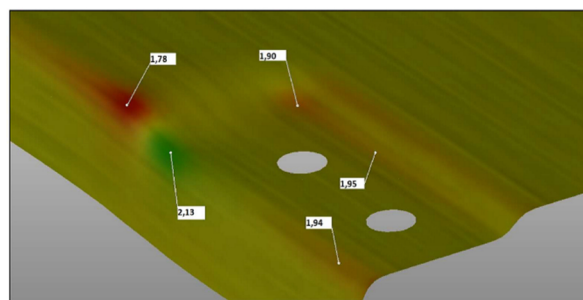
The Press Forming Department has carried out many implementations when it comes to spinning and roll forming technologies. Its activity has also involved development of technical documentation for tools and instruments. Opinions were prepared and studies were carried out with the assistance of numerical analysis in software such as Auto Form, Simufact Forming and SolidWorks Simulation. The Department engaged in collaboration with the following companies, among others: Bozamet, ŁUKASIEWICZ – Institute of Aviation, Kotłorembud, Azofer, USM Zglinicki, Novodworski Lightning, Maem, RMT Motors, Luna Drums, Landsberg, ŁUKASIEWICZ – Institute of Non-Ferrous Metals, Military Institute of Armament Technology, WSK PZM Kalisz, Pallas X, MW Lublin, Poland Tokai Okaya Manufacturing, Centrum Systemów Asekuracji.

Examples of products for which the technology was developed are presented in Fig. 4

Moreover, numerical simulations and analysis of the multi-operation bending process (Fig. 5) were carried out at the Department, as well as numerical simulations of press forming of elements of trucks' housing structure (Fig. 6). Analysis of loads and vibrations of vibrating elements of the ground wheel subassembly was conducted for the railway industry, and technical documentation was developed for press forming of large-size floor plates.



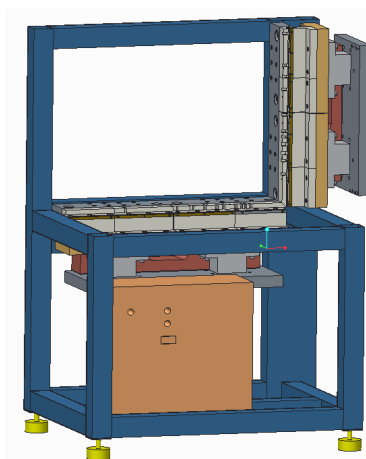
Rys. 5. Wynik analizy procesu gięcia
Fig. 5. Result of bending process analysis



Rys. 6. Wynik analizy procesu tłoczenia
Fig. 6. Result of press forming process analysis

W latach 2015–2017 wykonano i wdrożono w przemyśle wentylacyjnym maszynę (rys. 7) przeznaczoną do łączenia ze sobą elementów wentylacji. Proces technologiczny wykonywany na maszynie polegał na łączeniu ze sobą blach, poprzez wtlaczanie stempli w blachę, w specjalnie do tego celu wyznaczonych miejscach.

During the years 2015–2017, a machine (Fig. 7) intended for joining of ventilation elements was made and implemented in the ventilation industry. The technological process performed in the machine involved joining of sheets to one another through pressing of punches into the sheet at locations specially designated for this purpose.



Rys. 7. Maszyna MR-518 do łączenia elementów wentylacji
Fig. 7. MR-518 machine for joining of ventilation elements

4. PRACE W RAMACH PROJEKTÓW UNIJNYCH I KRAJOWYCH

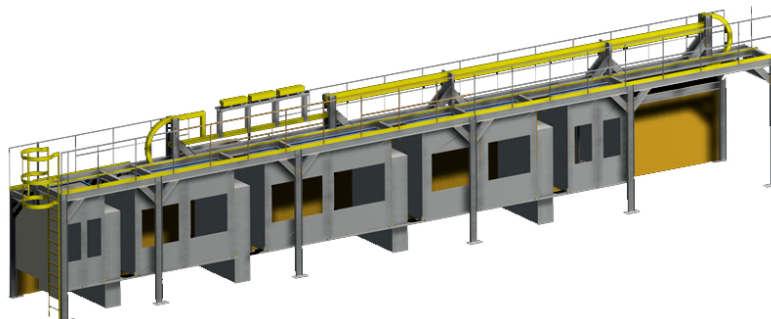
ŁUKASIEWICZ – INOP, w tym Zakład Tłoczenia, uczestniczył w realizacji projektów unijnych, występując jako wnioskodawca, członek konsorcjum lub podwykonawca badań. Poniżej przedstawiono krótką informację na temat poszczególnych projektów, opisując zakres prac przeprowadzonych przez ŁUKASIEWICZA – INOP.

4. WORKS WITHIN THE FRAMEWORK OF EU AND DOMESTIC PROJECTS

ŁUKASIEWICZ –INOP, including Press Forming Department, has taken part in the realization of EU projects as the applicant, consortium member or subcontractor of research. Brief information on the subject of individual projects is presented below, with a description of the scope of works performed by ŁUKASIEWICZ – INOP.

1. W ramach projektu **INNOTECH** realizowano projekt pt.: **Innowacyjna linia do walcowania na zimno płaskowników o określonych właściwościach**. Projekt realizowano w konsorcjum z firmą Termetal, Akademią Górniczo-Hutniczą w latach 2014–2016. Celem projektu było opracowanie nowej technologii walcowania płaskowników o określonych właściwościach. Na podstawie badań własnych wyznaczono takie parametry procesu, jak: temperaturę, czas grzania, wymiar płaskownika (przekrój) oraz ich wpływ na twardość i strukturę wyrobu. Na tej podstawie opracowano założenia do systemu sterującego cztero-klatkową linią walcowniczą w firmie Termetal. Wykonano badania wpływu temperatury wyżarzania (stosując różne źródła ciepła) na wytrzymałość R_m i podatność materiału na gięcie. Zaprojektowano i wykonano modernizację linii walcowniczej w taki sposób, aby układ grzewczo-chłodzący znajdował się nad aktualnie wykorzystywaną linią walcowniczą, co pozwoliło zaoszczędzić miejsce na hali.

1. As part of the **INNOTECH** project, a project with the following title was realized: **Innovative line for cold rolling of flat bars with specific properties**. The project was realized in a consortium with Termetal, AGH University of Science and Technology during the years 2014–2016. The goal of the project was to develop new technology for rolling of flat bars with specific properties. Based on own tests, process parameters were determined, such as: temperature, heating time, size (cross-section) of flat bar, and the influence of these parameters on the product's hardness and structure. On this basis, the assumptions for the system controlling the four-cage rolling line at Termetal were elaborated. Tests of the influence of annealing temperature (using different heat sources) on strength R_m and susceptibility of the material to bending were carried out. Modernization of the rolling line was designed and carried out in such a manner so that the heating and cooling system was found above the currently used rolling line, making it possible to save space in the hall.



Rys. 8. Schemat zmodernizowanej linii walcowniczej

Fig. 8. Diagram of modernized rolling line

2. **Wzrost innowacyjności firmy EDER dzięki znaczącemu ulepszeniu innowacyjności wielowarstwowych pasów z włókna szklanego pokrytego PTFE o równej i stałej grubości na całej powierzchni oraz szerokości do 2 400 mm**. Projekt realizowano dla firmy Eder w ramach Dużego Bonu w 2015 roku. Celem projektu była modernizacja prasy do zgrzewania pasów transmisyjnych. W ramach przeprowadzonych prac wykonano badania pozwalające na modernizację układu hydraulicznego, wstawienie rozdzielacza wraz z manometrami

2. **Raising the innovation of EDER thanks to substantial improvement of the innovation of multi-layered glass fiber belts coated with PTFE with even and constant thickness over the entire surface and width up to 2,400 mm**. The project was realized for Eder as part of "Duży Bon" in 2015. The goal of the project was modernization of the press for bonding of transmission belts. As part of the works performed, studies enabling modernization of the hydraulic system, insertion of a distributor along with pressure gauges were carried out (Fig. 9),

(rys. 9), umożliwiając w ten sposób wyrównanie ciśnienia na każdym siłowniku, co wpłynęło na zwiększenie równoległości płyt w trakcie docisku.



Rys. 9. Widok rozdzielacza wyrównującego ciśnienie na siłownikach

Fig. 9. View of distributor equalizing pressure on actuators

Wymiana płyt izolacyjnych o wytrzymałości na ściskanie powyżej 900 MPa, wyeliminowała wady wgnieć powstające podczas łączenia pasów. Wady te powstawały na skutek kruszenia się płyt izolacyjnych wykonanych z szamotu, o wytrzymałości na ściskanie ok. 60 MPa.

Po przeprowadzeniu badań oraz serii próbnej zgrzewania, na pasach nie zaobserwowano wad. Modernizacja prasy pozwoliła na wyeliminowanie wad w postaci pęcherzy, zagnieć i fałd, a także odcisnięć powstających w skutek kruszenia się płyt izolacyjnych.

3. Badania walcowania innowacyjnych profili do krat pomostowych. Projekt realizowano w konsorcjum z firmą Termetal i Akademią Górniczo-Hutniczą w latach 2015–2018. Celem projektu było opracowanie innowacyjnej technologii produkcji nowych wyrobów – krat pomostowych, charakteryzujących się sztywnością zbliżoną do dotychczas produkowanych, ale przy mniejszej masie wyrobu i niezmnieszonej trwałości eksploatacyjnej. W trakcie wytwarzania krat pomostowych z wykonanych profili o zmiennym przekroju (rys. 10) wykonano badania dla różnych parametrów prądowych i przy różnej prędkości procesu. Uzyskane maty zgrzewane charakteryzowały się analogicznymi właściwościami połączenia jak w przypadku mat wykonanych ze standar-

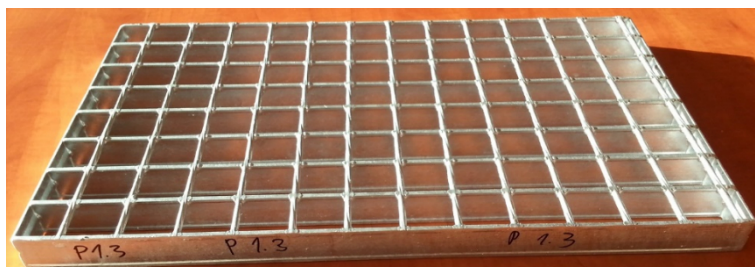
enabling equalization of pressure on every actuator in this way, which contributed to improving parallelism of panels during pressing.

The replacement of insulating panels with compression strength above 900 MPa eliminated indentation defects occurring during joining of belts. These defects occurred as a result of spalling of insulating panels made from chamotte, with compression strength of approx. 60 MPa.

After tests and a trial bonding series were carried out, no defects were observed on belts. Modernization of the press made it possible to eliminate defects in the form of bubbles, wrinkles and folds, as well as impressions occurring as a result of spalling of insulating panels.

3. Tests of the rolling of innovative deck grating profiles. The project was realized in a consortium with Termetal, AGH University of Science and Technology during the years 2015–2018. The objective of the project was to develop an innovative technology for the manufacture of new products – deck grating, characterized by rigidity similar to that of existing products but with lower product weight and unreduced service life. Over the course of deck grating production from manufactured profiles with variable cross-section (Fig. 10), tests were carried out for different current parameters and at different process speeds. Obtained bonded mats were characterized by analogous bonding properties to mats made from standard hoop irons. Obtained deck gratings were

dowej bednarki. Otrzymane kraty pomostowe poddano m.in. badaniom wytrzymałościowym. Średnia masa wykonanych krat pozwoliła na zaoszczędzenie 11% materiału przy zbliżonej sztywności.



Rys. 10. Krata pomostowa (z lewej) oraz profil o zmiennym przekroju (z prawej) [8]

Fig. 10. Deck grating (left) and profile with variable cross-section (right) [8]

W ramach przygotowań do komercjalizacji dokonano zgłoszenia patentowego o nrze 422617 jest „Sposób wytwarzania kraty nośnej, zwłaszcza kraty pomostowej i/lub kraty podestowej oraz krata nośna, zwłaszcza krata pomostowa i/lub krata podestowa”.

subjected to strength tests, among others. The average weight of manufactured gratings made it possible to save 11% of the material with similar rigidity.

As part of preparations for commercialization, patent application no. 422617 was filed under the title “Method of manufacturing load-bearing grating, particularly deck grating and/or platform grating, as well as load-bearing grating, particularly deck grating and/or platform grating”.

4. Laserowe formowanie cienkościennych profili wspomagane mechanicznie. Projekt realizowano w konsorcjum z Politechniką Świętokrzyską, Politechniką Rzeszowską oraz Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN. Projekt realizowano w latach 2015–2018. Celem projektu było opracowanie innowacyjnej technologii laserowego kształtowania cienkościennych profili wspomagane mechanicznie. Przeprowadzono badania kształtowania dyfuzorów z materiałów Inconel 625, Inconel 718, AISI 325 oraz AISI 410. Wykonano szereg prób gięcia dyfuzorów dla dwóch przypadków podgrzewania. Otrzymało zbliżone wyniki dokładności kształtu na przekroju dyfuzora w miejscu gięcia, jak również powierzchnię gładką bez zagięć i marszczenia materiału. Obie metody umożliwiły uzyskanie wyrobu zgodnego z założeniami (rys. 11). Szerszy opis badań przedstawiono w artykule [6].

4. Laser forming of thin-walled profiled, supported mechanically. The project was realized in a consortium with the Kielce University of Technology, Metal Forming Institute, Rzeszów University of Technology, Institute of Fundamental Technological Research of the Polish Academy of Sciences. The project was executed in the years 2015-2018. The goal of the project was to develop innovative technology for laser forming of thin-walled profiles, supported mechanically. Tests of forming diffusers from materials Inconel 625, Inconel 718, AISI 325 and AISI 410 were carried out. A series of diffuser bending trials were performed for two heating cases. Similar results of shape accuracy on the diffuser's cross-section at the bending site were obtained, along with a smooth surface without creases and wrinkling of the material. Both methods made it possible to obtain a product consistent with assumptions (Fig. 11). A broader description of tests is presented in article [6].



Rys. 11. Stanowisko kształtowania z podgrzewaniem laserowym [5, 9]

Fig. 11. Station for shaping with laser heating [5, 9]



a)



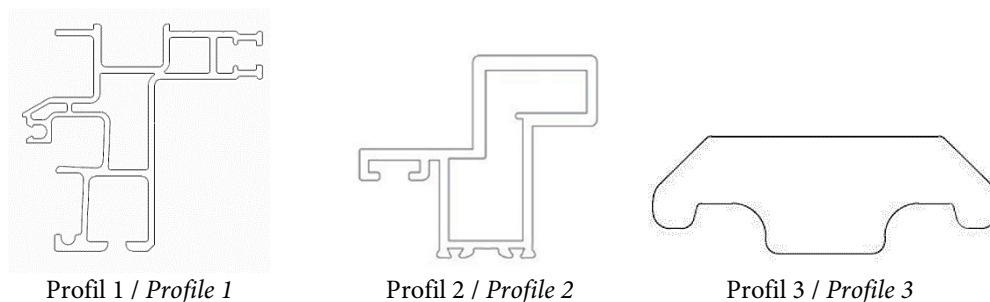
b)

Rys. 12. Dyfuzor: a) przed gięciem, b) po gięciu

Fig. 12. Diffuser: a) before bending, b) after bending

5. Opracowanie technologii wytwarzania belki konstrukcji nośnej dla pojazdów ciężarowych i transportu kolejowego. Projekt realizowano wspólnie z firmą Albatros Aluminium w latach 2017–2018. Celem projektu było opracowanie technologii kształtowania profili aluminiowych o długości do 13 m ze specjalnych stopów serii 6xxx oraz niewykorzystywanych przez branżę stopów serii 5xxx o podwyższonej zawartości magnezu (3% i więcej). Wynikiem badań było opracowanie procesu gięcia i jego wdrożenie w firmie Albatros Aluminium oraz zaferowanie produktu o nowym, niedostępnym dotychczas na rynku polskim, kształcie, wymiarach oraz właściwościach. Na podstawie przeprowadzonych wyników badań i prób gięcia sporządzono karty technologiczne trzech kształtów profili aluminiowych przedstawionych na rys. 13.

5. Development of manufacturing technology of beam of load-bearing structure for trucks and railway vehicles. The project was realized jointly with Albatros Aluminium during the years 2017–2018. The goal of the project was to develop technology for forming of aluminum profiles with length up to 13 m from special 6xxx-series alloys and 5xxx-series alloys, not applied by the industry, with elevated magnesium content (3% and more). The result of tests was development of the bending process and its implementation at Albatros Aluminium, as well as offering of a product with a new shape, dimensions and properties, previously unavailable on the Polish market. Based on the results of conducted tests and bending trials, technological sheets were prepared for three shapes of aluminum profiles presented in Fig. 13.



Rys. 13. Przekroje poprzeczne profili, dla których prowadzono badania gięcia

Fig. 13. Cross-sections of profiles for which bending tests were carried out

Opis badań prowadzonych w ramach projektu można znaleźć w literaturze [10, 11].

A description of tests conducted as part of the project can be found in the literature [10, 11].

6. Wykorzystanie modułowych systemów podawania i mieszania materiałów proszkowych na przykładzie linii technologicznej do wytwarzania katod w bateriach termicznych wraz z systemem eksperckim doboru modułów i parametrów pracy. Projekt realizowany wspólnie z firmą iPRO Sp. z o.o. oraz ŁUKASIEWICZEM – Instytutem Metali Nieżelaznych w latach 2019–2021. Celem projektu jest zaprojektowanie i budowa modułowego systemu dozowania i mieszania materiałów proszkowych, który będzie stanowił element składowy linii technologicznej wytwarzania katod w bateriach termicznych. Pozwoli na opracowanie eksperckiego systemu doboru modułów i parametrów procesu produkcyjnego, poprzez zmniejszenie ilości testów służących optymalizacji procesu produkcyjnego.

6. Application of modular systems for feeding and mixing of powder materials on the example of a process line for manufacturing of cathodes for thermal batteries, along with an expert system for selection of modules and operating parameters. The project is being realized jointly with iPRO Sp. z o.o. and the ŁUKASIEWICZ – Institute of Non-Ferrous Metals during the years 2019–2021. The goal of the project is to design and build a modular system for dosing and mixing of powder materials, which will be a component of the process line for manufacturing of cathodes for thermal batteries. It will make it possible to develop an expert system for selection of modules and the parameters of the manufacturing process, through reduction of the number of tests serving for optimization of the production process.

7. Opracowanie technologii wytwarzania szaf metalowych z materiałów o zmiennej grubości. Projekt realizowany wspólnie z firmą Metalkas w latach 2019–2022. Celem projektu jest opracowanie technologii wytwarzania konstrukcji stalowych profili z materiałów o zmiennej grubości. Opracowany zostanie produkt innowacyjny; szafa stalowa wzmocniona takimi profilami.

7. Development of technology for manufacturing of metal cabinets from materials with variable thickness. The project is being realized jointly with Metalkas during the years 2019–2022. The goal of the project is to develop technology for manufacturing of steel structures of profiles with materials of variable thickness. An innovative product: steel cabinet reinforced with such profiles, will be developed.

8. Opracowanie procesu produkcji i konstrukcji regału z panelowymi półkami metalowymi.

Projekt realizowany wspólnie z firmą Metalkas w latach 2019–2022. Celem projektu jest opracowanie konstrukcji i technologii produkcji regału z panelową półką metalową. Opracowany zostanie produkt innowacyjny; regał z półkami panelowymi przenoszącymi obciążenia minimum 300 kg.

Development of production process and structure of rack with metal panel shelves.

The project is being realized jointly with Metalkas during the years 2019–2022. The goal of the project is to develop the design and production technology of a rack with metal panel shelf. An innovative product will be developed: rack with panel shelves carrying loads of at least 300 kg.

5. PODSUMOWANIE

Zrealizowane projekty badawcze oraz badania przemysłowe pozwoliły na zdobycie nowej i poszerzenie dotychczasowej wiedzy z zakresu obróbki plastycznej. Przekłada się to na realizację nowych projektów naukowych przy udziale firm przemysłowych i jednostek naukowych. Prowadzone w ramach prac statutowych badania nie rzadko pozwalają na wykorzystanie zdobytego doświadczenia do realizacji prac przemysłowych, zwiększając tym zakres usług świadczonych przez ŁUKASIEWICZA – INOP.

5. CONCLUSIONS

Completed research projects and industrial research have made it possible to gain new and expand existing knowledge in the scope of metal forming. This will yield interest in the form of realization of new scientific projects involving industrial companies and scientific entities. Research conducted as part of statutory works often make it possible to utilize experience gained in the performance of industrial works, thus expanding the scope of services rendered by ŁUKASIEWICZ – INOP.

PODZIĘKOWANIA

Badania zrealizowano w ramach projektów pt.:

- „Opracowanie technologii wytwarzania belki konstrukcji nośnej dla pojazdów ciężarowych i transportu kolejowego”, nr POIR.01.01.01-00-0302/16, finansowane ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój 2014–2020. Poddziałanie 1.1.1. „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa”;
- „Innowacyjna linia do walcowania płaskowników o określonych właściwościach”, nr Innotech-K3/IN3/7/225975/NCBR/14 realizowany w latach 2014–2016, finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Innotech, Inteligentny Rozwój 2014–2020;
- „Badania walcowania innowacyjnych profili do krat pomostowych (INPWAL)”, nr umowy: PBS3/B5/33/2015; projekt finansowany w ramach III Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju;

ACKNOWLEDGEMENTS

Research was realized within the framework of projects titled:

- *“Development of technology for manufacturing of beam of load-bearing structure for trucks and railway vehicles” No. POIR.01.01.01-00-0302/16, financed with funds from the European Regional Development Fund within the framework of the Smart Growth Programme 2014–2020. Sub-measure 1.1.1. “Industrial research and development works realized by enterprises”;*
- *“Innovative line for rolling of flat bars with specific properties” No. Innotech-K3/IN3/7/225975/NCBR/14, realized during the years 2014–2016, financed with funds from the National Centre for Research and Development within the framework of the Innotech Programme, Smart Growth 2014–2020;*
- “Tests of the rolling of innovative deck grating profiles” (INPWAL), contract no.: PBS3/B5/33/2015; project financed as part of the 3rd Programme of Applied Research of the National Centre for Research and Development;*

- „Laserowe formowanie cienkościennych profili wspomagane mechanicznie”, nr PBS3/A5/47/2015, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Programu Badań Stosowanych;
- „Wzrost innowacyjności firmy Wojciech Eder „Eder” dzięki znaczącemu ulepszeniu innowacyjności wielowarstwowych pasów z włókna szklanego pokrytego PTFE o równej i stałej grubości na całej powierzchni oraz szerokości do 2400 mm”; badania realizowano w ramach środków PARP, program wsparcie w ramach Dużego Bonu – Edycja 2015.
- “Laser shaping of thin-walled profiles, mechanically supported”, no. PBS3/A5/47/2015, financed by the National Centre for Research and Development, Applied Research Programme;
- Raising the innovation of Wojciech Eder “EDER” thanks to substantial improvement of the innovation of multi-layered glass fiber belts coated with PTFE with even and constant thickness over the entire surface and width up to 2400 mm”; research realized using funds of the Polish Agency for Enterprise Development, support programme within the framework of “Duży Bon” – 2015 Edition.

LITERATURA

- [1] Gądek T., Ł. Nowacki. 2014. “Modern spinning technology with laser heating of Nickel-based sheets”. *AutoMetForm SFU 2014 New Materials for Vehicle Components*: 150–154.
- [2] Gądek T., D. Woźniak, M. Hojny, M. Głowacki. 2015. “Numerical And Experimental Forming Of Axisymmetric Products Using Methods Of Deep Drawing And Flow Forming”. *Archives Of Metallurgy And Materials* 60.: 2827–2832.
- [3] Gądek T., M. Pawlicki, Ł. Nowacki. 2015. “Metody kształtowania przyrostowego blach”. *Stal Metale & Nowe Technologie* 3/4: 74–77.
- [4] Woźniak D., M. Hojny, M. Głowacki, T. Gądek. 2015. “Numerical and experimental forming of axisymmetric products using flow forming method for hard-to-deform material”. *24th International Conference on Metallurgy and Materials*, Brno, Czech Republic, Jun 3rd – 5th 2015, poster.
- [5] Gądek T., Ł. Nowacki. 2017. „Prototyp urządzenia do kształtowania profili cienkościennych z podgrzewaniem laserowym”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 5: 18–23.
- [6] Gądek T., Nowacki Ł. 2017. „Kształtowanie elementów cienkościennych z zastosowaniem strefowego podgrzewania laserowego. Shaping thin-walled elements using zone laser heating”. *Obróbka Plastyczna Metali XXVIII* (3): 171–182.
- [7] Gądek T., M. Pawlicki. 2014. „Wyznaczenie parametrów i metody wyżarzania płaskowników walcowanych na zimno celu osiągnięcia założonych właściwości mechanicznych”. *Konferencja – Walcownictwo 2014*, Ustroń, 20–22 października 2014, poster.
- [8] Pieszak M., T. Drenger, M. Rozmysłowicz, T. Gądek, Ł. Nowacki. 2018. „Walcowanie innowacyjnych profili kształtowych i zastosowanie ich w kratkach pomostowych”. *Zeszyt streszczeń Semina-*

REFERENCES

- [1] Gądek T., Ł. Nowacki. 2014. “Modern spinning technology with laser heating of Nickel-based sheets”. *AutoMetForm SFU 2014 New Materials for Vehicle Components*: 150–154.
- [2] Gądek T., D. Woźniak, M. Hojny, M. Głowacki. 2015. “Numerical And Experimental Forming Of Axisymmetric Products Using Methods Of Deep Drawing And Flow Forming”. *Archives Of Metallurgy And Materials* 60.: 2827–2832.
- [3] Gądek T., M. Pawlicki, Ł. Nowacki. 2015. “Metody kształtowania przyrostowego blach”. *Stal Metale & Nowe Technologie* 3/4: 74–77.
- [4] Woźniak D., M. Hojny, M. Głowacki, T. Gądek. 2015. “Numerical and experimental forming of axisymmetric products using flow forming method for hard-to-deform material”. *24th International Conference on Metallurgy and Materials*, Brno, Czech Republic, Jun 3rd – 5th 2015, poster.
- [5] Gądek T., Ł. Nowacki. 2017. „Prototyp urządzenia do kształtowania profili cienkościennych z podgrzewaniem laserowym”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 5: 18–23.
- [6] Gądek T., Nowacki Ł. 2017. „Kształtowanie elementów cienkościennych z zastosowaniem strefowego podgrzewania laserowego. Shaping thin-walled elements using zone laser heating”. *Obróbka Plastyczna Metali XXVIII* (3): 171–182.
- [7] Gądek T., M. Pawlicki. 2014. „Wyznaczenie parametrów i metody wyżarzania płaskowników walcowanych na zimno celu osiągnięcia założonych właściwości mechanicznych”. *Konferencja – Walcownictwo 2014*, Ustroń, 20–22 października 2014, poster.
- [8] Pieszak M., T. Drenger, M. Rozmysłowicz, T. Gądek, Ł. Nowacki. 2018. „Walcowanie innowacyjnych profili kształtowych i zastosowanie ich w kratkach pomostowych”. *Zeszyt streszczeń Semina-*

- rium Obróbki Plastycznej pt. *Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 36.
- [9] Gądek T., Ł. Nowacki. 2018. „Laserowe formowanie cienkościennych profili wspomagane mechanicznie”. *Zeszyt streszczeń Seminarium Obróbki Plastycznej pt. Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 30.
- [10] Pieszak M., T. Gądek, T. Drenger, Ł. Nowacki. 2018. „Wyoblarka do kształtowania wyłoczek specjalnych”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 4: 22–25.
- [11] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski, H. Jurczak. 2018. Badania gięcia profili aluminiowych stosowanych w przemyśle transportowym. Bending tests of aluminium profiles used in the transport industry”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIX* (3): 299–314.
- [12] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski, H. Jurczak. 2018. „Gięcie profili aluminiowych na giętarce trójrolkowej”. *Zeszyt streszczeń Seminarium Obróbki Plastycznej pt. Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 24.
- [13] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski. „Badania kształtowania wyrobów niesymetrycznych metodą wyoblania wspartych symulacjami MES”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (4) [zgłoszony].
- rium Obróbki Plastycznej pt. *Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 36.
- [9] Gądek T., Ł. Nowacki. 2018. „Laserowe formowanie cienkościennych profili wspomagane mechanicznie”. *Zeszyt streszczeń Seminarium Obróbki Plastycznej pt. Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 30.
- [10] Pieszak M., T. Gądek, T. Drenger, Ł. Nowacki. 2018. „Wyoblarka do kształtowania wyłoczek specjalnych”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 4: 22–25.
- [11] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski, H. Jurczak. 2018. Badania gięcia profili aluminiowych stosowanych w przemyśle transportowym. Bending tests of aluminium profiles used in the transport industry”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIX* (3): 299–314.
- [12] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski, H. Jurczak. 2018. „Gięcie profili aluminiowych na giętarce trójrolkowej”. *Zeszyt streszczeń Seminarium Obróbki Plastycznej pt. Innowacje w zastosowaniach przemysłowych*, Poznań, 06.06.2018 r., 24.
- [13] Gądek T., Ł. Nowacki, M. Majewski. „Badania kształtowania wyrobów niesymetrycznych metodą wyoblania wspartych symulacjami MES”. *Obróbka Plastyczna Metali XXX* (4) [submitted].