



Badania nad kształtowaniem wykroju matrycy do kucia zaczepu budowlanego metodą wgłębiania na gorąco

Studies on shaping a die impression for forging of a construction anchor using the hot hobbing method

(1) Beata Pachutko*, (2) Szymon Szkudelski, (3) Bogusław Czartoryski, (4) Michał Chruściński,
(5) Waldemar Gronowski

Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 5.04.2017

Recenzja: 8.05.2017

Akceptacja: 30.06.2017

Wkład autorów

- (1) Koncepcja i założenia pracy, dobór metodyki badań i realizacja badań metalograficznych, analiza i interpretacja wyników badań
- (2) Konstrukcja przyrządu do prób wgłębiania i przeprowadzenie prób wgłębiania na gorąco
- (3) Konstrukcja przyrządu do prób wgłębiania i przeprowadzenie prób wgłębiania na gorąco
- (4) Prowadzenie prób wgłębiania na gorąco
- (5) Konstrukcja przyrządu do prób wgłębiania i przeprowadzenie prób wgłębiania na gorąco

Streszczenie

W publikacji opisano wyniki prac konstrukcyjnych i technologicznych dotyczących modyfikacji sposobu wytwarzania wykroju matryc do kucia kołnierza zaczepu budowlanego Putanker 2,5 T poprzez wgłębianie na gorąco. Hartowanie matrycy następowało z temperatury wgłębiania, aby wyeliminować dodatkowy proces nagrzewania do temperatury hartowania matryc. W celu oceny, czy nie wystąpiły pęknięcia po próbie wgłębiania oraz skutków procesu hartowania i odpuszczania, wykonano badania metalograficzne (obserwacje struktury za pomocą mikroskopu świetlnego – LM i skaningowego mikroskopu elektronowego – SEM oraz pomiary twardości metodą Vickersa HV 1). Materiałem matryc była stal narzędziowa do pracy na gorąco Orvar Supreme (odpowiednik stali WCLV). Zaprojektowano przyrząd do prowadzenia prób wgłębiania na próbkach krótkich o wymiarach $\phi 64 \times 35$ mm z otworem $\phi 14$ mm, które służyły do wstępnych prób wgłębiania. Celem tych prób była weryfikacja konstrukcji przyrządu ze względu na zniekształcenia próbek na średnicy zewnętrznej po próbie wgłębiania oraz ocena skutków procesu hartowania i odpuszczania prowadzonych bezpośrednio po wgłębianiu na gorąco. Docelowe próby wgłębiania prowadzono na próbkach długich o wymiarach $\phi 64 \times 109$ mm z otworem $\phi 14$ mm mocowanych w przyrządzie w tulei ustalającej. Próbkę tę po próbie wgłębiania, usunięciu warstwy odwęglonego materiału, korekcie płaskości powierzchni czołowej oraz po przecięciu na pół stanowiły gotowe matryce do kucia zaczepów budowlanych Putanker 2,5 T. W wyniku hartowania próbek długich z temperatury wgłębiania wynoszącej 1050°C w oleju, a następnie ich odpuszczaniu przy temperaturze 570°C w ciągu 2 godzin uzyskano materiał o średniej twardości wynoszącej 607 HV 1 (ok. 56 HRC), która jest wymagana dla matryc do kucia zaczepów Putanker 2,5 T.

Słowa kluczowe: wgłębianie na gorąco, matryca, badania struktury, pomiary twardości

Article info

Received: 5.04.2017

Reviewed: 8.05.2017

Accepted: 30.06.2017

Authors' contribution

- (1) Concept and assumptions of work, selection of studies methodology, metallographic studies, results analysis and interpretation of results

Abstract

This article describes the results of design and technological work concerning modification of the method of manufacturing die impressions for forging the flange of a Putanker 2.5 T construction anchor by hot hobbing. Die quenching took place from hobbing temperature in order to eliminate the additional process of heating to die quenching temperature. In order to assess whether cracks occurred after the hobbing trial and the effects of the quenching and tempering process, metallographic studies (observations of structure using a light microscope – LM and scanning electron microscope – SEM as well as Vickers HV 1 hardness measurements). The die material was Orvar Supreme hot-work tool steel (the counterpart of WCLV steel). An instrument was designed for conducting hobbing tests on short samples with dimensions $\phi 64 \times 35$ mm with a $\phi 14$ mm hole, which

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: pachutko@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: pachutko@inop.poznan.pl

- (2) Construction of instrument for hot hobbing tests, hot hobbing testing
- (3) Construction of instrument for hot hobbing tests, hot hobbing testing
- (4) Hot hobbing testing
- (5) Construction of instrument for hot hobbing tests, hot hobbing testing

served for preliminary hobbing tests. The goal of these tests was to verify the instrument's design in terms of sample deformation on the exterior diameter after the hobbing test as well as to assess the effects of the quenching and tempering process performed immediately after hot hobbing. The target hobbing tests were conducted on long samples with dimensions $\phi 64 \times 109$ mm and $\phi 14$ mm hole fastened in the instrument's fastening sleeve. After the hobbing tests and removal of the layer of decarbonized material, correction of face surface flatness and being cut in half, these samples constituted ready dies for forging of Putanker 2.5 T construction anchors. As a result of quenching of long samples from hobbing temperature equal to 1050°C in oil, followed by their tempering at 570°C for 2h, material with an average hardness of 607 HV 1 (approx. 56 HRC) was obtained, and this hardness is required for dies used to forge Putanker 2.5 T anchors.

Keywords: hot hobbing, die, structural studies, hardness measurements

1. WSTĘP

W Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Obróbki Plastycznej są od kilkunastu lat wytwarzane matryce do produkcji zaczepów budowlanych o nazwach handlowych np.: Putanker 1,3 T, Putanker 2,5 T, Slotanker 5 T i JDA 16 5 T dla różnych odbiorców zagranicznych. Dlatego też w Instytucie prowadzono badania ukierunkowane na ocenę procesów zużycia oraz zwiększenie trwałości takich narzędzi. Wyniki tych badań opisano szczegółowo m.in. w publikacjach [1–3]. W ramach działalności statutowej prowadzonej w Instytucie w 2016 r. wykonano matryce do kucia kołnierza zaczepu Putanker 2,5 T metodą wgłębiania na gorąco.

Proces wgłębiania należy do podstawowych procesów kucia swobodnego i półswobodnego [4, 5]. Operację wgłębiania zaleca się przeprowadzać w pierścieniu ograniczającym w celu uniknięcia konieczności likwidacji wybrzuszeń i zniekształceń zarysu zewnętrznego. Zaletą wgłębiania na półgorąco jest zmniejszenie oporów płynięcia i skłonności materiału do pęknięcia [6]. Pozwala to na uzyskanie gniazd o głębokości nawet dwukrotnie większej niż przy wgłębianiu na zimno. Możliwa do uzyskania głębokość gniazda jest zależna od twardości materiału. Im twardsza stal, tym proces wgłębiania przeprowadza się z mniejszą prędkością; matryce do kucia na gorąco są wgłębiane z prędkością ok. $0,03$ mm/s. Wgłębianie stosuje się przy wykonywaniu matryc z niektórych gatunków stali narzędziowych. Ze względu na to, że stale te mają

1. INTRODUCTION

At the Experimental Department of the Metal Forming Institute, for over a decade now, dies have been manufactured for the production of construction anchors with trade names like: Putanker 1.3 T, Putanker 2.5 T, Slotanker 5 T and JDA 16 5 T for various foreign recipients. This is also why the Institute conducts studies oriented towards assessment of wear processes and increasing the lifetime of such tools. The results of these studies have been described in detail, including in publications [1–3]. Within the framework of statutory activity conducted at the Institute in 2016, dies for forging of the flange of a Putanker 2.5 T anchor were made using the hot hobbing method.

The hobbing process is among the basic processes of open die forging and semi-open die forging [4, 5]. It is recommended to perform the hobbing operation in a limiting ring in order to avoid the necessity of eliminating bulges and deformations of the exterior outline. The advantage of semi-hot hobbing is that it reduces flow resistance and the material's tendency to crack [6]. This makes it possible to achieve socket of depth up to two times greater than during cold hobbing. The socket depth that can be achieved depends on the material's hardness. The harder the steel, the lower the speed at which the hobbing process is performed; dies for hot forging are hobbled at a speed of approx. 0.03 mm/s. Hobbing is applied when making dies from certain tool steel grades. Due to the fact that these steels have a relatively low capacity for plastic deforma-

stosunkowo niewielką zdolność do odkształceń plastycznych, możliwości kształtowania w nich zagłębień są odpowiednio mniejsze niż w stalach niskostopowych. Dlatego wgłębianie stali narzędziowych prowadzi się na półgorąco, co jednocześnie wpływa na zmniejszenie wartości sił wgłębiania. W pracy [7] podano, że wskutek wgłębiania można uzyskać korzystną strukturę przy powierzchni otworu, zbliżoną do gradientowej.

Celem badań było przeprowadzenie prób wgłębiania na gorąco przy wytwarzaniu matryc do produkcji odkuwek stalowych. Hartowanie matryc przeprowadzono bezpośrednio po wgłębianiu. Na matryce wybrano stal szwedzką Orvar Supreme (odpowiednik stali WCLV). Ocenę skutków procesu wgłębiania oraz obróbki cieplnej próbek i matryc wykonano na podstawie badań metalograficznych.

2. BADANY MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiałem badawczym na matryce była stal narzędziowa do pracy na gorąco Orvar Supreme, którego skład chemiczny podano w tab. 1.

Tab. 1. Skład chemiczny stali Orvar Supreme

Tab. 1. Chemical composition of Orvar Supreme steel

Orvar Supreme									
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu
0,428	0,421	1,06	0,0119	0,0035	5,33	0,119	1,48	1,0	0,0717

Z tej stali wykonuje się w Instytucie Obróbki Plastycznej matryce dzielone do kucia w trzech operacjach zaczepów budowlanych Putanker 2,5 T: kucia kołnierza, łba walcowego i łba stożkowego. Rysunek wykonawczy matrycy do kucia kołnierza pokazano na rys. 1. Zaczep budowlany przedstawiono na rys. 2.

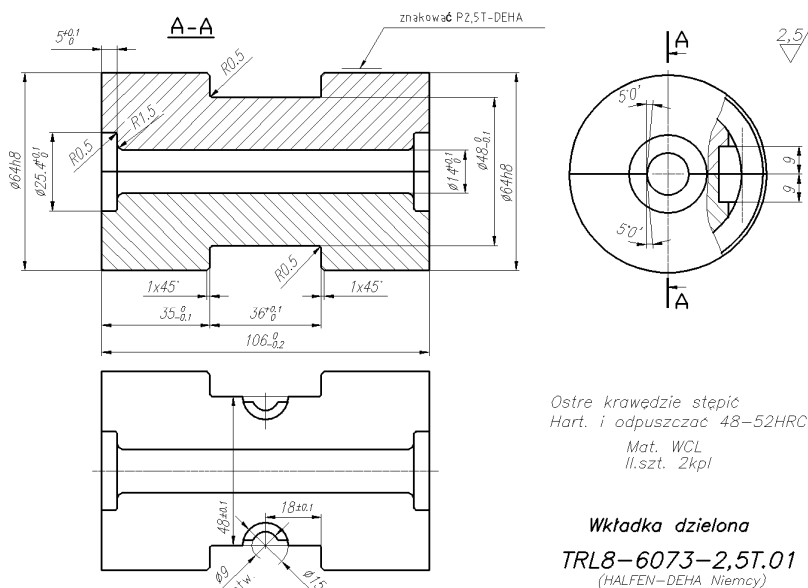
tion, the possibilities of forming indentations in them are appropriately lower than in low-alloy steels. This is why hobbing of tool steels is performed semi-hot, which simultaneously reduces the value of hobbing forces. Article [7] states that a beneficial structure near the hole's surface, similar to a gradient structure, can be achieved as a result of hobbing.

The goal of research was to conduct hot hobbing tests during the manufacturing of dies for production of steel forgings. Dies were quenched immediately after hobbing. Swedish Orvar Supreme steel (counterpart of WCLV steel) was selected for the dies. Assessment of the effects of the hobbing process and heat treatment of samples and dies was conducted on the basis of metallographic studies.

2. STUDIED MATERIAL AND METHODOLOGY OF STUDIES

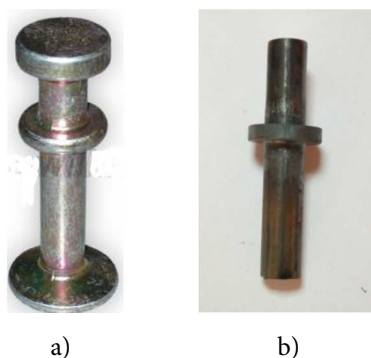
The studied die material was Orvar Supreme hot-work tool steel, the chemical composition of which is given in Tab. 1.

This steel is used to make split dies for forging of Putanker 2.5 T construction anchors in three operations at the Metal Forming Institute: forging of the flange, cheese head and steeple head. The production drawing of the flange forging die is shown in Fig. 1. The construction anchor is presented in Fig. 2.



Rys. 1. Matryca dzielona do kucia kołnierza zaczepu budowlanego Putanker 2,5 T

Fig. 1. Split die for forging the flange of a Putanker 2.5 T construction anchor

Rys. 2. Widok zaczepu budowlanego Putanker 2,5 T: a) gotowy wyrób, b) półwyrób po kuciu kołnierza
Fig. 2. View of the Putanker 2.5 T: construction anchor a) ready product, b) semi-product after flange forging

Matryce wytwarzane są w Instytucie obróbką skrawaniem, a następnie ulepszone cieplnie na twardość 52–54 HRC.

Dies are manufactured at the Institute by machine cutting followed by heat treatment to 52–54 HRC hardness.

2.1. Próba wgłębiana

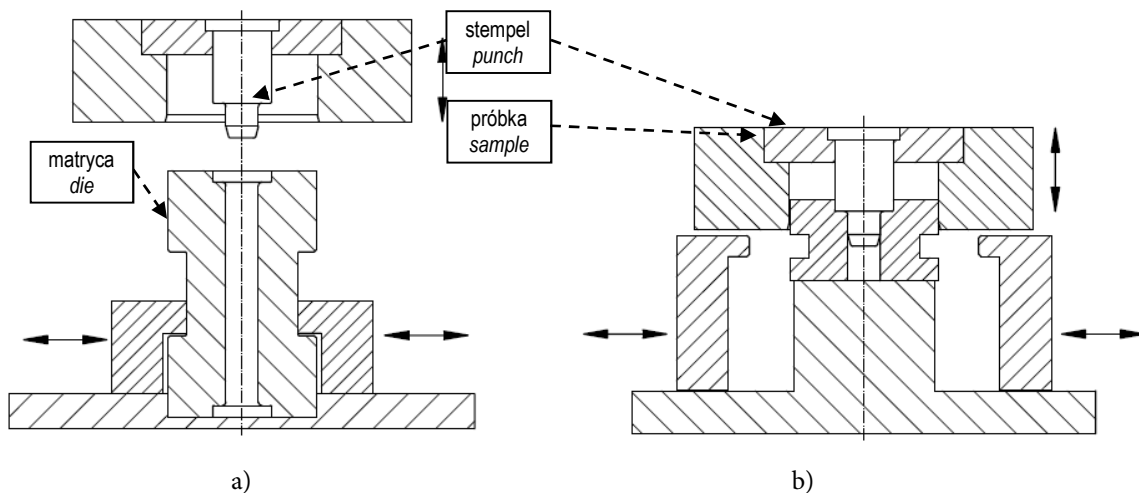
Założeniem zmodyfikowanej technologii było kształtowanie wykoju matrycy do kucia kołnierza zaczepu budowlanego poprzez wgłębiana na gorąco. Wgłębiana prowadzono w temperaturze austenitowania stali Orvar Supreme, a bezpośrednio po wgłębieniu materiał był chłodzony w oleju. Pozwoliło to na wyeliminowanie wyżarzania i dodatkowego procesu nagrzewania materiału do temperatury hartowania.

2.1. Hobbing test

The assumption of the modified technology was to shape the impression of the die for forging the flange of the construction anchor by means of hot hobbing. Hobbing was performed at the austenitization temperature of Orvar Supreme steel, and the material was cooled in oil immediately after hobbing. This will make it possible to eliminate annealing and the additional process of heating the material to quenching temperature.

Do prób wgłębiania próbek i docelowo matryc zaprojektowano przyrząd, którego schemat działania pokazano na rys. 3.

An instrument was designed for sample, and ultimately, die hobbing tests, and the scheme of its operation is shown in Fig. 3.



Rys. 3. Schemat działania przyrządu do prób wgłębiania: a) w matrycy, b) w próbce
Fig. 3. Scheme of operation of the instrument for hobbing tests: a) in a die, b) in a sample

Przyrząd wyposażono w boczne siłowniki pneumatyczne, których zadaniem było centrowanie i przytrzymanie kształtowanego materiału (wsadu). Podstawowymi zabiegami służącymi do wykonania wykroju w próbce i matrycy, przy zastosowaniu metody wgłębiania na gorąco, były:

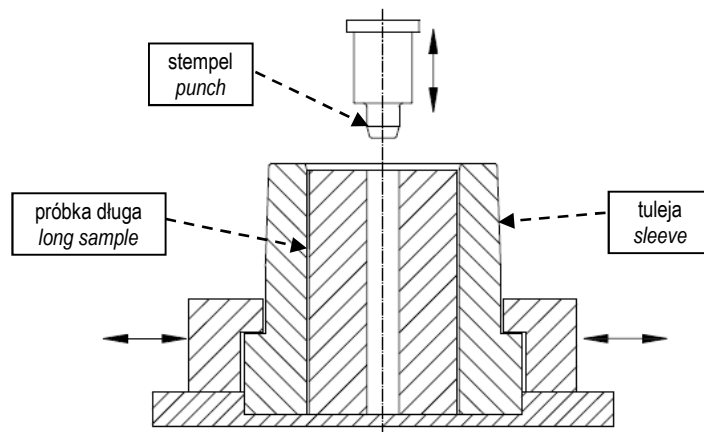
- centrowanie wsadu w przyrządzie (uprzednio nagrzanego do temperatury $1050 \pm 10^\circ\text{C}$),
- zablokowanie wsadu,
- wgłębianie stempla w materiał wsadu,
- hartowanie materiału wsadu w oleju.

Odpuszczanie materiału wsadu prowadzono przy temperaturze 570°C w czasie 2 godzin bezpośrednio po hartowaniu próbki i matrycy. Próbki krótkie o wymiarach $\phi 64 \times 35$ mm z otworem $\phi 14$ mm służyły do wstępnych prób wgłębiania, których celem była weryfikacja konstrukcji przyrządu ze względu na zniekształcenia na średnicy zewnętrznej próbek po próbie wgłębiania. Analiza wyników badań metalograficznych (struktury i twardości) prowadzonych na próbkach pozwoliła na ocenę skutków obróbki cieplnej. Schemat zmodyfikowanego przyrządu z tuleją ustalającą pokazano na rys. 4.

The instrument was equipped with lateral pneumatic actuators tasked with centering and holding the formed material (stock). The basic operations serving for forming an impression in the sample and die by means of the hot hobbing method were:

- centering of the stock in the instrument (previously heated to a temperature of $1050 \pm 10^\circ\text{C}$),
- locking of the stock,
- hobbing with the punch into the stock material,
- quenching of stock material in oil.

Tempering of the stock material was performed at a temperature of 570°C over 2 hours immediately after quenching of the sample and die. Short samples with dimensions of $\phi 64 \times 35$ mm and a $\phi 14$ mm hole served for preliminary hobbing tests, the purpose of which was to verify the design of the instrument in terms of deformations on the exterior diameter of samples after the hobbing test. Analysis of the results of metallographic studies (structure and hardness) conducted on samples allowed for assessment of the effects of heat treatment. A diagram of the modified instrument with fastening sleeve is shown in Fig. 4.



Rys. 4. Schemat przyrządu do prób wglębiania z tuleją ustalającą

Fig. 4. Diagram of the instrument for hobbing tests with fastening sleeve

Próbki długie o wymiarach $\phi 64 \times 109$ mm z otworem $\phi 14$ mm, po próbie wglębiania, usunięciu warstwy odwęglonego materiału, korekcie płaskości powierzchni czołowej oraz po przecięciu na pół stanowiły gotowe matryce do kucia zaczepów budowlanych Putanker 2,5 T.

Na przekrojach próbek i matryc, które poddano próbie wglębiania oraz hartowaniu i odpuszczaniu, wykonano następujące badania metalograficzne:

- obserwacje struktury za pomocą mikroskopu świetlnego (LM) Eclipse L150 (Nikon); strukturę próbek i matryc ujawniono po trawieniu w odczynniku (alkoholowym roztworze kwasu azotowego HNO_3) o symbolu Mi1Fe wg normy PN-H-04503:1961 – Odczynniki do badania mikrostruktury stopów żelaza;
- obserwacje struktury w wybranych obszarach próbek i matryc za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Inspect S (FEI);
- pomiary twardości metodą Vickersa HV 1 w okolicy powierzchni wykoju za pomocą twardościomierza FM-800 (Future-Tech Corp.); pomiary twardości HV 1 wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1:2007 – Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.

Long samples with dimensions of $\phi 64 \times 109$ mm with a $\phi 14$ mm hole, after the hobbing test, removal of the layer of decarbonized material, correction of face surface flatness and after being cut in half constituted ready dies for forging of Putanker 2.5 T construction anchors.

The following metallographic studies were conducted on cross-sections of samples and dies subjected to the hobbing test as well as quenching and tempering:

- observations of structure by means of an Eclipse L150 (Nikon) light microscope (LM). The structure of samples and dies was revealed after etching in reagent (alcohol solution of nitric acid HNO_3) with symbol Mi1Fe according to standard PN-H-04503:1961 – Reagents for studying the microstructure of iron alloys,
- observations of structure in selected areas of samples and dies by means of an Inspect S (FEI) scanning electron microscope (SEM),
- hardness measurements by means of the Vickers HV 1 method near the surface of the impression using an FM-800 (Future-Tech Corp.) hardness tester. Vickers HV 1 hardness measurements were performed according to standard PN-EN ISO 6507-1:2007 Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method.

3. WYNIKI BADAŃ METALOGRAFICZNYCH

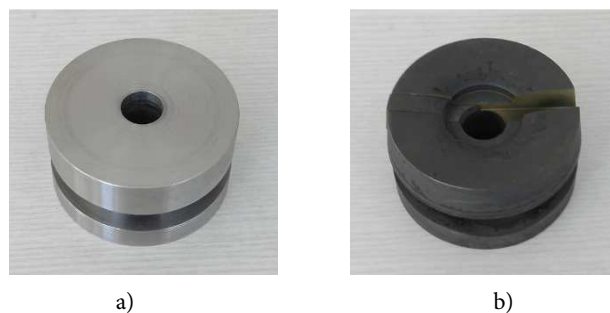
3.1. Obserwacje struktury próbek ze stali Orvar Supreme po próbie wgłębiania na gorąco – LM

Badania struktury przeprowadzono na przekroju wzdłużnym próbki metalograficznej pobranej z próbki krótkiej przy powiększeniach 100x i 200x. Widok próbki krótkiej przed i po procesie wgłębiania na gorąco oraz po wycięciu próbki metalograficznej pokazano na rys. 5. Wyniki badań struktury próbki metalograficznej pokazano na rys. 6.

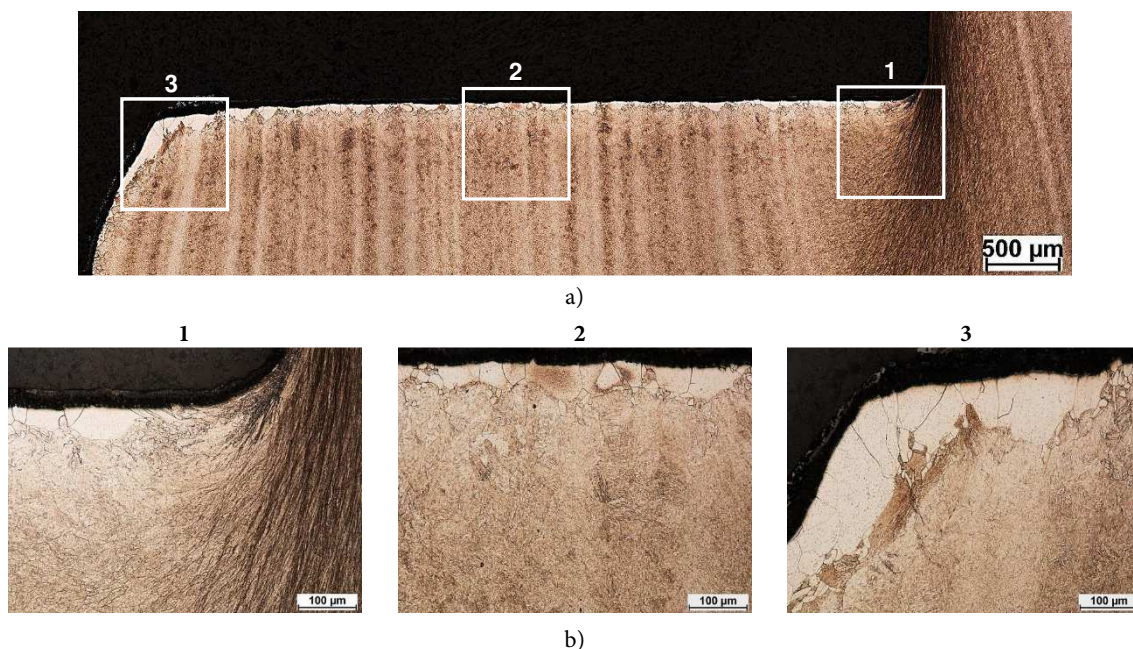
3. RESULTS OF METALLOGRAPHIC STUDIES

3.1. Observations of the structure of samples made of Orvar Supreme steel after the hot hobbing test – LM

Studies of structure were conducted on the longitudinal cross-section of a metallographic specimen acquired from a short sample at 100x and 200x magnifications. Views of the short sample before and after the hot hobbing process and after cutting of the metallographic specimen are shown in Fig. 5. Results of studies of the structure of the metallographic specimen are shown in Fig. 6.



Rys. 5. Widok próbki krótkiej: a) próbka przed procesem wgłębiania, b) próbka po procesie wgłębiania i wycięciu próbki metalograficznej
Fig. 5. View of short sample: a) sample prior to hobbing process, b) sample after the hobbing process and cutting of metallographic specimen



Rys. 6. Struktura próbki krótkiej ze stali Orvar Supreme po wgłębianiu; temperatura wgłębiania 1050°C, chłodzenie w oleju; LM: a) – przekrój wzdłużny z zaznaczonymi obszarami badań, b) – obszary: 1 przy promieniu otworu o średnicy ok. 25 mm, 2 obejmujący środek, 3 przy promieniu na średnicy 14 mm

Fig. 6. Structure of the short Orvar Supreme sample after hobbing. Hobbing temperature 1050°C, cooling in oil. LM: a) – longitudinal cross-section with marked areas of study, b) – areas: 1 near the radius of the hole with a diameter of approx. 25 mm, 2 covering the center, 3 near the radius on the 14 mm diameter

Przy powierzchni próbki widoczna jest strefa odwęglonego materiału z rozrośniętymi ziarnami ferrytu (rys. 6). W obszarze 1, leżącym w okolicy promienia otworu o średnicy ok. 25 mm, zaobserwowano silnie odkształcone plastycznie ziarna byłego austenitu, które uformowały się podczas procesu wglębiania przy temperaturze 1050°C i uległy „zamrożeniu” wskutek chłodzenia próbki w oleju (rys. 6b). Obok dużych ziaren ferrytu widocznych przy powierzchni próbki zaobserwowano też drobne ziarna ferrytu, które powstały wskutek rekrytalizacji (rys. 6b).

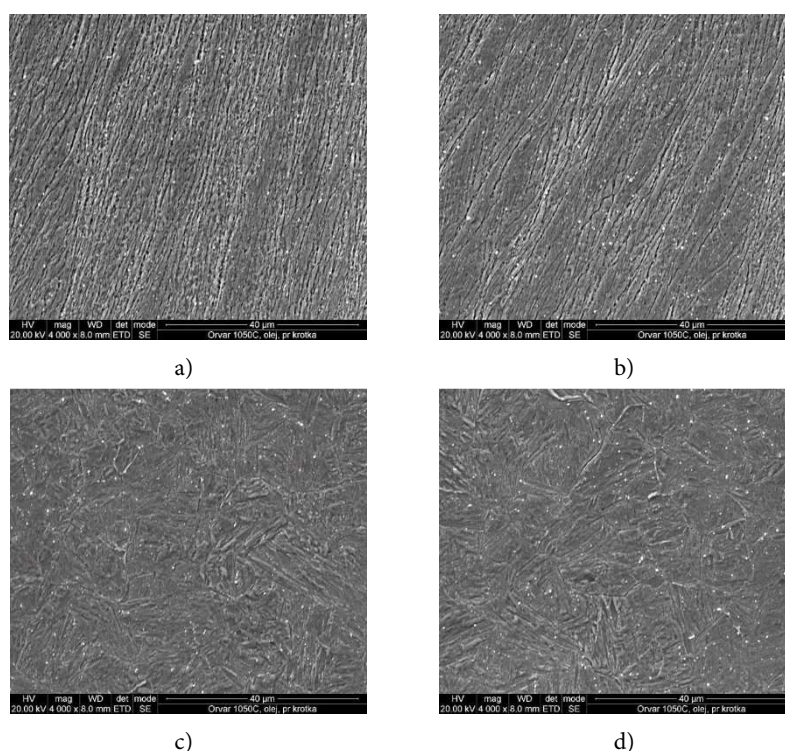
3.2. Obserwacje mikroskopowe SEM próbki ze stali Orvar Supreme po próbie wglębiania na gorąco

Badania te wykonano przy zastosowaniu: detektora elektronów wtórnych, napięcia 20 kV i powiększenia obrazu wynoszącego 4000x. Struktury stali Orvar Supreme pokazano na rys. 7.

A zone of decarbonized material with enlarged ferrite grains is visible near the surface of the sample (Fig. 6). In area 1, lying near the radius of the hole with a diameter of approx. 25 mm, grains of former austenite subjected to strong plastic deformation were observed, which formed during the process of hobbing at a temperature of 1050°C and were “frozen” in this state as a result of sample cooling in oil (Fig. 6b). Besides coarse ferrite grains visible near the sample’s surface, fine ferrite grains, formed as a result of recrystallization, were also observed (Fig. 6b).

3.2. SEM microscope observations of the structure of samples made of Orvar Supreme steel after the hot hobbing test

These studies were conducted with the application of: secondary electron detector, 20 kV voltage, and 4000x image magnification. The structure of Orvar Supreme steel is shown in Fig. 7.



Rys. 7. Struktura na przekroju próbki metalograficznej pobranej z próbki krótkiej ze stali Orvar Supreme po wglębianiu; temperatura obróbki 1050°C, chłodzenie w oleju; SEM: a) obszar w okolicy promienia wewnętrznego, w odległości ok. 0,1 mm od powierzchni, b) obszar w okolicy promienia wewnętrznego w odległości ok. 0,3 mm od powierzchni c) obszar w strefie środkowej w odległości ok. 0,5 mm od powierzchni próbki, d) obszar w strefie środkowej w odległości ok. 0,9 mm od powierzchni próbki

Fig. 7. Structure on the cross-section of the metallographic specimen acquired from a short Orvar Supreme sample after hobbing; hobbing temperature 1050°C, cooling in oil; SEM: a) area in the vicinity of the interior radius at a distance of approx. 0.1 mm from the surface, b) area in the vicinity of the interior radius at a distance of approx. 0.3 mm from the surface, c) area in the central zone at a distance of approx. 0.5 mm from the sample’s surface, d) area in the central zone at a distance of approx. 0.9 mm from the sample’s surface

W okolicy promienia na średnicy ok. 25 mm widoczne są wydłużone, silnie odkształcone plastycznie ziarna byłego austenitu oraz węgliki stopowe, które nie uległy rozpuszczeniu w austenicie wskutek wygrzewania przy temperaturze 1050°C (rys. 7a i 7b). Pod strefą odwęgloną występuje martenzyt z węglnikami stopowymi (rys. 7c i 7d). W tych obszarach widoczne są też granice ziaren byłego austenitu oraz węgliki stopowe, które nie uległy rozpuszczeniu w austenicie.

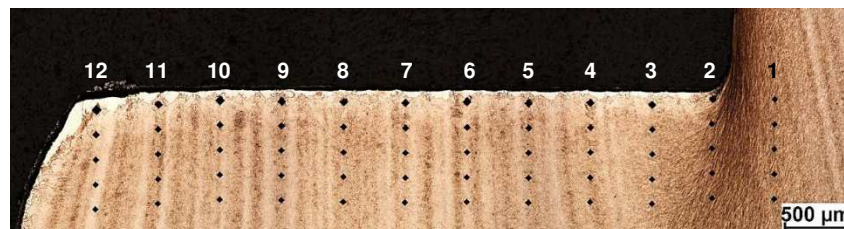
3.3. Badania rozkładów twardości na przekroju próbki krótkiej ze stali Orvar Supreme po wglębianiu na gorąco

Pomiary twardości metodą Vickersa HV 1 wykonano na próbkach ze stali Orvar Supreme pobranych z próbek krótkich i na próbce wyciętej z matrycy. Pomiary prowadzono w odległości 0,1 mm od powierzchni próbki do głębokości 0,9 mm. Odległość między poszczególnymi rozkładami twardości HV 1 wynosiła ok. 0,5 mm. Wyniki badań rozkładów twardości na przekrojach próbek metalograficznych pobranych z próbek krótkich podano na rys. 8 i rys. 9.

Grains of former austenite that are elongated and subjected to strong plastic deformation as well as alloy carbides that were not dissolved in austenite as a result of soaking at a temperature of 1050°C are visible near the radius on a diameter of approx. 25 mm (Fig. 7a and 7b). Martensite with alloy carbides is present under the decarbonized zone (Fig. 7c and 7d). The grain boundaries of former austenite and alloy carbides that were not dissolved in austenite are also visible in these areas.

3.3. Studies of hardness distribution on the cross-section of the short Orvar Supreme sample after hot hobbing

Vickers HV 1 hardness measurements were performed on Orvar Supreme specimens collected from short samples and on a specimen cut from the die. Measurements were performed at a distance of 0.1 mm from the specimen's surface up to a depth of 0.9 mm. The distance between individual HV 1 hardness distributions amounted to approx. 0.5 mm. The results of hardness distribution studies on cross-sections of metallographic specimens collected from short samples are given in Fig. 8 and Fig. 9.



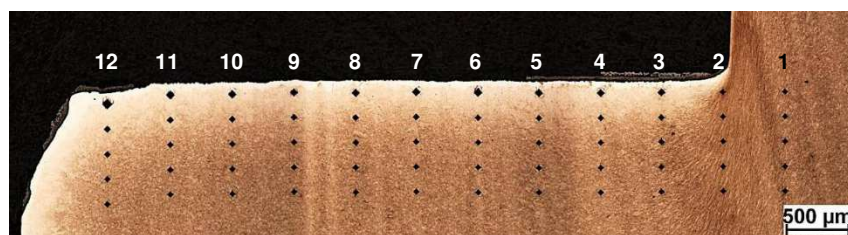
a) przekrój wzdłużny z zaznaczonymi miejscami rozkładów twardości HV 1
a) longitudinal cross-section with marked points of HV 1 hardness distributions

Odległość od powierzchni, mm Distance from surface, mm	Twardość HV 1 / HV 1 hardness											
	Numer rozkładu twardości HV 1 / Number of HV 1 hardness distribution											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	663	456	440	395	408	369	406	411	387	323	395	297
0,3	673	674	591	557	555	577	557	539	534	524	539	496
0,5	676	694	666	622	624	643	625	627	613	604	601	597
0,7	667	687	664	646	642	673	648	644	640	644	643	654
0,9	660	685	663	665	650	662	658	652	651	658	670	666

b) tabela z wynikami pomiarów twardości HV 1
b) table with HV 1 hardness measurement results

Rys. 8. Rozkłady twardości HV 1 na przekroju próbki metalograficznej pobranej z próbki krótkiej ze stali Orvar Supreme; temperatura wglębiania 1050°C, chłodzenie w oleju

Fig. 8. HV1 hardness distributions on the cross-section of the metallographic specimen acquired from a short Orvar Supreme sample; hobbing temperature 1050°C, cooling in oil



a) przekrój wzdłużny z zaznaczonymi miejscami rozkładów twardości HV 1
 a) longitudinal cross-section with marked points of HV 1 hardness distributions

Odległość od powierzchni, mm Distance from surface, mm	Twardość HV 1 / HV 1 hardness											
	Numer rozkładu twardości HV 1 / Number of HV 1 hardness distribution											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	654	630	438	440	428	362	407	425	425	392	367	276
0,3	658	666	602	596	597	603	581	584	561	567	566	538
0,5	658	652	640	645	633	652	629	625	611	628	622	607
0,7	650	659	650	656	652	667	644	639	625	641	643	645
0,9	632	652	642	648	660	670	644	636	634	641	645	646

b) tabela z wynikami pomiarów twardości HV 1
 b) table with HV 1 hardness measurement results

Rys. 9. Rozkłady twardości HV 1 na przekroju próbki metalograficznej pobranej z próbki krótkiej ze stali Orvar Supreme; temperatura wglębiania 1060°C, chłodzenie w oleju, temperatura odpuszczania 570°C, czas 2 h

Fig. 9. HV1 hardness distributions on the cross-section of the metallographic specimen acquired from a short Orvar Supreme sample; hobbing temperature 1060°C, cooling in oil, tempering temperature 570°C, time 2 h

Głębokość odwęglenia stali Orvar Supreme po wglębianiu przy temperaturze 1050°C i chłodzeniu w oleju wynosiła ok. 0,3 mm (rys. 8). Proces odpuszczania stali Orvar Supreme w zastosowanych warunkach spowodował zmniejszenie twardości średnio o ok. 20 HV 1 w obszarach leżących w okolicy promienia na średnicy ok. 25 mm (rozkłady twardości 1–4 HV 1 na rys. 8 i 9) poniżej głębokości 0,3 mm. Średnia twardość próbki zahartowanej wyniosła 641 HV 1 w obszarach, w których wykonano rozkłady twardości HV 0,1 oznaczone nr 5–12, poniżej głębokości 0,3 mm, a stali hartowanej i odpuszczonej w tych samych obszarach 639 HV 1.

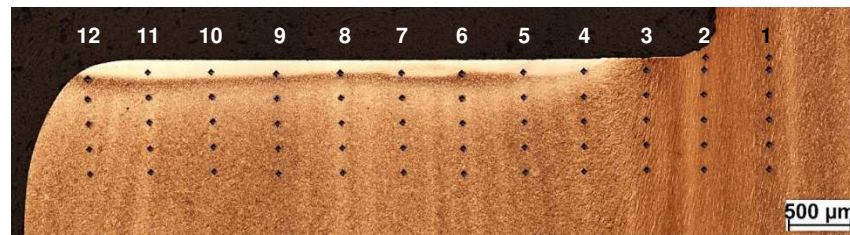
Matrycę Putanker 2,5 T po szlifowaniu oraz po wycięciu próbki metalograficznej pokazano na rys. 10. Wyniki badania rozkładów twardości HV 1 na przekroju tej próbki pokazano na rys. 11.

The decarbonization depth of Orvar Supreme steel after hobbing at 1050°C and cooling in oil amounted to approx. 0.3 mm (Fig. 8). The process of tempering Orvar Supreme steel under the applied conditions resulted in hardness reduction by approx. 20 HV 1 on average in areas lying in the area of the radius on a diameter of approx. 25 mm (1–4 HV 1 hardness distributions in Fig. 8 and 9) below a depth of 0.3 mm. The average hardness of a quenched sample was 641 HV 1 in areas where HV 0.1 hardness distributions were determined, designated no. 5–12, below a depth of 0.3 mm, and the hardness of steel quenched and tempered was 639 HV 1 in these same areas.

A Putanker 2.5 T die after grinding and cutting of a metallographic specimen is shown in Fig. 10. The results of study of HV 1 hardness distributions on the cross-section of this specimen are shown in Fig. 11.



Rys. 10. Matryca Putanker 2,5 T (a) z zaznaczonym miejscem pobrania próbki metalograficznej (b)
 Fig. 10. Putanker 2.5 T die (a) with marked location of metallographic specimen collection (b)



a) przekrój wzdłużny z zaznaczonymi miejscami rozkładów twardości HV 1
 a) longitudinal cross-section with marked points of HV 1 hardness distributions

Odległość od powierzchni, mm Distance from surface, mm	Twardość HV 1 / HV 1 hardness											
	Numer rozkładu twardości HV 1 / Number of HV 1 hardness distribution											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	611	627	611	576	544	478	533	496	529	586	604	464
0,3	619	611	615	608	616	594	589	618	598	599	605	598
0,5	622	610	612	596	610	601	599	611	598	601	624	611
0,7	615	616	615	610	607	603	596	606	598	596	619	607
0,9	621	618	614	603	611	597	597	614	591	597	616	606

b) tabela z wynikami pomiarów twardości HV 1
 b) table with HV 1 hardness measurement results

Rys. 11. Rozkłady twardości HV 1 na przekroju próbki metalograficznej pobranej z narzędzia ze stali Orvar Supreme po szlifowaniu; temperatura węglenia 1050°C, chłodzenie w oleju, temperatura odpuszczania 570°C, czas 2 h

Fig. 11. HV1 hardness distributions on the cross-section of the metallographic specimen acquired from the tool made of Orvar Supreme steel after grinding; hobbing temperature 1050°C, cooling in oil, tempering temperature 570°C, time 2 h

Z pomiarów twardości HV 1 na przekroju próbki pobranej z matrycy ze stali Orvar Supreme wynika, że nie zeszlifowano całkowicie strefy odwęglonej pod powierzchnią płaską narzędzia (rys. 11). Twardość w obszarach znajdujących się poniżej głębokości 0,1 mm zmieniała się od 622 HV 1 dla rozkładu 1-HV1 do 598 HV 1 dla rozkładu 12-HV 1. Średnia twardość w tym obszarze wyniosła 607 HV 1, co po jej zamianie na twardość Rockwella można oszacować na ok. 56 HRC. Twardość matryc Putanker 2,5 T powinna wynosić przynajmniej od 52 HRC do 54 HRC.

HV 1 hardness measurements on the cross-section of the specimen collected from the die made from Orvar Supreme steel show that the decarbonized zone under the tool's flat surface was not completely ground out (Fig. 11). Hardness in areas found below the depth of 0.1 mm ranged from 622 HV 1 for distribution 1-HV1 to 598 HV 1 for distribution 12-HV 1. The average hardness in this areas amounted to 607 HV 1, and after conversion to Rockwell hardness, it can be estimated to be approx. 56 HRC. The hardness of Putanker 2.5 T dies should range from at least

Można zatem stwierdzić, że technologią wgłębiania na gorąco ukształtowano plastycznie powierzchnię wykroju matrycy do kucia zaczepu budowlanego Putanker 2,5 T przy zastosowaniu próbek długich z otworem ze stali Orvar Supreme. W wyniku hartowania próbek bezpośrednio z temperatury wgłębiania oraz ich odpuszczania uzyskano narzędzia kuźnicze o wymaganej twardości. Wytworzone matryce poddano próbie eksploatacyjnej w warunkach przemysłowych. Dotychczas odkuto 4000 odkuwek kołnierza zaczepu. Nie stwierdzono wyraźnych śladów zużycia w obszarze promienia matrycy, na średnicy 14 mm, w najbardziej newralgicznym miejscu. Największe miejscowe ubytki materiału matrycy górnej i dolnej nie przekraczały 0,07 mm, przy dokładności skanera optycznego wynoszącej $\pm 0,03$ mm.

4. PODSUMOWANIE

1. Metodą wgłębiania na gorąco w temperaturze 1050°C można ukształtować plastycznie powierzchnię wykroju matrycy Putanker 2,5 T przy zastosowaniu próbek długich z otworem ze stali Orvar Supreme. Hartowanie tych próbek bezpośrednio z temperatury wgłębiania, a następnie ich odpuszczanie w temperaturze 570°C w czasie 2 godzin zapewniło średnią twardość materiału 607 HV 1 (ok. 56 HRC), która jest wymagana dla matryc do kucia zaczepów Putanker 2,5 T.
2. Wdrożenie do produkcji matryc do kucia kołnierza zaczepu budowlanego Putanker 2,5 T, których powierzchnię wykroju ukształtowano w procesie wgłębiania na gorąco będzie możliwe po długotrwałej eksploatacji tych matryc (przynajmniej 15000 odkuwek) oraz ocenie wielkości ich zużycia.

PODZIĘKOWANIA

Badania przeprowadzono w ramach projektu BB .901.0055 pt. „Badania nad technologią wytwarzania matryc kuźniczych metodą wgłębiania na gorąco” finansowanego w ramach działalności statutowej Instytutu Obróbki Plastycznej.

52 HRC to 54 HRC. Therefore, it can be stated that hot hobbing technology was used to plastically form the surface of the die impression for forging of the Putanker 2.5 T construction anchor with the application of long samples with a hole made from Orvar Supreme steel. As a result of quenching of samples directly from hobbing temperature and their tempering, forging tools of the required hardness were obtained. The manufactured dies were subjected to an operational test under industrial conditions. Until now, 4000 forgings of the anchor flange have been forged. No clear traces of wear were observed in the area of the die's radius, on a diameter of 14 mm, at the most susceptible point. The greatest local losses of material in the upper and lower die did not exceed 0.07 mm, and the accuracy of the optimal scanner was ± 0.03 mm.

4. CONCLUSION

1. *The hot hobbing method at a temperature of 1050°C can be used for plastic shaping of the surface of the Putanker 2.5 T die impression with the application of long samples with a hole made from Orvar Supreme steel. Quenching of these samples directly from hobbing temperature followed by their tempering at 570°C over 2 hours ensured an average material hardness of 607 HV 1 (approx. 56 HRC), which is required for dies used for forging Putanker 2.5 T anchors.*
2. *Implementation of dies for forging of the flange of a Putanker 2.5 T construction anchor, with impression surfaces formed by the hot hobbing process, into production will be possible after long-term exploitation of these dies (at least 15000 forgings) and assessment of the degree of their wear.*

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted within the BB .901.0055 project entitled „Investigation of the technology of manufacturing forging dies by the method of hot hobbing”, co-financed within the statutory activity of Metal Forming Institute.

LITERATURA

- [1] Pachutko B., S. Ziółkiewicz. 2012. „Badania procesów zużycia matryc do kucia zaczepu budowlanego na podstawie badań metalograficznych”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 277–293.
- [2] Pachutko B i in. 2012. Praca statutowa INOP nr BB .901.07/2012 – Badania technologii wytwarzania wyrobów metodami obróbki plastycznej i metalurgii proszków, badanie ich właściwości oraz narzędzi do ich produkcji. Zadanie 03 – Badania metalograficzne narzędzi do obróbki plastycznej po różnych etapach eksploatacji. Praca niepublikowana.
- [3] Ziółkiewicz S. i in. Sprawozdanie z realizacji projektu w INOP - Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia, umowa nr UDA POIG 01. 03.01-02-161/09-07. Praca niepublikowana.
- [4] Wasiuńk P., J. Jarocki. 1977. *Kuźnictwo i prasownictwo*. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne 1977.
- [5] Krzekotowski Z. 1964. *Technologia kucia swobodnego i półswobodnego*. Katowice: Wydawnictwo „Śląsk”.
- [6] Erbel S., K. Kuczyński, Z. Marciniak. 1986. *Techniki Wytwarzania. Obróbka Plastyczna*. Warszawa: PWN.
- [7] Billigman J., H.D. Feldman. 1973. *Stauchen und Pressen. Handbuch für das Kalt – und Warm – Massivumformen von Stählen und Nichteisenmetallen*. München: Carl Hanser Verlag.

REFERENCES

- [1] Pachutko B., S. Ziółkiewicz. 2012. “Investigation of the wear processes of dies for forging building anchors basing on metallographic examinations”. *Obróbka Plastyczna Metali XXIII* (4): 277–293.
- [2] Pachutko B i in. 2012. Statutory work of INOP no. BB .901.07/2012 – Badania technologii wytwarzania wyrobów metodami obróbki plastycznej i metalurgii proszków, badanie ich właściwości oraz narzędzi do ich produkcji. Zadanie 03 – Badania metalograficzne narzędzi do obróbki plastycznej po różnych etapach eksploatacji. Unpublished work.
- [3] Ziółkiewicz S. i in. Implementation report of project in INOP - Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia, umowa nr UDA POIG 01. 03.01-02-161/09-07. Unpublished work.
- [4] Wasiuńk P., J. Jarocki. 1977. *Kuźnictwo i prasownictwo*. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne 1977.
- [5] Krzekotowski Z. 1964. *Technologia kucia swobodnego i półswobodnego*. Katowice: Wydawnictwo „Śląsk”.
- [6] Erbel S., K. Kuczyński, Z. Marciniak. 1986. *Techniki Wytwarzania. Obróbka Plastyczna*. Warszawa: PWN.
- [7] Billigman J., H.D. Feldman. 1973. *Stauchen und Pressen. Handbuch für das Kalt – und Warm – Massivumformen von Stählen und Nichteisenmetallen*. München: Carl Hanser Verlag.

