



## Możliwości wykorzystania technik skanowania w aplikacjach kuźniczych

### *The possibility of using scanning techniques in forging applications*

(1) Marek Hawryluk, (2) Jacek Ziemba\*

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Obróbki Plastycznej i Metrologii, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Poland

#### Informacje o artykule

Zgłoszenie: 12.10.2016

Recenzja: 2.11.2016

Akceptacja: 31.03.2016

#### Wkład autorów

(1) Koncepcja, założenia,  
metody, badania

(2) Koncepcja, założenia,  
metody, badania

#### Streszczenie

Artykuł dotyczy możliwości zastosowania nowoczesnych bezstykowych technik pomiarowych w kuźniach matrycowych, w szczególności możliwości wykorzystania skanerów optycznych i ramion pomiarowych ze zintegrowanymi skanerami liniowymi. W pracy wskazano na różne aspekty bezstykowych technik pomiarowych wykorzystywanych głównie do dwóch grup obiektów, zwracając uwagę na niedostateczną świadomość ważności stosowanych przyrządów i metod pomiaru, zwłaszcza w kontekście bezpieczeństwa uzyskiwanych wyrobów oraz istotnych problemów pomiarowych, wynikających z ekstremalnych warunków panujących w przemysłowych procesach kucia na gorąco. Do pierwszej grupy zaliczyć można rozmaite pomiary odkuwek, m.in.: ich kontrolę w trakcie i po procesie kucia oraz po obróbce mechanicznej z wykorzystaniem techniki kontroli skanów na wirtualnych sprawdzianach z bazami cząstkowymi. Drugą grupę obiektów pomiarowych stanowi oprzyrządowanie kuźnicze, gdzie pomiary obejmują szeroko rozumianą kontrolę jakości nowych matryc, stempli i wkładek matrycowych, analizę zużycia narzędzi kuźniczych oraz pomiary dla narzędzi regenerowanych w technologii napawania. W pracy przedstawiono także inne możliwości wykorzystania technik skanowania, m.in.: do analizy małych i precyzyjnych narzędzi kuźniczych. Przeanalizowano także możliwość stosowania technik skanowania odwrotnego 3D do bezpośredniej kontroli jakości oraz zmian geometrii warstwy wierzchniej narzędzi kuźniczych, bez konieczności ich demontażu, na podstawie pomiaru zmian geometrii cyklicznie pobieranych odkuwek.

**Słowa kluczowe:** kontrola jakości, skanowanie, narzędzia kuźnicze, odkuwka

#### Article info

Received: 12.10.2016

Reviewed: 2.11.2016

Accepted: 31.03.2016

#### Authors' contribution

(1) Concept, assumptions,  
methods, investigations

(2) Concept, assumptions,  
methods, investigations

#### Abstract

The article concerns the possibility of the use of modern non-contact measurement techniques in a die forges, in particular the possibility of using an optical scanners and measuring arms with integrated linear scanners. The work points to different aspects of measuring techniques used mainly for two groups of objects, emphasizing their important role in the context of the safety (achieved forgings – products) and the significant measurement problems due to the extreme conditions in industrial processes hot forging. The first group consists of various measurements of forgings, for example: its control during and after the forging and mechanical treatment, the use of control techniques scans on virtual exams with partial databases. The second group of measuring objects is forging instrumentation, where measurements include the widely understood quality control of new dies, punches and die inserts, the analysis of forging tools wear and measurement for regenerated tools in pad welding technology. The paper presents

\* Autor do korespondencji. Tel.: +48 71 320 42 27; e-mail: jacek.ziemba@pwr.edu.pl

\* Corresponding author. Tel.: +48 71 320 42 27; e-mail: jacek.ziemba@pwr.edu.pl

*the other possibilities of using scanning techniques, inter alia: for geometric analysis of small and precise forging tools. Also examined the possibility of using 3D reverse scanning techniques to direct quality control and changes of surface layer geometry of the forging tools, (without the necessity of their disassembly), based on the measurement of geometry changes for cyclically collected forgings.*

**Keywords:** *quality control, scanning, forging tools, forging*

## 1. WSTĘP

Podstawą rozwoju przemysłu jest ciągłe doskonalenie produktu oraz podnoszenie jego jakości przy jednoczesnym obniżaniu kosztów jego wytwarzania, co pośrednio związane jest ze skróceniem czasu pomiaru przy bardzo skomplikowanych procedurach pomiarowych. Jest to możliwe dzięki ciągłemu udoskonalaniu technik pomiarowych oraz wprowadzaniu nowych przyrządów i metod pomiarowych, m.in.: wykorzystaniu szybkich metod skanowania połączonych z CAD/CAM [13, 16, 21, 23].

Obecna konkurencja na rynku wyrobów kutych sprawia, że poza ceną, stanowiącą główne kryterium wyboru dostawcy, parametrem, który coraz częściej decyduje o wyborze potencjalnego sprzedawcy, jest jakość oferowanych przez niego odkuwek. Szczególnie istotne jest to w sytuacji, gdy odbiorcami wyrobów są przemysł samochodowy i lotniczy, które narzucają dodatkowe wymagania zarówno w zakresie własności, jak i zwiększonej dokładności wymiarowo-kształtowej. Procesy kucia matrycowego należą do jednych z najtrudniejszych w realizacji procesów wytwarzania. Pomimo, iż technologia ta jest stosunkowo dobrze poznana to prawidłowe wykonanie odkuwek o skomplikowanym kształcie, które będą spełniały wymagania dotyczące dokładności i jakości stawiane przez odbiorców, wymaga od technologów i operatorów dużego doświadczenia. Na każdym z etapów ciągu technologicznego kucia istnieje potencjalne ryzyko wystąpienia błędu powodującego obniżenie jakości wytwarzanych odkuwek. Do podstawowych czynników wpływających na jakość i dokładność wymiarowo-kształtową odkuwek należą: narzędzia (głównie ich jakość wykonania) oraz maszyny i urządzenia (stan eksploatacji, luzy, itp.) stosowane w procesach kucia matrycowego. Zużywanie się narzędzi kuźniczych i pozostałego oprzyrządowania (obudowy, pierścienie kom-

## 1. INTRODUCTION

*The basis for the development of industry is a continuous perfection of the product, improvement of its quality and reduction of the production costs, which are indirectly connected with the reduction of the measuring time with very complicated measuring procedures. This is possible thanks to the continuous improvement of measurement techniques and the implementation of new instruments and measurement methods, inter alia: use of high-speed scanning methods combined with CAD / CAM [13, 16, 21, 23].*

*The current competition in the market for forged products is the reason why, beside the price, constituting the main criterion for the selection of the supplier, a parameter which more and more often determines the selection of the vendor is the quality of the offered forgings. This is especially crucial in the case when the recipient of the product is the automotive and the aircraft industry. The die forging processes are one of the most difficult ones in respect of implementation. Despite the fact that this technology is relatively well-known, producing a proper forging of a complicated shape which will meet the requirements of the recipient regarding the precision and quality needs high experience on the part of the technologists and operators. In each stage of the forging process, there is a potential risk of error, which lowers the quality of the produced forgings. One of the basic factors affecting the quality of the forgings are the tools (their quality and precision) as well as the machines and devices (operational state, clearance etc.) used in the forging processes. The wear of the forging tools as well as the remaining instrumentation (casings, shim rings, sleeves, washers, wedges etc.) causes a change in the geometry of the product, and any surface flaws of the tools (cracks, defects) are reflected in the forged product, affecting its quality [7]. This is also the case*

pensacyjne, tuleje, podkładki, kliny, itp.) powoduje zmianę geometrii wytworzonego wyrobu, a wszelkie wady powierzchniowe narzędzi (pęknięcia, ubytki) odwzorowują się na kuty wyrobie, wpływając na jakość gotowego wyrobu [7]. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku agregatów kuźniczych i innych urządzeń pomocniczych. Prasy i młoty pracujące w trudnych warunkach, jakie panują w trakcie kucia, często są nadmiernie eksploatowane, co powoduje znacznie szybsze zużywanie się ich elementów i podzespołów [3, 5]. Dlatego bardzo ważna podczas produkcji jest nie tylko szczegółowa kontrola jakości odkuwki, ale także oprzyrządowania kuźniczego. W większości zakładów przemysłowych związanych z produkcją odkuwek takie kontrole polegają na wizualnej ocenie jakości wytwarzanego elementu, bądź też poszczególnych narzędzi (matryc, stempli, wypychaczy, itp.), czy też pomiary w wybranych punktach kontrolnych przy użyciu tradycyjnych urządzeń pomiarowych lub z wykorzystaniem prostych sprawdzianów kształtu. Polskie kuźnie matrycowe do kontroli jakości detali (odkuwek), oprzyrządowania kuźniczego, maszyn i urządzeń kuźniczych nadal wykorzystują klasyczne narzędzia pomiarowe. Wynika to głównie z dwóch powodów. Pierwszym jest to, że tego typu przyrządy od wielu lat sprawdzają się w przemyśle kuźniczym (w którym kiedyś wymagana była mała dokładność pomiarowa), są niezawodne, proste w obsłudze i szybko podają wynik pomiaru. Drugim powodem jest to, że zakłady przemysłowe, mimo, iż mają świadomość potrzeby kontroli jakości, często ze względów finansowych, nie przywiązują dostatecznej wagi do przyrządów oraz metod pomiarowych. Często obowiązywała, bądź nadal obowiązuje zasada, że dany wymiar czy kształt może być „dobrze” zmierzony lub sprawdzony, bo tak robiono od wielu lat. Stosowane klasyczne metody pomiaru nie pozwalają na szybką i kompleksową ocenę jakości i dokładności całego obiektu. Analizy takie możliwe są dzięki wykorzystaniu współrzędnościowych technik pomiarowych (WTP) przy wykorzystaniu maszyn współrzędnościowych oraz coraz częściej skanerów bądź ramion pomiarowych ze zintegrowanymi skanerami, pozwalającymi na pomiar

*of forging aggregates and other supplementary devices. Presses and rams working under hard conditions characteristic to the forging process are often over-used, which causes a much faster wear of their elements and subassemblies [3, 5]. That is why, during the production process, it is so important not only to control the quality of the forging but also that of the forging instrumentation, as well as to periodically control the key elements of the forging machines and devices. In a majority of the industrial plants working in the field of forging production, such check-ups consist in a visual assessment of the quality of the produced element or of the particular tools (dies, stamps, pushers etc.) as well as in performing a measurement in selected control points with the use of traditional measuring devices or simple shape gauges. The polish forging plants still use the classic measuring tools for the quality control of forgings, forging equipment, machines and devices. They include universal tools for measuring the length and diameter (of digital and analogue slide callipers, analogue micrometres, two- and three-point rod gauges, gauge blocks, feeler gauges, height gauges, protractors, cogged detectors, detector instruments etc.). This mainly results from two issues. First, for many years, this type of instruments have been proved effective in the forging industry, where, once, the required measuring accuracy was low. Also, they are reliable, simple and provide results in a short time. Secondly, industrial plants, despite having the awareness of the necessity of quality control, do not give enough weight to the instruments and methods of measurements, due to financial reasons. Often apply or continue the rule that the size or shape, can be “good” measured or tested, because it was done for many years. Applied classic methods of measurement do not allow for a quick and comprehensive assessment of the quality and accuracy of the entire facility. Such analyzes are possible thanks to the use of coordinate measuring techniques (CMT) using CMM and more often scanners, or measuring arms with integrated scanners, allowing for measurement directly during production. So now more and more often, especially in modern forges, this situation is changing, and put greater emphasis on*

bezpośrednio podczas produkcji. Dlatego obecnie coraz częściej, zwłaszcza w nowoczesnych kuźniach ta sytuacja ulega zmianie i kładziony jest większy nacisk na stosowanie dokładniejszych przyrządów i narzędzi pomiarowych oraz na wykorzystywanie nowych metod pomiaru, w tym bezkontaktowe techniki skanowania. Jest to także bezpośrednio związane z coraz większymi wymaganiami odbiorców odkuwek [8, 16, 21].

## 2. BEZSTYKOWE TECHNIKI POMIAROWE – SKANOWANIE

W przemysłowej metrologii współrzędnościowej obserwowane są nowe trendy związane z wykorzystaniem bezstykowych technik pomiarowych. Wymusza to konieczność wykorzystywania modeli numerycznych 3D do określania wartości nominalnych podczas pomiaru. Jest to związane z nowoczesnym podejściem wymiarowym ISO GPS oraz integracją oprogramowania pomiarowego dla maszyn pomiarowych z numerycznymi modelami CAD [9, 10, 22]. W odpowiedzi na zapotrzebowanie rynku zauważalne jest ciągle zwiększanie dokładności pomiarowej zarówno w przemysłowych skanerach optycznych, jak i laserowych skanerach liniowych, co – wraz z ich mobilnością – istotnie zwiększa ich konkurencję w stosunku do klasycznych maszyn CMM. Związane jest to z coraz to częstszym wykorzystaniem źródeł światła niebieskiego zamiast czerwonego, co wpływa istotnie na dokładność pomiarową, a w przypadku skanerów optycznych pozwala na częściowe eliminowanie konieczności matowienia detali. Dodatkowo ze względu na łatwość aplikacji i zwiększenie dokładności pomiarowej coraz większym zainteresowaniem przemysłu cieszą się mobilne urządzenia. Do urządzeń takich niewątpliwie należą różnego typu skanery optyczne oraz ramiona pomiarowe wyposażone w liniowe skanery laserowe z dedykowanym specjalistycznym oprogramowaniem, które poprzez swoją mobilność i uniwersalność są alternatywą dla współrzędnościowych maszyn pomiarowych w aplikacjach wymagających mniejszej dokładności [20]. Przykładowo

*application of more accurate of measuring instruments and tools, and the use of new measurement methods, including contactless scanning techniques. It is also directly connected with growing requirements of forgings customers [8, 16, 21].*

## 2. CONTACTLESS MEASUREMENT TECHNIQUES – SCANNING

*In the industrial coordinate metrology are observed new trends related to the use of non-contact measurement techniques. This forces the need to use 3D numerical models to determine the nominal values during measurement. It is associated with a modern approach dimensional ISO GPS and integrated measuring software for measuring machines and numerical models CAD [9, 10, 22]. In response to the market demand is noticeable continuous increase measurement accuracy in industrial optical scanners and line laser scanners which, together with their mobility significantly increases their competitive compared to traditional CMMs. This is due to the increasingly frequent use of sources of light blue instead of red, which significantly affect the accuracy of measurement, and in the case of optical scanners can eliminate the need for partial dulling details. In addition, due to the ease of application and increase measurement accuracy increasing interest the industry enjoy a mobile device. To devices such undoubtedly include various types of optical scanners and measuring arms equipped with linear laser scanners with dedicated specialized software, which through its mobility and flexibility are an alternative for coordinate measuring machines in applications requiring lower accuracy [20]. For example, the accuracy of the mobile measuring arm considered in the work [1], in which the authors conducted a study involving the evaluation of map-*

dokładność mobilnego ramienia pomiarowego rozpatrywano w pracy [1], w której autorzy przeprowadzili badania polegające na ocenie odwzorowania nominalnego kształtu za pomocą ramienia oraz maszyny współrzędnościowej. Technika skanowania 3D również przy użyciu skanerów wykorzystywana jest głównie do kontroli jakości końcowej wyrobów [17, 24]. Pomiarzy te bazują najczęściej na ocenie błędów kształtu wyznaczonego konturu i powierzchni [12]. W dostępnej literaturze coraz częściej można znaleźć zastosowanie tego typu metod do pomiaru, kontroli i oceny stanu narzędzi kształtujących. Przykładem takiej aplikacji metody skanowania 3D jest wykorzystanie skanera optycznego do określenia błędów kształtu wyznaczonej powierzchni, a następnie na podstawie uzyskanych danych określenie specyfikacji geometrycznej dla procesu napawania regeneracyjnego [11, 18]. Innym zastosowaniem metod skanowania przestrzennego przy użyciu skanerów jest wykorzystanie analizy błędów kształtów wyznaczonej powierzchni do oceny zużycia narzędzi kuźniczych azotowanych lub pokrywanych warstwami hybrydowymi. Analizy te polegały na porównaniu uzyskanych podczas skanowania obrazów (nowego narzędzia kuźniczego przed pracą, bądź referencyjnego modelu CAD, a następnie tego samego narzędzia po kuciu) poprzez wyznaczenie błędów kształtu analizowanej powierzchni [5, 22, 23].

Jak dotąd na podstawie dostępnej literatury znaleźć można jedynie wykorzystanie technik pomiarowych skanowania 3D do analizy zmian geometrii wyrobu (odkuwek, ewentualnie do kontroli nowych narzędzi), a nie do oceny stanu narzędzi wytwarzających dany produkt lub podobnych temu zastosowań [14, 15, 17, 19]. Zainteresowanie to skłania do przeanalizowania technik skanowania pod względem możliwości wykorzystania ich w przemyśle kuźniczym, do przedstawionych w pracy aplikacji, m.in. do analizy zmiany geometrii narzędzi w procesie kucia, wspomaganie opracowywania nowych technologii, weryfikacji napawania oraz do bardziej zaawansowanych zastosowań, jak np. ciągłej oceny stanu narzędzia kuźniczego na podstawie cyklicznie pobieranych i skanowanych odkuwek.

*ping the nominal shape using arm and CMM. The scanning using the 3D scanner is mainly used for quality control of the final products [17, 24]. These measurements are mostly based on the evaluation of shape errors of determined contour and surface [12]. The available literature more and more frequently discusses applications of this kind of methods for the measurement, control and evaluation of the forming tools state. An example of such application of the 3D scanning method is the use of an optical scanner for the determination of the shape errors of the given surface and next, on the basis of the obtained data, providing the geometrical specification for the regenerative pad welding process [11, 18]. Another application of the 3D scanning method with the use of scanners is the use of the analysis of the shape errors of the given surface for the evaluation of the wear of the forging tools – nitrided or coated with hybrid layers [5, 22, 23]. These analyzes consisted in comparing the images obtained during scanning (new tool for forging before it work, or the reference CAD model and then the same tool after forging) through the designation of shape errors of the analyzed surface.*

*Up till now, the available literature provides only information on the application of 3D scanning techniques for the analysis of the geometry changes in the product, but not the assessment of the state of the tools and machines which produce it or similar applications [14, 15, 17, 19]. This interest leads to analyse scanning techniques in terms of their use in the forging industry, to those presented in the application work, inter alia: to analyse the changes in the geometry of the tools in the forging process, supporting the development of new technologies, verification of pad welding technology and more advanced applications, such as e.g.: continuous evaluation of the forging tools based on periodically collected and scanned forgings.*

### 3. POMIARY I KONTROLA JAKOŚCI ODKUWKI

Kontrola odkuwek zależy często bezpośrednio od odbiorcy. Obecnie to klient decyduje o tym, które wymiary są dla niego istotne i mają być sprawdzane oraz czy taka kontrola ma być realizowana statystycznie, czy też w 100%. Klient płaci, więc i decyduje, jakiego typu to ma być inspekcja: makroskopowa, wizualna, czy też analiza defektoskopowa, lub jedna i druga. Standardowo w procesach kucia matrycowego kontroli poddawane są: materiał wsadowy, przedkuwka oraz odkuwki po poszczególnych operacjach, a także odkuwka po obróbce mechanicznej, czyli gotowy wyrób.

Kontrola jakości odkuwek odbywa się najczęściej na początku; podczas uruchamiania procesu kucia pobierane są odkuwki z poszczególnych operacji w celu sprawdzenia ustawień maszyny, poprawności zamontowania i wykonania samych narzędzi. Bezpośrednio na produkcji kontrolowana jest gorąca odkuwka, a ocenie poddawane są kluczowe dla procesu jej cechy geometryczne. Niekiedy w przypadku odpowiedzialnych odkuwek, np. dla przemysłu samochodowego lub lotniczego, kiedy wymagana jest 100 % kontrola jakości oraz duża dokładność wymiarowo-kształtowa, np. w przypadku smukłych elementów, w celu sprawdzenia wszystkich kluczowych cech geometrycznych danego produktu, wykorzystuje się specjalnie skonstruowane przyrządy pomiarowe. Dlatego do kontroli odbiorczej tego typu odkuwek coraz częściej sięga się po nowoczesne narzędzia WTP pozwalające na skanowanie 3D takie, jak maszyny współrzędnościowe oraz skanery optyczne i laserowe, niekiedy zintegrowane z ramieniem pomiarowym. Ramiona pomiarowe poprzez swoją mobilność i uniwersalność są alternatywą dla współrzędnościowych maszyn pomiarowych w aplikacjach dopuszczających mniejszą dokładność pomiaru i pozwalają na pełną analizę wymiarową [7, 20, 23]. Przykładem takiego pomiaru jest prezentowane na rys. 1 wykorzystanie techniki kontroli kluczowych cech kształtu wyznaczonego zarysu i powierz-

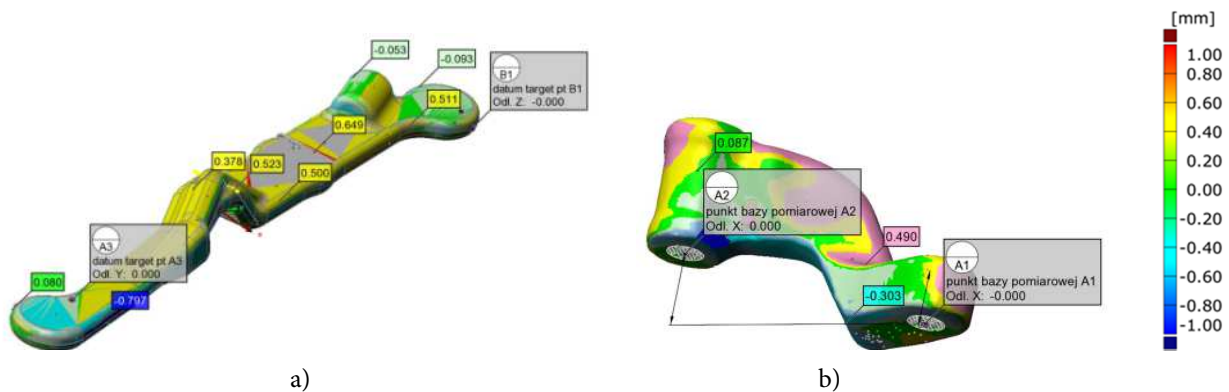
### 3. FORGING MEASUREMENT AND QUALITY CONTROL

*The control of the forgings often depends directly on the recipient. It is the client who decides which dimensions are important and are supposed to be verified, and whether such control should be realized statistically or 100%. The client pays and thus decides about the type of the inspection, which can be a macroscopic, visual or flaw detection analysis, or all of them. The standard control of the forging processes includes: the charge material, the preform and the forgings after the particular operations, as well as the forging after the mechanical treatment, that is the final product.*

*The forging control usually takes place at the beginning. During the initiation of the forging process, forgings from the particular operations are sampled with the purpose to check the machine's settings and the appropriateness of the assembly and production of the tools themselves. Directly on the production are controlled: the appropriate heat temperature of input material and the hot forging undergoes the check-up, and its key geometrical characteristics are evaluated. Sometimes, in the case of responsible forgings, e.g. designed for the automotive and the aircraft industry, when 100 % control and high shape-size precision are required, e.g. in the case of thin elements, in order to check all the key geometrical characteristics of the given product are applied a specially constructed measuring instruments. That is why, in the acceptance inspection of this type of forgings, modern CMT tools are more and more frequently used, as they allow for 3D scanning, such as coordinate measuring machines as well as optical and laser scanners, sometimes integrated with a measuring arm. Measuring arms, owing to their mobility and universality, are an alternative for coordinate measuring machines in applications allowing for a lower measurement accuracy, and they provide a thorough dimensional analysis. [7, 20, 23]. An example of such a measurement is shown Fig.1 where one can see application of inspection techniques for the key characteristics of the shape of the determined contour and surface of the forging with the use of*

chni odkuwki na wirtualnych sprawdzianach z bazami cząstkowymi w środowisku PolyWorks.

*virtual gauges with partial bases in the PolyWorks environment.*

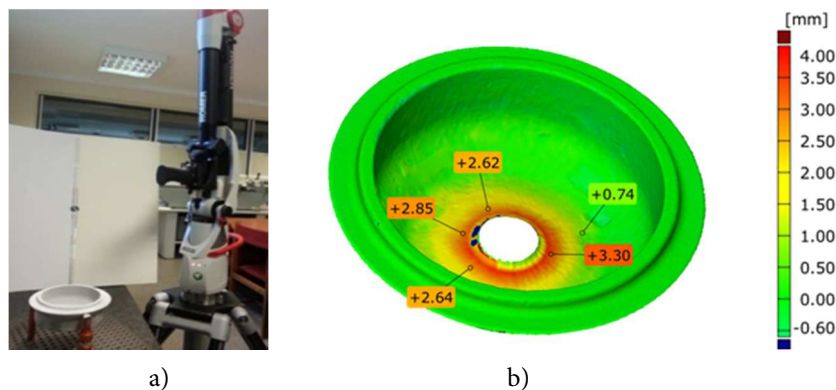


Rys. 1. Wirtualny sprawdzian z bazami cząstkowymi zbudowany w środowisku PolyWorks do kontroli kluczowej cechy kształtu a) wyznaczonego zarysu, b) wyznaczonej powierzchni

*Fig. 1. Virtual gauge with partial bases constructed in PolyWorks environment for control of the key shape: a) determined contour and b) determined surface*

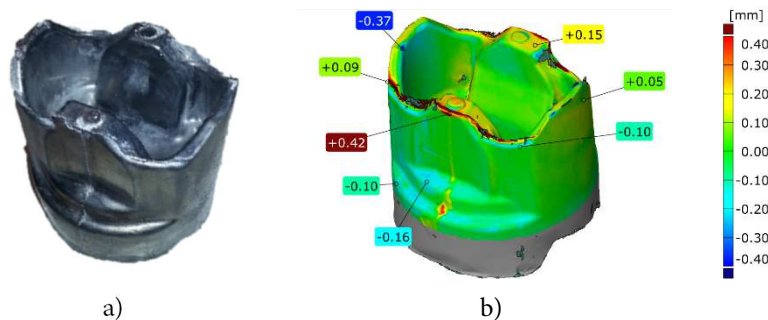
W procesie kontroli jakości odkówek coraz częściej z powodzeniem stosowane są pomiary z wykorzystaniem ramion pomiarowych wyposażonych w zintegrowane z nimi skanery liniowe. Na rys. 2a przedstawiono odkawkę pokrywy przygotowaną do przeprowadzenia pomiaru, a na rys. 3a przygotowaną do skanowania odkawkę tłoka samochodowego z ołowiu. Na rys. 2b i rys. 3b przedstawiono wyniki pomiaru błędu kształtu wyznaczonej powierzchni odkówki pokrywy i odkówki tłoka samochodowego.

*In the forging quality control process, more and more often, measuring arms equipped with a line scanners are successfully applied. Fig. 2a shows the lid forging prepared for measurement, and in Fig. 3a shows prepared for scanning the piston forging for automotive made form lead. Fig. 2b and Fig. 3b shows measurement error determined surface shape of the lid forgings and car piston forgings.*



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do badań laboratoryjnych odkówek z ramieniem pomiarowym ROMER Absolute ARM 7520si wyposażonym w zintegrowany skaner laserowy, b) zmierzona odkawka [7]

*Fig. 2. a) Measuring station for laboratory tests with the ROMER Absolute ARM 7520si with an integrated laser scanner, b) the scan results of the lid forging [7]*



Rys. 3. Skanowanie odkuwki tłoka: a) odkuwka wykonana z Pb poprzez modelowanie fizyczne, b) wyniki skanowania [6]

Fig.3. Scanning piston forging: a) forging made of lead by physical modeling, b) the results of the scan [6]

Wykorzystane do skanowania ramię pomiarowe ROMER Absolute ARM 7520si (rys. 2a) wyposażone jest w siedem osi obrotowych. W każdej osi znajduje się enkoder absolutny mierzący kąt obrotu pary kinematycznej niewymagający inicjalizacji i nagrzewania. Ramię umożliwia pomiary dotykowe, jak również pomiary optyczne (laserowy system skanowania RS3). Zintegrowany skaner charakteryzuje się możliwością zbierania do 460 000 punktów/s dla 4600 punktów na linii z częstotliwością liniiową 100 Hz.

Used to scan the arm ROMER Absolute ARM 7520si (Fig. 2a) is equipped with seven rotary axes. Each axis is absolute encoder measuring the angle of rotation kinematic pair does not require initialization and warm-up. The arm allows the measurement of the touch as well as optical measurements (laser scanning system RS3). The integrated scanner characterized by the possibility to collect 460 000 dots/s for 4600 dots per line to the line frequency of 100 Hz.

#### 4. POMIARY I KONTROLA OPRZYRZĄDOWANIA KUŹNICZEGO

Do kontroli oprzyrządowania kuźniczego używa się tych samych narzędzi i przyrządów pomiarowych, jak w przypadku odkuwek. Przy czym bardzo rzadko mierzy się nagrzane narzędzia. Podczas kucia matrycowego na gorąco narzędzia poddawane są bardzo dużym, cyklicznym obciążeniom cieplnym od 80 do 600°C oraz mechanicznym sięgającym nawet powyżej 1200 MPa. W wyniku tak niekorzystnych warunków pracy narzędzia kuźnicze cechują się niską trwałością [3, 5]. Dlatego matryce, stemple, wkładki i wypychacze poddawane są szczególnej kontroli przed procesem kucia, gdyż to od ich dokładności, jakości wykonania i stanu powierzchni zależy kształt i jakość samej odkuwki. Pomiary narzędzi kuźniczych dokonuje się także coraz częściej w trakcie eksploatacji oraz po zakończeniu pracy, w celu analizy postępujących efektów niszczenia narzędzia. Takie infor-

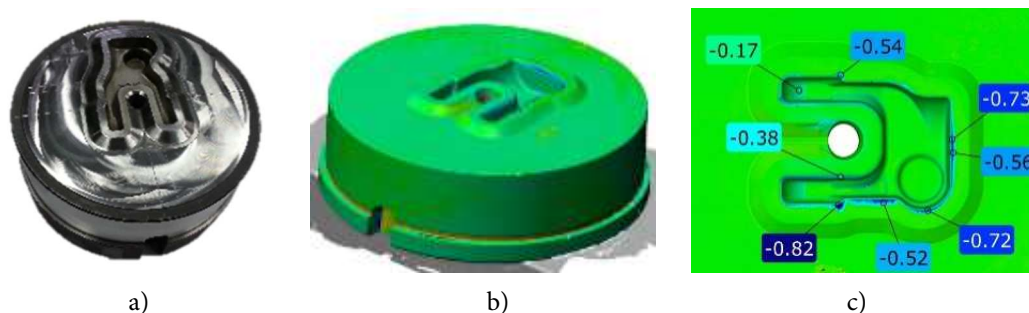
#### 4. MEASUREMENTS AND CONTROL OF FORGING INSTRUMENTATION

For the control of the forging instrumentation the same measuring tools and instruments are used as in the case of forgings. Hot tools are tested very rarely. During hot die forging, the tools undergo very high cyclic thermal (from 80 to 600 °C) as well as mechanical up to 1200 MPa loads. As a result of such disadvantageous working conditions, the tools characterize in instability and a relatively low durability [3, 5]. That is why dies, stamps, pads and pushers are especially closely controlled before the forging process, as it is their precision, quality and initial surface state which largely determine the shape and quality of the forging. Measurements of forging tools are also more and more often per-

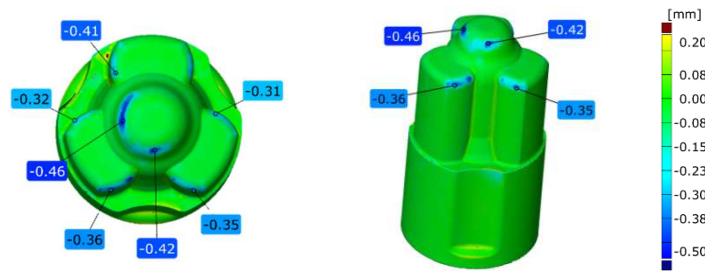


macje są bardzo cenne, zwłaszcza w przypadku prognozowania trwałości oprzyrządowania kuźniczego. Do tzw. „odbioru” małych narzędzi wykorzystywane są maszyny współrzędnościowe, charakteryzujące się większą co najmniej o rząd dokładnością (przykładowo  $\pm 0.002$  mm), w stosunku do urządzeń bezstykowych [10, 16, 21]. W przypadku narzędzi o dużych gabarytach, dla których technologia wykonania zapewnia większe tolerancje ze względu na mobilność i szybkość pomiaru, stosowane są ramiona pomiarowe ze zintegrowanymi skanerami lub skanery optyczne zapewniające pomiary z minimalną dokładnością systemu skanowania na poziomie  $\pm 0,03$  mm [20, 23]. Natomiast do określenia jakości ich powierzchni stosuje się, tak jak w przypadku odkuwek, profilometry i chropowatościomierze. Często, w przypadku, kiedy jakość powierzchni narzędzia nie posiada zbyt wygórowanych parametrów (zwłaszcza w przypadku dużych gabarytowo narzędzi kuźniczych), stosuje się mobilne ramiona pomiarowe zintegrowane ze skanerem, które poza pomiarem geometrii umożliwiają także uproszczone pomiary parametrów falistości powierzchni, w szczególności, kiedy istotne jest szybkie uzyskanie całego obrazu narzędzia [7]. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki skowania wkładki matrycowych do kucia odkuwki typu rozwidlonego. Natomiast na rys. 5 przedstawiono wyniki skanowania stempla stosowanego w wielooperacyjnym procesie kucia obudowy przegubu homokinetycznego (dokładność pomiarowa skanera na poziomie  $\pm 0,025$  mm).

formed during and after their operation with the purpose to analyze the proceeding effects of tool wear. Such information is very crucial, especially in the case of predicting the life of the forging instrumentation. For the so-called “acceptance” of small tools are used CMMs, characterized by greater at least an order of accuracy (for example,  $\pm 0.002$  mm), compared to non-contact devices [10, 16, 21]. In the case of large-sized tools, for which the production technology provides more tolerance due to their mobility and high measurement rate, measuring arms are used, with integrated scanners, which assure the measurement accuracy of level  $\pm 0.03$  mm [20, 23]. As regards the determination of the surface quality, profilometers and coarseness meters are applied. Often, in the case when the quality of the tools does not have any high parameters (especially in the case of large-sized forging tools), mobile scanning arms are used, which, beside the geometry measurement, provide the possibility of a simplified measurement of the surface waviness parameters, especially in the case when it is important to obtain an image of the whole tool in a short time [7]. Fig. 8b shows the scan results of the punch used in the 4th operation of multi-operation forging process of constant velocity joint housing (measuring accuracy of scanner is  $\pm 0,025$  mm).



Rys. 4. a) Wkładka matrycowa przeznaczona do skanowania, b) wynik skanowania – izometria oraz c) widok z góry  
 Fig. 4. a) The die insert matrix designed to scan, b) the result of the scan - isometric and c) top view



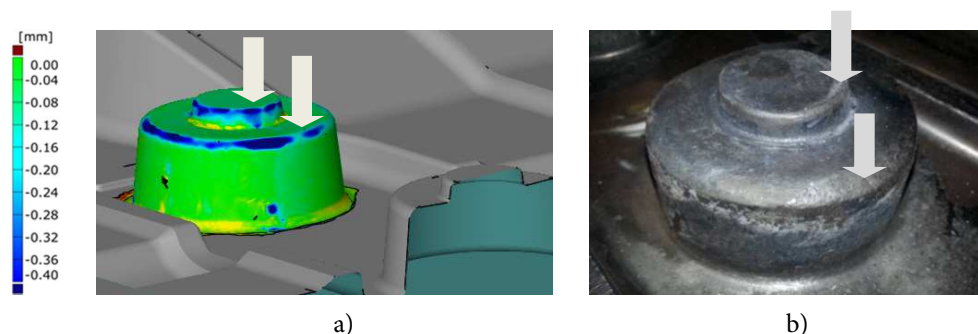
Rys. 5. Stempel porównany z modelem CAD po odkuciu 4120 sztuk  
 Fig. 5. The stamp compared to the CAD model after forged of 4120 pieces

Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazów – skanów (rys. 5) można zaobserwować, że miejsce największego zużycia występuje na zewnętrznych krawędziach stempla (miejsca zaznaczone elipsami w kolorze czerwonym), czyli tam, gdzie powstały wykruszenia i pęknięcia, widoczne podczas analizy makroskopowej. Innym zaobserwowanym zjawiskiem, widocznym na skanie, są prawdopodobnie ślady naklejenia obcego materiału (tlenków oraz pozostałości po środku smarującym), co może świadczyć o występowaniu mechanizmu adhezyjnego (obszar A, zaznaczony elipsą w kolorze niebieskim).

Autorzy prowadzili także badania z wykorzystaniem skanera do analizy zużywania się czopów dolnych matryc do kucia zgrzebeł na młotach (rys. 6).

*On the basis of image analysis – scans (Fig. 5), you can see that the place of greatest wear occurs on the outer edges of the punch (place marked in red ellipses), which is where the created chipping and cracks visible in the macroscopic analysis. Another observed phenomenon, visible on the scan are probably traces of sticking foreign material (oxide and remains in the middle of lubricant), which may indicate the presence of the adhesive mechanism (Area A, marked in blue ellipse).*

*The authors also conducted research using the scanner to analyze the wear of the pivots of the lower die for forging of scrapers on hammers (Fig. 6).*



Rys. 6. Wpływ stanu czopów na jakość odkuwek: a) zaznaczone miejsca przedwczesnego zużycia czopów dolnej matrycy wykonanych ze stali WNL po odkuciu 500–600 szt., b) zdjęcie „wytartego” czopa w matrycy

*Fig. 6. Impact state of pivots on the forgings quality: a) marked areas premature wear of the bottom die pivots made of steel WNL after forged 500–600 pieces, b) photo of “the worn” die pivot*

Jak wykazała analiza trwałości tych narzędzi, pomimo dobrych właściwości stali WNL (twardość 321–375 HB) zastosowanej na wykroje matryc, że przedwczesnemu zużyciu, w stosunku do całego narzędzia, ulegały w szczególności czopy matryc wskutek wycierania się ich powierzchni, co z kolei przekładało się na nie-

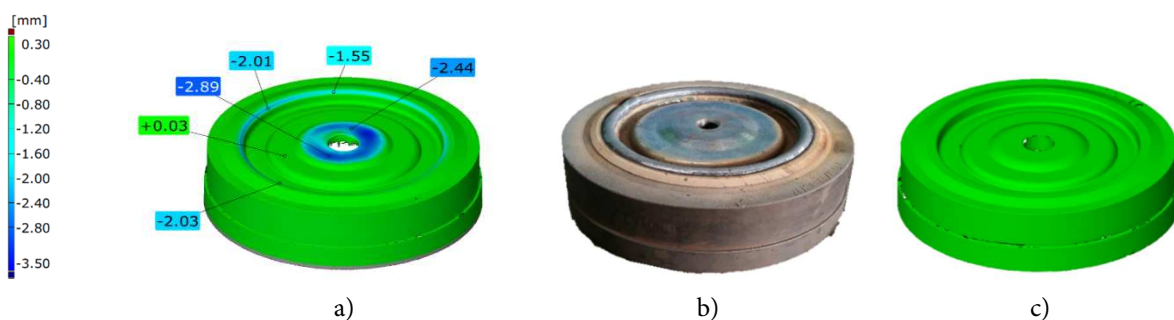
*The analysis shows that the durability of these tools, in spite of the good properties of steel WNL (hardness 321–375 HB) applied on the die hollows, that premature wear of the entire tool underwent in particular die pivots matrix as a result of wiping their surfaces, which in turn was translated into wrong shape and quality of*

właściwy kształt i jakość odkuwki zgrzebła (rys. 6). Czopy zużywały się w połowie całkowitej eksploatacji narzędzia, co powodowało konieczność przetrzajania, a narzędzie (czopy) było poddawane napawaniu regeneracyjnemu. Przewiedzone dalsze badania w kierunku podniesienia trwałości wykazały, że znacznie lepszym rozwiązaniem będzie wprowadzenie napawania prewencyjnego dla czopów, które wydłuży czas eksploatacji całego narzędzia, w miejsce dotychczas stosowanego napawania regeneracyjnego zużytych czopów.

Coraz częściej techniki pomiarów bezstykowych wykorzystuje się podczas regeneracji narzędzi przez napawanie, które polega na pokrywaniu ich zużytych powierzchni dodatkową warstwą materiału spoiwa (rys. 7). Napawanie wymaga odpowiedniego wcześniejszego przygotowania narzędzi, które polega na dodatkowym zebraniu materiału tam gdzie wystąpiło zużycie (ubytek wskutek pracy) tak, aby napawana powierzchnia była jednolita i gładka. Ponadto w przypadku pęknięć w narożach wykonywane są łagodne wybrania. W związku z tym bardzo przydatną jest informacja, czy w trakcie procesu napawania regeneracyjnego została nałożona odpowiednia ilość materiału napoiny w miejscach, gdzie został on celowo usunięty. Narzędzia po procesie regeneracji poddawane są mechanicznej obróbce wykańczającej, a następnie kontroli jakości w celu sprawdzenia, czy ich kształt po regeneracji jest zgodny z dokumentacją (rys. 7b).

*forgings scraper (Fig. 6). Pivots wear in the half of the total tool life, resulting in necessity of re-tooling, and the tool (pins) was subjected to regenerative pad welding. Conducted further investigations aimed at improving its durability showed that much better solution would be the introduction of preventive pad welding technology for pivots, which prolong the service life of the tool, in place of previously used regenerative pad welding of worn pivots.*

*More and more frequently scanning techniques are used during the regeneration of tools by pad welding, which involves of covering their worn surface of the additional layer by an adhesive material (Fig. 7). The pad welding process requires adequate earlier preparation of forging tools, which involves for extra material removed where occurred wear, so that the weld surface was uniform and smooth. Therefore, it is very useful information if during pad welding regenerative process was applied appropriate amount of weld material in areas where it was intentionally deleted. Tool after the regeneration process are subjected to mechanical finishing and quality control, to check whether their shape after regeneration is in accordance with the documentation (Fig. 7b).*

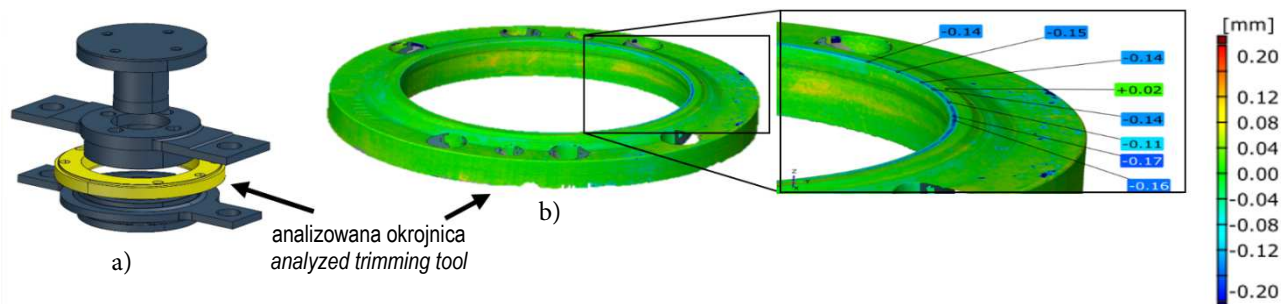


Rys. 7. a) Widok zużytego narzędzia do kucia tarczy, b) narzędzie po zdjęciu uszkodzonej warstwy wierzchniej oraz po napawaniu, c) narzędzie po napawaniu regeneracyjnym – nie zaobserwowano ubytków materiału napoiny

*Fig. 7. a) View of the worn tool for disc forging, b) tool after removing the damaged surface layer and pad welded, c) tool after regenerative pad welding – there were no gaps of material padding welds*

Autorzy przeanalizowali możliwość aplikacji pomiarów bezstykowych do analizy zużycia się narzędzi w procesie okrawania i dziurowania na zimno. Jednym z przeanalizowanych procesów był zestaw narzędzi wykorzystywanych do okrawania odkuwek koła czołowego (rys. 8).

*The authors analyzed the possibility of non-contact measurement applications (3D scanning) to analyze the wear of the tools used in the trimming and punching process, in cold. Fig. 8a shows a set of tools used to trim of wheel forging.*



Rys. 8. a) Zestaw narzędzi do okrawania koła czołowego b) skanowanie – analiza zużycia okrojnic

*Fig. 8. a) A set of tools for trimming of disc forging, b) the scanning results – wear analysis*

Przeprowadzana analiza pomiarowa z wykorzystaniem ramienia pomiarowego typu Romer Absolute ARM wyposażonego w liniowy skaner triangulacyjny typu RS3 pozwoliła na zaobserwowanie ubytku materiału okrojnic na poziomie około 0,2 mm w postaci rowka na całym obrzeżu narzędzia. Bardziej wnikliwa analiza wykazała, że największe zużycie obserwowane jest nie na samej krawędzi, lecz w odległości około 2 mm na zewnątrz. To nietypowe zużycie jest obecnie przedmiotem bardziej zaawansowanych analiz.

*Carried out an analysis measurement using the measuring arm type Romer Absolute equipped with linear triangulation scanner type RS3 allowed to observe the material loss of trimming tool approximately 0.2 mm (in the form of a groove around the periphery of the tool, in Figure 10b). A more careful analysis showed that the greatest wear is observed not on the edge, but at a distance of about 2 mm on the outside. This unusual wear is now the subject of more advanced analyzes.*

#### 4.1. Pomiary małych i precyzyjnych narzędzi kuźniczych

Współczesne skanery optyczne poprzez wykorzystanie światła niebieskiego do pomiarów pozwalają na przeprowadzanie analizy kształtu precyzyjnych (bardzo małych) stempli kuźniczych (rys. 9). Ocena stanu narzędzi stosowanych w procesach wytwarzania śrub jest bardzo trudna. Narzędzia te charakteryzują się bardzo skomplikowanym kształtami i stosunkowo małymi wymiarami, co w znacznym stopniu utrudnia ich pomiar tradycyjnymi metodami. Z tego powodu często również niemożliwa jest analiza takich narzędzi przy użyciu bardziej zaawansowanych technik pomiarowych, np. przy użyciu Współrzędnościowych

#### 4.1. Measurements of small and precise forging tools

*Modern optical scanners through the use of blue light to measurements allow for the examination of the shape of precision (very small) forging punches (Fig. 9). Evaluation of tools used in the manufacturing processes of the bolts is very difficult. These tools have a very complicated shapes and relatively small size, which significantly hinders their measurement by traditional methods. For this reason, it is often impossible to analyze such tools using more advanced measuring techniques, eg. using a Coordinate Measuring Machines (CMM), where the size and construction of the measuring heads sig-*

Maszyn Pomiarowych (WMP), gdzie wielkość i konstrukcja głowic pomiarowych w znaczny sposób ogranicza ich zastosowanie w przypadku małych przedmiotów. Szybki pomiar tego typu elementów możliwy jest jedynie przy użyciu różnego rodzaju skanerów 3D. Dodatkowo nowoczesne oprogramowanie stosowane do obsługi skanerów 3D pozwala na przeprowadzenie kompleksowej analizy geometryczno-wymiarowej [21].



Rys. 9. a) Stanowisko pomiarowe dla analizy „małych” elementów – narzędzi kuźniczych wraz ze skanerem Atos Core oraz przykładowe precyzyjne stempelki kuźnicze i śruby z odkutym kształtem łbów: b) krzyżakowym i c) typu TORX

Fig. 9. a) Measuring position of forging punches with the scanner Atos core, b) an example of precise forging punch and screw with forged shape: cruciform and c) TORX (comparison with paper clip)

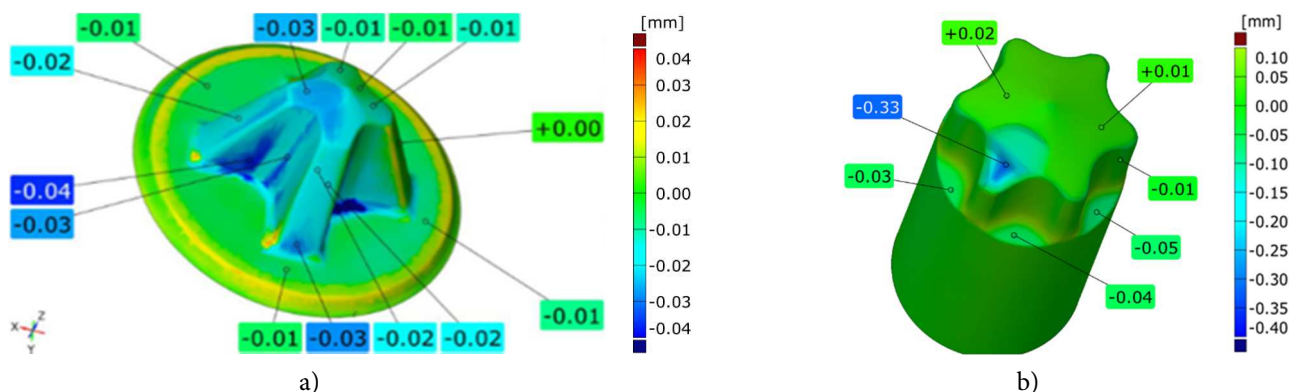
Analiza tego typu detali może być realizowana między innymi z wykorzystaniem skanera optycznego ATOS Core, wyposażonego w dwie 5 MPix kamery CCD (rozdzielczość 2448 x 2050 pikseli). Skaner ATOS Core dedykowany jest do digitalizacji 3D oraz inspekcji małych i średnich komponentów (rys. 9a). Jego kompaktowe wymiary tworzą głowicę pozwalającą na pomiary w ograniczonych przestrzeniach. ATOS Core powstał na bazie technologii ATOS o konfiguracji kamer stereo i wykorzystuje dodatkowo technologię niebieskiego światła pozwalającą wykonywać pomiary niezależnie od zewnętrznych warunków oświetleniowych. Na rys. 10 zaprezentowano przykładowe wyniki analizy pozwalające na zaobserwowanie zużycia narzędzia kuźniczego do wykonywania kilkuset tysięcy cykli kucia w głowie wkrętu, gdzie część robocza pokryta została specjalnymi warstwami. Analiza wyników pozwala zauważyć niesymetryczne zużycie powierzchni czołowych nagłownika w zakresie 0,02 do 0,03 mm, co jest związane z bardzo dużą drogą tarcia wynikającą z intensywnego płynięcia kształtowanego materiału ła po tych

significantly limits their application for small items. Fast measurement such type of elements is only possible by using various types of 3D scanners. In addition, modern software used to operate 3D scanners allow for carrying out a geometric-dimensional comprehensive analysis [21].

Analysis of this type of detail can be achieved among other things by using an optical scanner ATOS Core equipped with two 5 megapixel CCD camera (resolution 2448 x 2050 pixels). Scanner ATOS Core is dedicated to digitizing and 3D inspections of small and medium-sized components (Fig. 9). Its compact dimensions make head allowing for measurements in confined spaces. ATOS Core was created on the basis the technology of ATOS stereo camera configuration and uses an additional technology blue light allows to perform measurements regardless of external lighting conditions. In the Fig. 10 presented an example the results of the analysis allow for observation of forging tool wear to perform hundreds of thousands of the head forging cycles of the screw, where the working part is covered with special layers. Analysis results can be noted asymmetrical wear the faces of punch in the range of 0.02 to 0.03 mm, which is associated with a very high path friction resulting from the intense flow of deformed head material over these surfaces. In

powierzchniach. Dodatkowo w wewnętrznych częściach powierzchni bocznych widoczne jest lokalne wyrwanie materiału o maksymalnej głębokości 0,04 mm.

*addition, the inner lateral surface portions lateral is visible local breaking material with a maximum depth of 0.04 mm.*



Rys. 10. Wyniki analizy błęd kształtu wyznaczonej powierzchni zmierzone przy użyciu skanera dla precyzyjnego stempla kuźniczego: a) krzyżakowego b) typu TORX

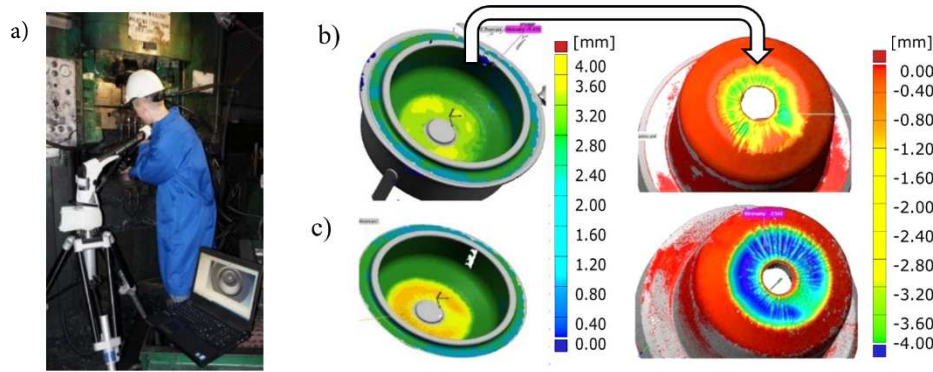
*Fig. 10. The analysis results of the of shape error designated area as measured using the scanner for a precision punch: a) a cross type, b) a TORX type*

#### 4.2. Zaawansowane metody skanowania

Zastosowanie mobilnego ramienia pomiarowego wyposażonego w skaner może być znacznie bardziej zaawansowane i niekoniecznie realizowane tylko w laboratorium, lecz również bezpośrednio podczas produkcji, np. w ciągłej ocenie trwałości narzędzia kuźniczego (rys. 11a). Autorzy przeprowadzili pomiary zużywania się wybranego narzędzia kuźniczego na podstawie pomiarów cyklicznie wybieranych z procesu kucia odkuwek bezpośrednio podczas produkcji, a dodatkowo weryfikowali te pomiary na podstawie szybkiej analizy stanu danego narzędzia w trakcie krótkich przerw technologicznych, bez konieczności ich demontażu. Na rys. 11 przedstawiono porównanie zmian geometrii odkuwek po wykonaniu określonej ilości sztuk oraz zużycia wypełniacza (odpowiadającego tej samej ilości wykonanych odkuwek, w połowie i pod koniec jego eksploatacji).

#### 4.2. Advanced scanning methods

*Applying a mobile measuring arm equipped with a scanner can be much more advanced and not necessarily performed at a laboratory, but, rather, directly, during the production process, e.g. as a continuous evaluation of the state of the forging tool, i.e. its life (Fig. 11a). The authors performed measurements of the wear of a selected forging tool, which consisted in cyclic measurements of selected forgings directly during production, and additionally, they verified the results by way of a short analysis of the state of the given tool during the short technological breaks, without the necessity of its disassembly. Fig. 11 presents a comparison of forgings geometry changes after a defined pieces amount and worn filler (corresponding to the same amount of forgings made in the middle and at the end of his life).*



Rys. 11. a) Pomiar dokonywany skanowaniem narzędzia ramieniem pomiarowym, bezpośrednio na produkcji oraz porównanie skanów wewnętrznej części odkuwek oraz odpowiadających im narzędzi, w postaci ilościowych zmian geometrii odkuwki i narzędzia, po: b) 6000, c) 12500 sztuk

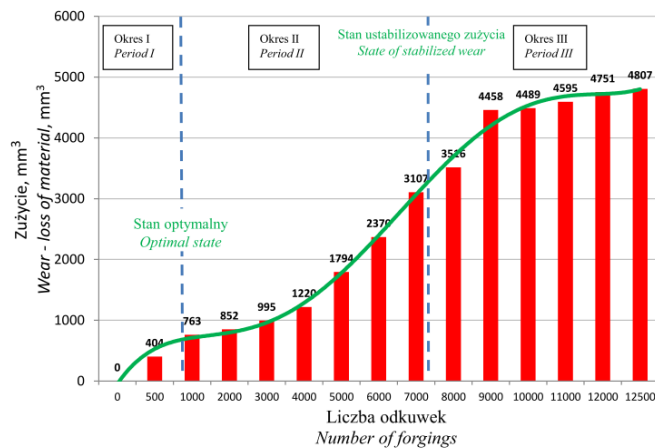
Fig. 11. a) The measurement of the tool with a measuring arm performed directly in the production process, comparison of the scans of the internal part of the forgings and the corresponding tools, in the form of qualitative geometry changes, against the CAD models of the nominal forging and tool, after: b) 6000, c) 12500 items

W celu weryfikacji zaproponowanej metody dokonano pomiary ramieniem wraz z integrowanym skanerem liniowym w trakcie krótkich przerw technologicznych w procesie kucia. Przedstawione (rys. 11) porównanie skanów odkuwek i odpowiadających im skanów narzędzi miało na celu zobrazowanie powiększenia się obszarów podlegających zużyciu w trakcie eksploatacji. Analizując przyrost objętości w przypadku odkuwek oraz jej ubytek w przypadku narzędzia, można przyjąć, że są one na zbliżonym poziomie. Dla zestawu odkuwka-wypełniacz po 6000 sztuk maksymalny przyrost materiału w kierunku normalnym dla odkuwki wynosi około +1,5 mm, a dla narzędzia ubytek jest na poziomie około 1,4 mm. Z kolei dla zestawu po 12500 sztuk maksymalne różnice w kierunku normalnym wynoszą odpowiednio: dla odkuwki +2,3 mm, dla wypełniacza - 2,4 mm. Nieznaczne różnice w otrzymanych wynikach są spowodowane dokładnością pomiarową skanera oraz różnicą temperatur skanowanych elementów (temperatura wypełniacza około 120–150°C, dla odkuwki temperatura otoczenia). W celu pełniejszej analizy zużywania się wypełniacza na podstawie pomiarów zmian geometrii odkuwek dokonano również skanowania serii odkuwek (co 1000 szt.), wykonanych przez analizowany wypełniacz w łącznej ilości ponad 12500 sztuk odkuwek (znacznie powyżej zakładanej średniej trwałości).

In order to verify the proposed method has been made measurements arm with integrated linear scanner during short technological breaks in the forging process. The comparison of forgings scans and corresponding tool scan (Fig. 11) was designed to illustrate the expansion of the areas subject to wear during exploitation. Analysing the increase in volume in the case of forgings and its loss in the event of a tool it can be assumed that they are similar. For a forging-filler set of 6000 items, the maximal material growth in the normal direction for the forging equals about +1.5 mm, and for the tool, the material loss is at the level of about 1.4 mm. For a set of 12500 items, in turn, the maximal difference in the normal direction equals: +2.3 mm for the forging and - 2.4 mm for the filler. The slight difference in the obtained results is caused by the measuring accuracy of the scanner as well as the temperature difference of the scanned elements (filler temperature - about 120–150°C, forging temperature - ambient). In order to a more complete analysis of the wear of the filler based on measurements of forgings geometry also made a series of scanning forgings (at 1000 pieces), was done by the analysed filler in a total amount of more than 12,500 pieces of forgings (well above the assumed average lifetime).

Rys. 12 przedstawia wykres ubytku materiału (zmian objętości) z wypełniacza na podstawie zmian objętości (adekwatnie przyrostu) dla kolejnych odkuwek. Na podstawie przedstawionego wykresu (przypominającego krzywą zużycia Lorentza) można zaobserwować zależności i wyróżnić trzy etapy zużycia.

Fig. 12 shows a diagram with a comparison of the material loss (volume changes) of the filler on the basis of the volume changes (adequate growth) for the consecutive forgings from a given series. On the basis of the presented diagram (Fig. 12) resembling the classic wear curve (Lorenz curve), we can observe interesting relations and distinguish a few ranges (periods) of wear.

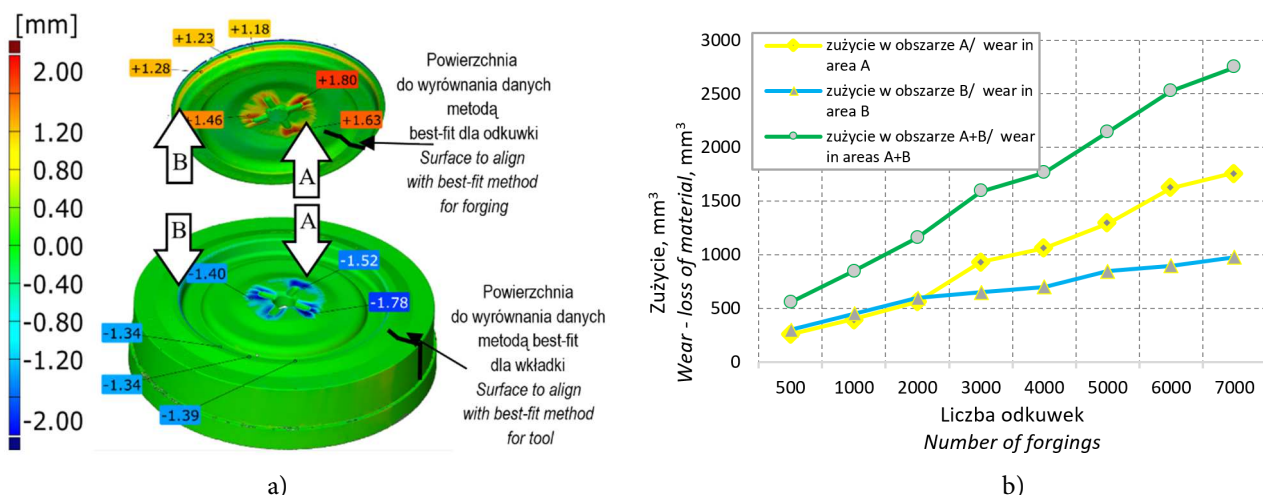


Rys. 12. Ubytek materiału (zmian objętości) z wypełniacza na podstawie zmian objętości na powierzchni kolejnych odkuwek

Fig. 12. Comparison of the material loss (volume changes) in the filler based on the volume changes on the surface of consecutive forgings

Kolejną aplikacją pomiarów bezstykowych może być kontrola zużycia narzędzi kuźniczych w wybranych obszarach. W pewnych przypadkach analiza całkowitego ubytku materiału danego narzędzia nie pozwala na uzyskanie pełnego obrazu (rys. 13a).

Next application of non-contact measurement can be control of forging tools wear in selected areas. In some cases, the total material loss of forging tool does not give a complete picture (Fig. 13).



Rys. 13. a) Metoda skanowania odwrotnego 3D – podział na wybrane obszary, b) zużycia na podstawie cyklicznie pobieranych odkuwek

Fig. 13. a) The idea of scanning 3D-reverse scanning method – the division on selected areas, b) the results of the tool wear analysis based on cyclically forgings collected



W tym szczególnym przypadku analizy porównawczej kilku takich narzędzi mogą wystąpić błędy, wynikające np. z pęknięcia narzędzia lub przedwczesnego zużycia jednego z obszarów, które spowoduje zaburzenia w zliczaniu objętości ubytku materiału. Na rys. 13a przedstawiono zdjęcie wkładki matrycowej z podziałem na dwa wybrane charakterystyczne obszary (A i B), dla których na podstawie wstępnej analizy stwierdzono występowanie różnych mechanizmów niszczących. Dodatkowo przeprowadzona analiza skanowania odwrotnego 3D wykazała, że na jej podstawie można zauważyć znacznie szybsze zużywanie się narzędzia kuźniczego w obszarze A. W obszarze tym wykonany jest w nowym narzędziu krzyż, który pełni rolę znacznika. Jak można zaobserwować na rys. 13b, zużycie w obszarze A i B jest niemalże jednakowe do 2500 odkuwek. Powyżej tej liczby zużycie bardzo intensywnie zwiększa się na czole wkładki (obszar A) w stosunku do zużycia na mostku (obszar B). Dlatego prowadzona analiza całkowitego zużycia wkładki może być obarczona błędem wynikającym z różnej intensywności zużywania się narzędzia w różnych jego obszarach.

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano metody kontroli jakości odkuwek oraz oprzyrządowania kuźniczego przy wykorzystaniu bezkontaktowych technik skanowania 3D. Kontrola jakości tych elementów jest w dużym stopniu doprecyzowana przez specyfikację geometryczną zapisaną w postaci rysunków technicznych, stanowiącą dokumentację, która jest podstawą opracowania poprawnego procesu wytwarzania odkuwek w technologii kucia matrycowego. Dokumentacja danego wyrobu nie tylko w pełni określa zasady doboru sprzętu pomiarowego do przeprowadzenia kontroli jakości odkuwek, ale także zasady doboru przyrządów i innych maszyn pomiarowych niezbędnych do kontroli oprzyrządowania kuźniczego wykorzystywanego w procesie kucia.

Obecnie w procesie produkcji odkuwek w kuźniach matrycowych stosuje się różne przyrządy i metody pomiarowe: począwszy od

*In the case of a comparative analysis of several such tools errors may occur, resulting for example from tool breakage or premature wear of one of the areas which causes disturbances in counting the volume of material loss. In this particular case, a comparative analysis of several such tools may occur errors, resulting e.g. from tool breakage or premature wear of one of the areas that cause disturbances in the counting of volume of material loss. Fig. 13 shows the image with die inserts divided into two selected specific areas (A and B), for which on the basis of a preliminary analysis showed the presence of various destructive mechanisms. In addition, the analysis by 3D reverse scan showed that on the basis thereof it can be seen much more rapid wear of the forging tools in the area A (in this area is made in a new tool cross, which acts as marker. As you can to seen in Fig. 12b, the wear of A and B is nearly equal to 2500 forgings. Above this number wear increases intensively on the inset face (area A), relating to wear on the bridge (area B). Therefore, conducted an analysis of the total consumption inserts may be subject to errors due to the different intensity of wear of the tool in different areas.*

## 5. SUMMARY

*The paper presents a method of quality control of forgings and forging instruments using non-contact 3D scanning techniques. Quality control of these elements is greatly clarified by specifying geometry saved in the form of technical drawings, which constitutes the documentation being the basis for the elaboration of the appropriate process of forging production in the die forging technology. The geometrical specification of the given products specifies not only the rules of selecting the measuring equipment for the forging quality control but also those of selecting the tool necessary for the control of the dies used in the forging process.*

*Currently in the forging process of forging in die forges (plants) use different instruments and measurement methods. Starting from the methods utilizing universal classic measuring equipment that provides less accurate measurement for the inspection of key geometric features*

metod wykorzystujących uniwersalny, klasyczny sprzęt pomiarowy zapewniający mniejszą dokładność pomiarową dla przeprowadzenia kontroli kluczowych cech geometrycznych na gorącej odkuwce, poprzez bardziej skomplikowane techniki pomiarowe wykorzystujące uniwersalny sprzęt pomiarowy, który w połączeniu ze specjalnie zaprojektowanymi sprawdzianami pozwala na przeprowadzenie pełnej kontroli jakości na zimnych odkuwkach o nieskomplikowanej geometrii, na metodach pomiarowych opartych na technikach WTP oraz technikach skanowania dla odkuwek i narzędzi kuźniczych o skomplikowanej specyfikacji geometrycznej kończą.

Zauważalne są także nowe trendy, które związane są głównie z możliwością stosowania przenośnych systemów pomiarowych takich, jak: skanery optyczne lub skanery liniowe montowane na przenośnych ramionach pomiarowych. Technologia ta pozwala na skuteczne prowadzenie kontroli jakości odkuwek o średniej i dużej wielkości, czy też narzędzi kuźniczych o bardzo dużych gabarytach, których pomiar odbywa się bezpośrednio na produkcji. Ponadto bezstykowe techniki pomiarowe znajdują powszechne zastosowanie, m.in.: w analizie kształtu precyzyjnych (bardzo małych o wielkości spinacza biurowego) stempli kuźniczych wykorzystywanych w procesach wielkoseryjnego wytwarzania niewielkich detali takich, jak np. śruby, wkręty, itp. Dodatkowo metoda skanowania odwrotnego 3D wykorzystywana jest obecnie z powodzeniem do bieżącej analizy stanu zużycia narzędzi kuźniczych (bez konieczności ich demontażu z agregatu kuźniczego), na podstawie zmian powierzchni cyklicznie pobieranych w trakcie procesu kucia odkuwek.

Należy również podkreślić, że z roku na rok, już nie tylko w nowoczesnych kuźniach, obserwuje się podnoszenie poziomu świadomości związanej z prowadzeniem pomiarów oraz kontrolą jakości wyrobu i narzędzi kuźniczych, co powoduje, że kładziony jest coraz większy nacisk na stosowanie lepszych, dokładniejszych przyrządów pomiarowych oraz wykorzystywanie nowych metod pomiaru, a to niewątpliwie przyczyni się do podniesienia jakości wyrobu oraz obniżenia kosztów jego wytwarzania.

*on the hot forging. Through more complicated measuring techniques using the universal measuring equipment combined with specially designed gauges, which allows for a full quality control on cold forgings of a non-complicated geometry, to measuring methods based on CMT techniques for forgings of a complicated geometrical specification.*

*One can also notice new trends, which are related to the possibility of using portable measuring systems, such as optical scanners and linear scanners mounted on portable measuring arms. This technology allows for a quality control of forgings of medium and large sizes, as well as forging tools of very large sizes), whose measurement takes place directly during production, or those of a very small geometry (the size of a paper clip), as well as for performing measuring steps which, so far, have been neglected or performed sporadically, often with the use of the universal measuring instruments. At present, these techniques are commonly applied for such purposes as analysis of the shape of precise (very small) forging stamps used in the big lot production of small details, such as screws. The performed research with the use of a measuring arm together with an integrated laser scanner for the analysis of the filler wear (3D reverse scanning method), on the basis of the measurements of the shape changes of consecutive forgings (directly on the production line) proved the validity of applying new measuring technologies in order to directly analyse the quality and change of the tool shape (without disassembling the instrumentation from the forging unit). Owing to this, such an analysis was possible directly during the production process.*

*It should also be noted that, year after year, the level of awareness connected with the measurements and quality of the product and the forging tools is constantly rising – not only at modern forging plants – which leads to an increasing focus on using better and more precise measuring instruments as well as applying new measuring methods. Such an approach stimulates the development of workshop techniques and metrology, whose use will be connected with new fields from outside the forging industry. And it will undoubtedly contribute to improving product quality and reduce the cost of its production.*

## PODZIĘKOWANIA

Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR); projekt POIG.01.04.00-02-056/13.

## LITERATURA

- [1] Gąska A., M. Olszewska. 2011. „Ocena odwzorowania kształtu za pomocą współrzędnościowego ramienia pomiarowego wyposażonego w głowicę optyczną”. *Postępy Nauki i Techniki* 7: 37–43.
- [2] Gronostajski Z., M. Hawryluk, A. Niechajowicz, M. Zwierzchowski, M. Kaszuba, T. Będza. 2011. „Application of the scanning laser system for the wear estimation of forging tools”. *Computer Methods in Materials Science* 11 (2): 425–431.
- [3] Gronostajski Z., M. Hawryluk. 2008. „The main aspects of precision forging”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 8 (2): 39–55.
- [4] Gronostajski Z., M. Kaszuba, M. Hawryluk, M. Marciniak, M. Zwierzchowski, A. Mazurkiewicz, J. Smolik. 2015. „Improving durability of hot forging tools by applying hybrid layers”. *Metallurgy* 54 (4): 687–690.
- [5] Gronostajski Z., M. Kaszuba, M. Hawryluk, M. Zwierzchowski. 2014. „A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14 (4): 528–539.
- [6] Gronostajski Z., M. Hawryluk, J. Jakubik, M. Kaszuba, G. Misun, P. Sadowski. 2015. „Solution examples of selected issues related to die forging”. *Archives of Metallurgy and Materials* 60 (4): 2767–2775.
- [7] Gronostajski Z., M. Hawryluk, M. Kaszuba, J. Ziemba. 2016. „Application of a measuring arm with an integrated laser scanner in the analysis of the shape changes of forging instrumentation during production”. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 18 (2): 194–200, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.2.6>.
- [8] Hawryluk M., M.D. Kaszuba, P. Widomski, J. Ziemba. 2016. „Możliwości zastosowania technik pomiarowych w procesach kucia matrycowego na gorąco.” *Przegląd Mechaniczny* 75 (9): 16–22.
- [9] ISO GPS 10360-4:2000 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and Reverification Tests for Coordinate Measuring Machines (CMM) – Part 4: CMMs used in Scanning Measuring Mode. Norma.
- [10] Jakubiec W., J. Malinowski. 2004. *Metrologia wielkości geometrycznych*. Warszawa: WNT.
- [11] Kontrola jakości odkuwek i matryc – archiwizacja i regeneracja matryc. Mat. informacyjne: ITA-polska; <http://www.ita-polska.com.pl>.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was found by National Centre for Research and Development, Poland (NCBiR); grant no. POIG.01.04.00-02-056/13.

## REFERENCES

- [1] Gąska A., M. Olszewska. 2011. „Ocena odwzorowania kształtu za pomocą współrzędnościowego ramienia pomiarowego wyposażonego w głowicę optyczną”. *Postępy Nauki i Techniki* 7: 37–43.
- [2] Gronostajski Z., M. Hawryluk, A. Niechajowicz, M. Zwierzchowski, M. Kaszuba, T. Będza. 2011. „Application of the scanning laser system for the wear estimation of forging tools”. *Computer Methods in Materials Science* 11 (2): 425–431.
- [3] Gronostajski Z., M. Hawryluk. 2008. „The main aspects of precision forging”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 8 (2): 39–55.
- [4] Gronostajski Z., M. Kaszuba, M. Hawryluk, M. Marciniak, M. Zwierzchowski, A. Mazurkiewicz, J. Smolik. 2015. „Improving durability of hot forging tools by applying hybrid layers”. *Metallurgy* 54 (4): 687–690.
- [5] Gronostajski Z., M. Kaszuba, M. Hawryluk, M. Zwierzchowski. 2014. „A review of the degradation mechanisms of the hot forging tools”. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 14 (4): 528–539.
- [6] Gronostajski Z., M. Hawryluk, J. Jakubik, M. Kaszuba, G. Misun, P. Sadowski. 2015. „Solution examples of selected issues related to die forging”. *Archives of Metallurgy and Materials* 60 (4): 2767–2775.
- [7] Gronostajski Z., M. Hawryluk, M. Kaszuba, J. Ziemba. 2016. „Application of a measuring arm with an integrated laser scanner in the analysis of the shape changes of forging instrumentation during production”. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 18 (2): 194–200, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2016.2.6>.
- [8] Hawryluk M., M.D. Kaszuba, P. Widomski, J. Ziemba. 2016. „Możliwości zastosowania technik pomiarowych w procesach kucia matrycowego na gorąco.” *Przegląd Mechaniczny* 75 (9): 16–22.
- [9] ISO GPS 10360-4:2000 Geometrical Product Specifications (GPS) – Acceptance and Reverification Tests for Coordinate Measuring Machines (CMM) – Part 4: CMMs used in Scanning Measuring Mode. Norm.
- [10] Jakubiec W., J. Malinowski. 2004. *Metrologia wielkości geometrycznych*. Warszawa: WNT.
- [11] Kontrola jakości odkuwek i matryc – archiwizacja i regeneracja matryc. Information materials: ITA-polska; <http://www.ita-polska.com.pl>.

- [12] Kuś A. 2009. „Implementation of 3d optical scanning technology for automotive applications”. *Sensors* 9: 1967–1979.
- [13] Li F.X, A. Longstaff, S. Fletcher, S. Myers. 2012. „Integrated tactile and optical measuring systems in three dimensional metrology”. W mat. konf. Computing and Engineering Researchers’ Conference, University of Huddersfield, Marzec 2012, 1–6.
- [14] Lulkiewicz J., S. Szkudelski, B. Pachutko. 2015. „Kompleksowe badania matryc kuźniczych”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 3 (90): 16–19.
- [15] Macháček P, J. Tomíček. 2010. „Application of laser scanning in reverse engineering and prototype manufacturing”. *WTP* 1 (21): 35–44.
- [16] Magdziak M. 2012. *Metoda pomiaru powierzchni swobodnych na obrabiarce sterowanej numerycznie*. Praca doktorska, Rzeszów: Politechnika Rzeszowska.
- [17] Marton E., F. Pizzolon. 2010. „Dimensional control during forging. Innovative 3d laser measuring systems”. *Forge Applications* 1 (23): 35–44.
- [18] Measurement of a forging die for tooling corrections. Mat. informacyjne: AICON\_3D\_SYSTEM; [http://www.aicon3d.com/fileadmin/user\\_upload/produkte/en/breuckmann\\_Scanner/01\\_PDF\\_IuT/Forging\\_die\\_measurement\\_Web.pdf](http://www.aicon3d.com/fileadmin/user_upload/produkte/en/breuckmann_Scanner/01_PDF_IuT/Forging_die_measurement_Web.pdf).
- [19] Pachutko B., S. Ziólkiewicz. 2012. „Badania procesów zużycia matryc do kucia zaczepu budowlanego na podstawie badań metalograficznych”. *Obróbka Plastyczna Metali* 23 (4): 277–293.
- [20] Ratajczyk E. 2008. „Współrzędnościowe ramiona pomiarowe i ich testy dokładności”. *Przegląd Elektrotechniczny* 5: 181–185.
- [21] Ratajczyk E., A. Woźniak. 2016. *Współrzędnościowe systemy pomiarowe*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [22] Salah Hame R. A. 2008. „Influence of fitting algorithm and scanning speed on roundness error for 50 mm standard ring measurement using CMM”. *Metrology and Measurement Systems* 15 (1): 33–53.
- [23] Ulatowski Krzysztof. 2013. *Ramiona pomiarowe – rynek i zastosowania*. <http://www.magazynprzemyslowy.pl/zarzadzanie-i-rynek/Ramiona-pomiarowe-rynek-i-zastosowania,3580,1>.
- [24] Weckenmann A., J. Weickmann. 2006. „Optical inspection of formed sheet metal parts applying fringe projection systems and virtual fixation”. *Metrology and Measurement Systems* 13 (4): 321–334.
- [12] Kuś A. 2009. “Implementation of 3d optical scanning technology for automotive applications”. *Sensors* 9: 1967–1979.
- [13] Li F.X, A. Longstaff, S. Fletcher, S. Myers. 2012. “Integrated tactile and optical measuring systems in three dimensional metrology”. In conf. proceed. of Computing and Engineering Researchers’ Conference, University of Huddersfield, Marzec 2012, 1–6.
- [14] Lulkiewicz J., S. Szkudelski, B. Pachutko. 2015. “Kompleksowe badania matryc kuźniczych”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 3 (90): 16–19.
- [15] Macháček P, J. Tomíček. 2010. “Application of laser scanning in reverse engineering and prototype manufacturing”. *WTP* 1 (21): 35–44.
- [16] Magdziak M. 2012. *Metoda pomiaru powierzchni swobodnych na obrabiarce sterowanej numerycznie*. PhD thesis, Rzeszów: Politechnika Rzeszowska.
- [17] Marton E., F. Pizzolon. 2010. “Dimensional control during forging. Innovative 3d laser measuring systems”. *Forge Applications* 1 (23): 35–44.
- [18] Measurement of a forging die for tooling corrections. Information materials: AICON\_3D\_SYSTEM; [http://www.aicon3d.com/fileadmin/user\\_upload/produkte/en/breuckmann\\_Scanner/01\\_PDF\\_IuT/Forging\\_die\\_measurement\\_Web.pdf](http://www.aicon3d.com/fileadmin/user_upload/produkte/en/breuckmann_Scanner/01_PDF_IuT/Forging_die_measurement_Web.pdf).
- [19] Pachutko B., S. Ziólkiewicz. 2012. “Investigation of the wear processes of dies for forging building anchors basing on metallographic examinations”. *Obróbka Plastyczna Metali* 23 (4): 277–293.
- [20] Ratajczyk E. 2008. “Współrzędnościowe ramiona pomiarowe i ich testy dokładności”. *Przegląd Elektrotechniczny* 5: 181–185.
- [21] Ratajczyk E., A. Woźniak. 2016. *Współrzędnościowe systemy pomiarowe*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [22] Salah Hame R. A. 2008. “Influence of fitting algorithm and scanning speed on roundness error for 50 mm standard ring measurement using CMM”. *Metrology and Measurement Systems* 15 (1): 33–53.
- [23] Ulatowski Krzysztof. 2013. *Ramiona pomiarowe – rynek i zastosowania*. <http://www.magazynprzemyslowy.pl/zarzadzanie-i-rynek/Ramiona-pomiarowe-rynek-i-zastosowania,3580,1>.
- [24] Weckenmann A., J. Weickmann. 2006. “Optical inspection of formed sheet metal parts applying fringe projection systems and virtual fixation”. *Metrology and Measurement Systems* 13 (4): 321–334.