

Dr inż. Beata PACHUTKO, dr inż. Stanisław ZIÓŁKIEWICZ
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań
e-mail: pachutko@inop.poznan.pl

Badania procesów zużycia matryc do kucia zaczepek budowlanego na podstawie badań metalograficznych

Investigation of the wear processes of dies for forging building anchors basing on metallographic examinations

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań mikroskopowych i profile mikrotwardości na przekrojach matryc Slotanker 5 t ze stali WCL do kucia łba stożkowego po 3000 i 6000 cyklach kucia oraz matryc do kucia łba walcowego po 9000 cyklach pracy. Dominującą przyczyną zużycia części roboczej materiału stożka lub czaszy matrycy okazały się pęknięcia powstałe wskutek oddziaływania zmiennych obciążeń dynamicznych na odpuszczoną strefę wierzchnią narzędzia. Odpuszczenie tej strefy nastąpiło w wyniku oddziaływania temperatury kutego materiału. W obszarze promienia otworu stwierdzono zużycie ściernie i największe zmiany twardości skutkiem odpuszczenia materiału matrycy. Zaproponowano zmiany technologii wykonania narzędzi kuźniczych i monitorowanie zmian wymiarów geometrycznych narzędzi w następnym etapie badań.

Abstract

The paper presents the results of microscopic examinations and hardness profiles on the cross sections of Slotanker 5 t dies made of WCL steel for forging conical heads after 3000 and 6000 cycles and of dies for forging cylindrical heads after 9000 working cycles. Cause of the wear of the working part material in the cone or in the die bowl has been found to be cracks formed due to the various dynamic loads acting on the tempered top zone of the tool. Tempering of the zone has taken place result of the action of the forged material temperature. In the area of the hole radius, abrasive wear and the largest hardness changes have been found as result of the die material tempering. In the area of the hole radius, abrasive wear has been found due to tempering of the die material. Modifications of the tool execution technology has been proposed, as well as monitoring the changes of the tool geometrical dimensions.

Słowa kluczowe: badania metalograficzne, narzędzia kuźnicze, zużycie narzędzi, zużycie ściernie

Keywords: metallographic examinations, forging tools, tool wear, abrasive wear

1. WSTĘP

Trwałość matryc do kucia elementów konstrukcyjnych na gorąco jest mała i wpływa na koszt produkcji odkuwek matrycowych. Badania nad zwiększeniem trwałości narzędzi do obróbki plastycznej prowadzone są w Instytucie od szeregu lat i dotyczą optymalizowania warunków ich obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej. W roku 2011 rozpoczęto badania, których celem była ocena procesów zużycia narzędzi do kucia matrycowego na gorąco na podstawie badań metalograficznych.

1. INTRODUCTION

The life time of dies used for forging construction elements is short and it influences the production cost of die forgings. Investigations aiming at the extension of forging tool lifetime have been performed by the Metal Forming Institute for many years and they concern optimization of the conditions of their heat and thermochemical treatment. In 2011, investigation aiming at the assessment of the wear process of hot die forging tools on the basis of metallographic examinations.

Badania te miały również wykazać, jaki jest dominujący proces zużycia narzędzi do produkcji zaczepów budowlanych. Celem niniejszej pracy była analiza struktury warstwy wierzchniej narzędzi do kucia łba stożkowego i walcowego tych zaczepów.

Według Heinemeyera [1] około 70% matryc kuźniczych jest wycofywanych z eksploatacji wskutek zużycia ściernego i odkształcenia plastycznego, 25% matryc ulega pękaniu zmęczeniowemu, a w przypadku 5% matryc są jeszcze inne powody utraty trwałości narzędzi (wady konstrukcyjne, materiałowe lub wady obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej). Ilościowe relacje poszczególnych procesów zużycia mogą być bardzo różne i zależą od konstrukcji oraz warunków eksploatacji narzędzi kuźniczych, a w szczególności od poziomu naprężeń cieplnych i mechanicznych w warstwie wierzchniej narzędzi [2÷4]. Na obciążenie cieplne matryc składają się: temperatura kutego materiału i matrycy, czas kontaktu z obrabianym materiałem oraz prędkość odkształcania. Zużycie matrycy zależy od: wielkości nacisku jednostkowego i przemieszczeń materiału na powierzchni styku par trących, gatunku materiału matrycy, masy odkuwki oraz matrycy. Podczas plastycznego kształtowania materiał matrycy poddawany jest (w warstwie wierzchniej) naprężeniom ściskającym oraz naprężeniom rozciągającym podczas chłodzenia wykroju, po odkształceniu materiału i jego usunięciu z matrycy. Zwiększenie liczby cykli pracy narzędzia kuźniczego, poddanego naprężeniom cieplno-mechanicznym, powoduje zmiany strukturalne w warstwie wierzchniej. Początkowo następuje przejściowe umocnienie materiału narzędzia podczas odkształcania plastycznego osnowy w kolejnych cyklach [3]. Umocnienie to zanika w wyniku procesów aktywowanych cieplnie powodując postępującą koagulację węglików i rekrytalizację osnowy. W warstwie wierzchniej narzędzia powstają pęknięcia. Dlatego struktura i właściwości wytrzymałościowe warstwy wierzchniej mają decydujący wpływ na trwałość narzędzia w początkowym etapie eksploatacji. Karby i wady powierzchniowe są miejscami koncentracji naprężeń i zmniejszają odporność materiału narzędzia na cykliczne zmiany temperatury.

The investigation was to show, too, what is the dominating process of the wear of tools for the production of building anchors. The purpose of this work was the analysis of the top layer structure of the tools for forging the conical and cylindrical head of those anchors.

According to Heinemeyer [1], about 70% of forging dies are discarded due to abrasive wear and plastic deformation, 25% of dies suffer fatigue cracks, in the case of 5% of dies, there are other reasons of tool durability loss (design and material defects, or defects of heat and thermochemical treatment). The quantitative relations of the individual wear processes can be various and they depend on the design and utilization conditions of the forging tools, particularly on the level of thermal and mechanical stresses in the top layer of the tools [2÷4]. The thermal stresses of the dies are contributed to by: the temperature of the material being forged and the die, time of contact with the material under processing and the speed of deformation. Die wear depends on: the magnitude of the specific load and material dislocations on the contact surface of the pairs in friction, forging material grade, forging mass and mass of die. During plastic forming, the die material (in its top layer) is subjected to compressive stresses and to tensile stresses during die cavity cooling, after the material has been deformed and removed from the die. Increase of the number of working cycles of a forging tool subjected to thermal and mechanical stresses results in structural changes in the top layer. At the beginning, temporary consolidation of the tool material takes place when the matrix is plastically deformed in the subsequent cycles [3]. The consolidation vanishes as result of thermally activated processes, causing progressing coagulation of carbides and recrystallization of the matrix. In the top layer of the tool, cracks arise. That is why the structure and strength properties of the top layer have a decisive influence on the tool durability at the initial stage of exploitation. Notches and surface defects are locations of stress concentration and reduce the tool resistance to cyclic temperature changes.

Również powierzchniowa warstwa tlenków sprzyja powstawaniu pęknięć w narzędziu. Kinetyka procesu utleniania powierzchni wpływa na szybkość powstawania pęknięć i ich morfologię. Pęknięcia powstające podczas cykli ciepno-mechanicznych zostają wypełnione tlenkami, które oddziałują jak klin w szczelinie i przyspieszają ich rozwój.

Zgorzelina występująca na powierzchni obrabianej stali konstrukcyjnej zawiera głównie tlenki Fe_2O_3 [3]. W przypadku obróbki plastycznej stali chromowo-manganowej stwierdzono także obecność tlenków Fe_3O_4 [4]. Tlenki te podczas kucia oddzielają się od powierzchni obrabianej stali i oddziałują jak materiał ścierny na powierzchnię matrycy kuźnicznej, przyspieszając jej zużycie. Intensywne ścieranie zachodzi w miejscach największych nacisków i przemieszczeń materiału obrabianego względem powierzchni narzędzia. W przypadku matrycy są to obszary najdłuższego kontaktu z obrabianym materiałem oraz przejścia wykroju w obszar mostka wypłytki [3, 4].

W pracy [5] przedstawiono – podobnie jak w niniejszej pracy - wyniki badań zmian struktury przekroju trzpienia z ulepszonej cieplnie stali AISI H11 (X38CrMoV5 – odpowiednik stali WCL), który poddano testom tribologicznym „pin on disc” przy obciążeniu 20 N w czasie 1 godziny w temperaturze: 200, 500, 700, 800 i 950 °C. Prędkość obrotowa wynosiła 100 obr/min, a liniowa $0,167 \text{ ms}^{-1}$. Materiałem dysku była stal ferrytyczno-perlityczna AISI 1018 (XC18) stosowana na odkuwki w przemyśle samochodowym. Do temperatury 500 °C zaobserwowano w trzpieniu strefę odkształcenia plastycznego o maksymalnej grubości $10 \div 5$ mikrometrów. Zwiększenie temperatury do $700 \div 800$ °C spowodowało zmniejszenie grubości strefy odkształcenia plastycznego wskutek odrywania się dużych, odkształconych plastycznie cząstek materiału z krawędzi trzpienia. Na granicy strefy odkształconej i nieodkształconej plastycznie pojawiły się pustki, a na powierzchni odkształconej plastycznie zaobserwowano wykruszenia materiału po teście prowadzonym w temperaturze 200 °C. Pustki zwiększały swoją wielkość ze zwiększeniem temperatury testu do 700 °C wskutek plastycznego płynięcia materiału trzpienia.

The top layer of oxides, too, facilitates crack formation in the tool. The kinetics of the surface oxidation process influences the rate of crack formation and crack morphology. The cracks formed during the thermo-mechanical cycles are filled with oxides which act as a wedge in a gap and accelerate their growth.

Scale present on the surface of the constructional steel being processed contains mainly oxides, Fe_2O_3 [3]. In the case of forming chromium-manganese steel, the presence of Fe_3O_4 oxides has also been found [4]. Those oxides separate from the surface of the steel under processing and act as an abrasive material on the surface of the forging die accelerating its wear. Intense abrasion takes place at the points of the largest loads and dislocations of the material under processing in relation to the tool surface. In the case of dies, those are the areas of the longest contact with the material under processing and the transition of the die cavity into the area of the bridge bead [3, 4].

Work [5], like the present one, describes the results of examination of structure changes in the cross section of a mandrel made of toughened AISI H11 steel (XC38CrMoV5 – equivalent of WCL steel) which has been subjected to “pin on disc” tribological tests with the load of 20 N for a period of 1 hour at the temperatures of: 200, 500, 700, 800 and 950 °C. Rotational speed was 100 rpm and the linear speed 0.167 ms^{-1} . The disc material was ferritic-pearlitic steel, AISI 1018 (XC18) used for forgings in the automotive industry. Up to the temperature of 500 °C, a $10 \div 5 \mu\text{m}$ thick deformation zone was observed in the mandrel. Increase of the temperature up to $700 \div 800$ °C has resulted in reduction of the deformation zone thickness due to big plastically deformed material particles breaking off the mandrel edge. At the boundary of the plastically deformed zone and the not deformed one, voids appeared; on the plastically deformed surface, material chipping has been observed after a test performed at 200 °C. The voids grew in size with the increase of the test temperature up to 700 °C due to plastic flow of the mandrel material.

Struktura odpuszczonego martenzytu materiału sworznia występowała do temperatury 700 °C. Od temperatury 700 °C obserwowano miejscowe utlenianie materiału trzpienia w obszarach odpuszczonego martenzytu. Tlenki występujące w zakresie temperatury testu 700÷800 °C odgrywały rolę stałego środka smarnego tworząc szklistą powierzchnię. W temperaturze 950 °C nastąpiło odpuszczenie materiału trzpienia: zanik struktury iglastej, koalescencja węglików i powstawanie nowych ziaren na zewnętrznej powierzchni trzpienia. Strukturę tę określono jako „białą warstwę”. Zmniejszenie właściwości mechanicznych materiału trzpienia w tej temperaturze przejawiało się zmniejszeniem współczynnika tarcia wskutek tego, że materiał wykazywał cechy substancji lepko-plastycznej.

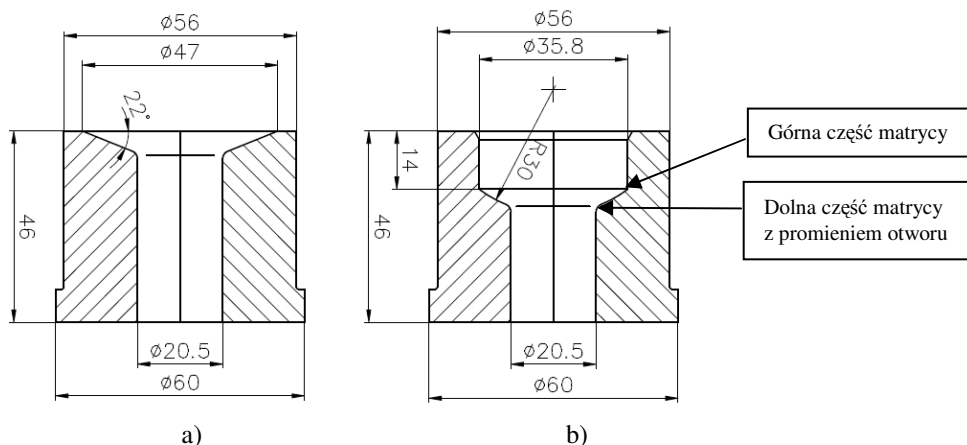
From the temperature of 700 °C, local oxidation of the mandrel material in the areas of tempered martensite has been observed. The oxides appearing within the test temperature range of 700÷800 °C played the role of a solid lubricant creating a vitreous surface. At the temperature of 950 °C, tempering of the mandrel material took place: disappearance of the acicular structure, coalescence of carbides took place and new grains arose on the outer surface of the mandrel. This structure has been defined as “white layer”. Reduction of the mandrel mechanical properties at that temperature was manifested by decrease of the friction coefficient due to the fact that the material revealed the features of a viscous-plastic substance.

2. MATERIAL AND INVESTIGATION METHODOLOGY

2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał badany stanowiły matryce górne i dolne do kucia łba stożkowego zaczepu budowlanego Slotanker 5 t po 3000 i 6000 cykli pracy oraz matryca górna i dolna do kucia łba walcowego ww. zaczepu budowlanego po 9000 cykli. Szkic przekroju matryc pokazano na rys. 1. Matryce były wykonane ze stali WCL (odpowiednik stali X37CrMoV5-1 wg normy PN-EN ISO 4957:2004 – Stale narzędziowe). Powierzchnię wykroju matryc przygotowano poprzez dokładne toczenie z ręcznym polerowaniem promienia otworu. Takie przygotowanie powierzchni narzędzi było optymalne pod względem ekonomicznym i wymagań jakości powierzchni odkuwek.

The test material was upper and lower dies for forging conical head of building anchors, Slotanker 5 t after 3000 and 6000 working cycles, as well as the upper and lower die for forging cylindrical head of the above anchor after 9000 cycles. A diagram of the die cross section is shown in fig. 1. The dies were made of WCL steel (equivalent of X37CrMoV5-1 steel according to standard PN-EN ISO 4957:2004 – Tool steels). The surface of the die impression has been prepared by precision turning with manual polishing of the hole radius. Such tool surface preparation was optimum one in the economical aspect and as regards the forging surface quality requirements.



Rys. 1. Przekroje kompletu matryc górnej i dolnej Slotanker 5 t do kucia:
a) łba stożkowego zaczepu, b) łba walcowego zaczepu

Fig. 1. Cross sections of Slotanker 5 t upper and lower die set for forging: a) conical anchor head, b) cylindrical anchor head

2.1. Obróbka cieplna narzędzi

Obróbkę cieplną narzędzi przeprowadzono w piecu próżniowym RVFOQ-224 (ELTERMA).

Proces obejmował:

- podgrzewanie I - temperatura 600 °C, czas 40 min,
- podgrzewanie II – temperatura 860 °C, czas 40 min,
- austenitizowanie – temperatura 1040 °C, czas 30 min,
- chłodzenie - olej o temperaturze ok. 40 °C,
- odpuszczanie – dwukrotne w temperaturze 580 °C w czasie 2 godzin.

Twardość narzędzi wynosiła 50 ± 2 HRC.

2.2. Azotowanie narzędzi

Proces azotowania jarzeniowego narzędzi do kucia łba stożkowego przeprowadzono w piecu JONIMP 500/900 (IMP) w następujących warunkach:

- temperatura 540 °C, czas 10 godzin,
- przepływ gazów - wodoru ok. 70 l/godz., azotu ok. 40 l/godz.,
- natężenie i napięcie prądu - 18 A, 570 V.

Twardość powierzchniowa wyniosła ok. 850÷900 HV 0,1.

2.3. Warunki kucia zaczepu budowlanego

Warunki kucia zaczepu budowlanego były następujące:

- temperatura wsadu w zakresie - 1000÷1050 °C,
- temperatura narzędzia po procesie kucia - 250÷300 °C (pomiar z kamery termowizyjnej),
- czas kucia – 0,75 s,
- częstość kucia – 4 szt./ min.

2.4. Kryteria zużycia narzędzi

Kryteria zużycia narzędzi były następujące:

- stan powierzchni roboczej narzędzi (np. głębokie pęknięcia w kierunku promieniowym),

2.1. Heat treatment of the tools

Heat treatment of the tools has been performed in a vacuum furnace, RVFOQ-224 (ELTERMA).

The process included:

- *heating I – temperature 600 °C, time 40 minutes,*
- *heating II – temperature 860 °C, time 40 minutes*
- *austenitizing – temperature 1040 °C, time 30 minutes,*
- *cooling – oil at the temperature of about 40 °C,*
- *tempering – twice, at the temperature of 580 °C for 2 hours.*

The hardness of the tools was 50 ± 2 HRC.

2.2. Nitriding of the tools

The process of glow discharge nitriding of the tools has been performed in the JONIMP 500/900 (IMP) furnace under the following conditions:

- *temperature 540 °C, time 10 hours,*
- *gas flow - hydrogen about 70 l/hour, nitrogen about 40 l/hour,*
- *current and voltage – 18 A, 570 V.*

Surface hardness was about 850÷900 HV 0.1.

2.3. Conditions of forging of building anchors

The conditions of forging the building anchor were as follows:

- *charge temperature in the range of 1000–1050 °C,*
- *tool temperature after the forging process 250-300 °C (measurement from a thermovision camera),*
- *forging time 0.75 s,*
- *forging frequency 4 pcs/min.*

2.4. Tool wear criteria

The criteria of the tool wear were as follows:

- *the condition of the tool working surface (e.g. deep cracks in the radial direction),*

- zmiana geometrii promienia otworu na średnicy 20,5 mm.

W Zakładzie Doświadczalnym INOP wykonywano kontrolne pomiary: średnicy, długości łba i promienia odkuwek (od 3 do 5 sztuk) pobranych z każdej odkutej partii 1000 sztuk odkuwek. Na podstawie wyników pomiarów i przy uwzględnieniu wymaganej tolerancji zdecydowano o dalszej eksploatacji narzędzi.

2.5. Stosowane metody badawcze

W pracy zastosowano następujące metody badawcze:

- elektronową mikroskopię skaningową (SEM) do obserwacji topografii powierzchni roboczej narzędzi, za pomocą mikroskopu Inspect S (FEI),
- mikroskopię świetlną do obserwacji pęknięć oraz struktury w 2 przekrojach matryc, za pomocą mikroskopu Eclipse L150 (Nikon) wyposażonego w program do analizy obrazu NIS Elements; próbki metalograficzne przygotowano zgodnie z instrukcją badawczą Z-IB/3-05 – Obserwacje struktury metali i stopów, wydanie V z dnia 08.03.2010,
- pomiary twardości metodą Vickersa HV 0,1 od powierzchni w głąb materiału, przy sile obciążającej 0,9807 N, zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1:2007 – Metale -- Pomiar twardości sposobem Vickersa -- Część 1: Metoda badań, za pomocą twardościomierza Micromet 2104 (Wirtz-Buehler).

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Badania mikroskopowe – SEM

Wyniki badań SEM przedstawiono na rysunku 2. Na powierzchni roboczej narzędzi Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego zaczepu występuje warstwa tlenków (stwierdzona w badaniach za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego EDS), w której widoczne są pęknięcia rozmieszczone wzdłuż promienia oraz pęknięcia o mniejszej grubości (zgodne z kierunkiem rys powstałych po obróbce mechanicznej prostopadle do promienia narzędzia).

- *change of the hole radius geometry on the diameter 20.5 mm.*

In the Experimental Plant of the Metal Forming Institute, the following check measurements have been performed: diameter, forging head length and radius of forgings (from 3 to 5 pcs taken from each batch of 1000 forging made). Considering the required tolerance, decision of further use of the tools has been made.

2.5. Examination methods applied

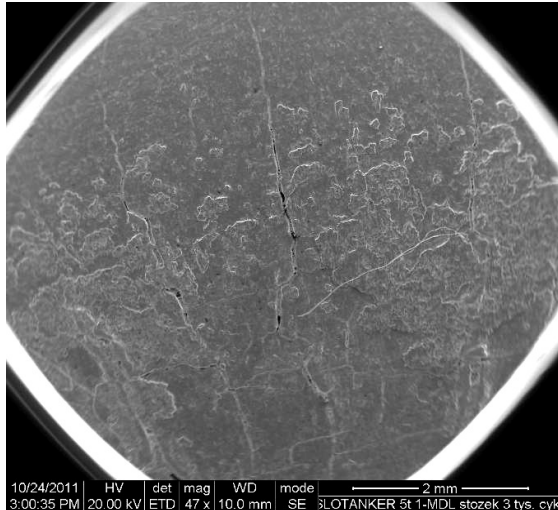
In the work, the following examination methods have been applied:

- *scanning electron microscopy (SEM) for inspecting the topography of the tool working surface by means of an Inspect S microscope (FEI),*
- *optical microscopy for inspecting cracks and structure in 2 cross sections of dies by means of an Eclipse L150 (Nikon) microscope provided with the NIS Elements program for image analysis; metallographic samples have been prepared in accordance with the examination instruction Z-IB/3-05 – Inspections of Metal and Alloy structures, edition V of 08.03.2010,*
- *hardness measurements by the Vickers method, HV 0.1, from the surface into the material, with the load force of 0.9807 N, in accordance with the standard PN-EN ISO 6507-1:2007 – Metals – Hardness measurement by the Vickers method – Part 1: Examination method by means of Micromet 204 (Wirtz-Buehler)*

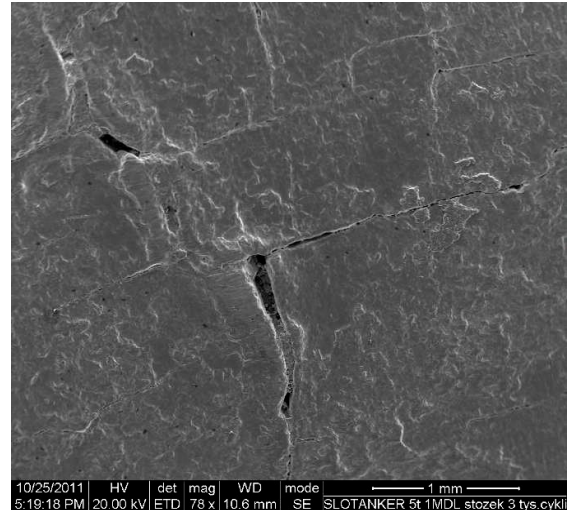
3. EXAMINATION RESULTS

3.1. Microscopic examination – SEM

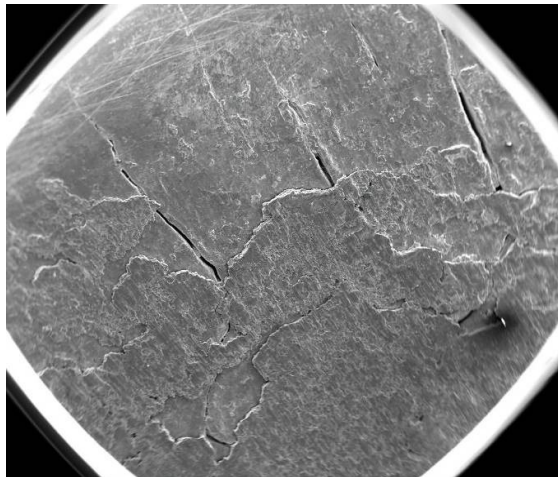
The results of SEM examinations are shown in fig. 2. On the working surface of Slotanker 5 t tools for forging the conical head of the anchor, there is a layer of oxides (found in the examination by means of the EDS x-ray microanalyser) in which cracks located along the radius are visible, as well as cracks of smaller thickness (in accordance with the direction of the scratches resulting from machining perpendicular to the tool radius).



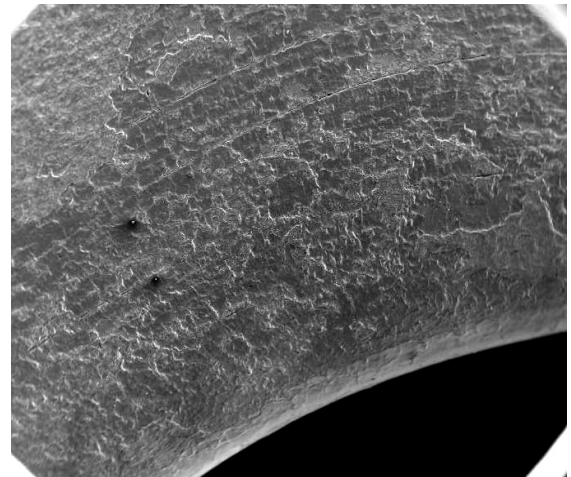
a) 3000 cykli – pęknięcia promieniowe w górnej części matrycy
a) 3000 cycles – radial cracks in the upper part of the die



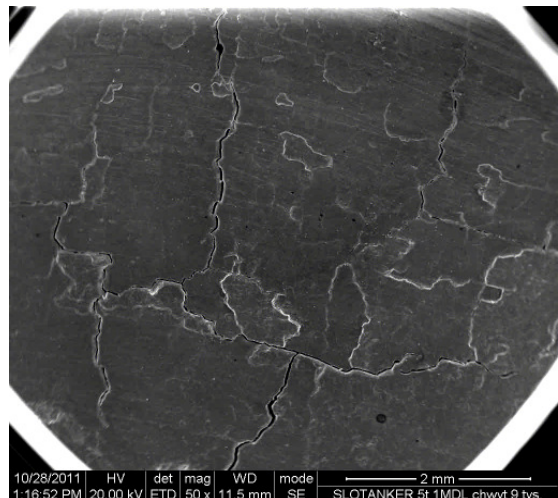
b) 3000 cykli – pęknięcia promieniowe i pęknięcia zgodne z kierunkiem rys
b) 3000 cycles – radial cracks and ones in accordance with the scratch direction



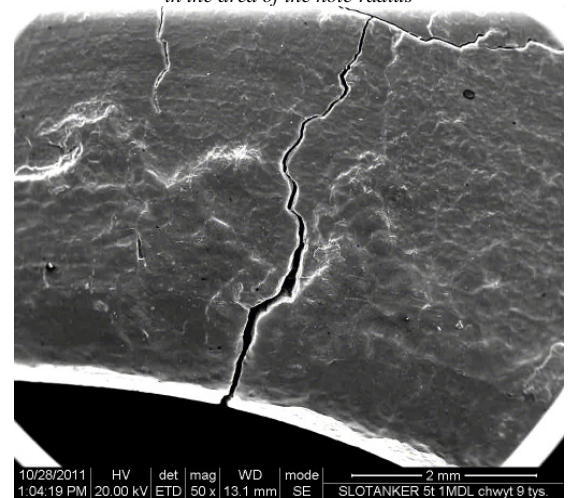
c) 6000 cykli – pęknięcia promieniowe w górnej części matrycy
c) 6000 cycles – radial cracks in the upper part of the die



d) 6000 cykli – pęknięcia zgodne z kierunkiem rys w obszarze promienia otworu
d) 6000 cycles – cracks in accordance with the scratch direction in the area of the hole radius



e) 9000 cykli – siatka pęknięć w górnej części matrycy
e) 9000 cycles – network of cracks in the upper part of the die



f) 9000 cykli – siatka pęknięć w obszarze promienia otworu
f) 9000 cycles – network of cracks in the hole radius area

Rys. 2. Powierzchnia matrycy dolnej Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego (a-d) i walcowego (e-f), SEM
Fig. 2. Surface of the lower Slotanker 5 t die for forging conical head (a-d) and cylindrical one (e-f), SEM

Większe nasilenie pęknięć zgodnych z kierunkiem rys stwierdzono na matrycach dolnych po 3000 cyklach pracy. Zwiększanie liczby wykonanych odkuwek do 6000 powoduje, że pęknięcia w miejscach rys wystąpiły w podobnym nasileniu w matrycach górnych i dolnych. Pęknięcia w kierunku promieniowym i pęknięcia zgodne z kierunkiem rys występują zarówno w warstwie tlenków, jak i w materiale narzędzi. Po 9000 cykli zaobserwowano w narzędziach do kucia łba walcowego zarówno bardzo duże nasilenie pęknięć w kierunku promieniowym, jak i kołowym (w postaci siatki) oraz występowanie szerokich pęknięć przy promieniu otworu. W obszarach tych zauważono również ślady wytarcia wskutek zużycia ściernego.

3.2. Badania mikroskopowe – mikroskop świetlny

Pomiary głębokości pęknięć i obserwację struktury prowadzono na 2 przekrojach badanych narzędzi Slotanker 5 t, jak na rys. 3. Przekrój A przedstawiał całą krawędź roboczą narzędzia, a przekrój B miejsce o największej gęstości pęknięć. Ze względu na podobny charakter pęknięć w matrycach górnych i dolnych, na rysunkach przedstawiono pęknięcia zaobserwowane jedynie w matrycach dolnych. Głębokość największych pęknięć na przekroju A matrycy górnej do kucia łba stożkowego zacze- pu po 3000 cykli wyniosła od 0,3 do 0,5 mm, a matrycy dolnej - po tej samej liczbie cykli, odpowiednio od 0,3 do 0,78 mm (rys. 4). Zwiększenie liczby cykli pracy do 6000 spowodowało zwiększenie maksymalnej głębokości pęknięć w przekroju A matrycy górnej do ok. 0,7 mm, a w matrycy dolnej do ok. 0,84 mm, przy czym zaobserwowano zwiększenie liczby pęknięć o głębokości w zakresie od 0,05 do 0,2 mm.

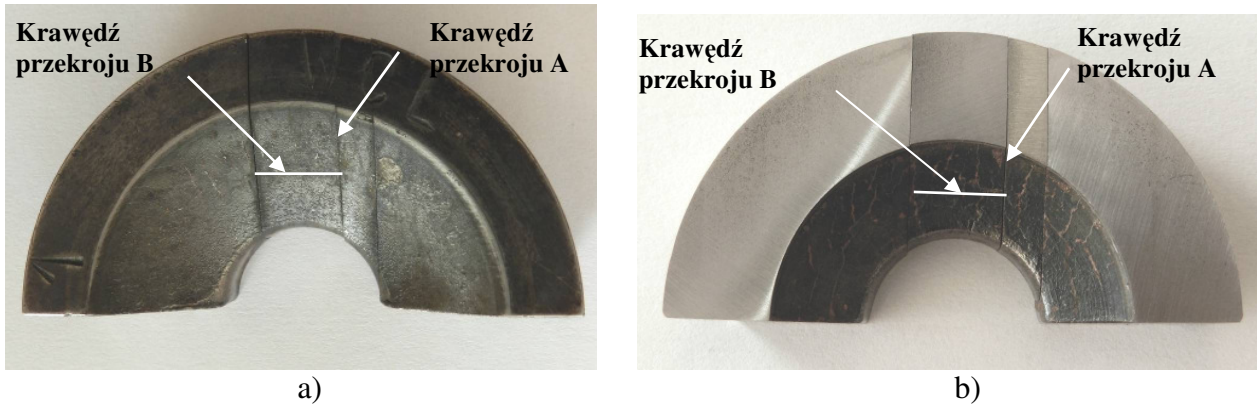
W przekrojach B narzędzi do kucia łba stożkowego po 3000 cykli pracy stwierdzono podobne nasilenie pęknięć, jak na przekrojach A (rys. 5). Maksymalna głębokość pęknięć w matrycy górnej na przekroju B wynosiła od ok. 0,38 do 0,76 mm, a w matrycy dolnej od ok. 0,4 do 0,84 mm.

More cracks in accordance with the scratch direction have been found on the lower dies after 3000 working cycles. Increase of the number of forgings up to 6000 made results in that the cracks in the location of scratches have appeared with similar intensity in the lower and upper dies. The cracks in the radial direction and the ones in accordance with the scratch direction appear both in the layer of oxides and in the tool material. After 9000 cycles high intensity of cracks in the radial and circular direction has been observed (in the form of a lattice); wide cracks and chip-pings have been found in the area of the hole radius. In the hole radius areas, too, traces of seizures due to abrasive wear have also been found.

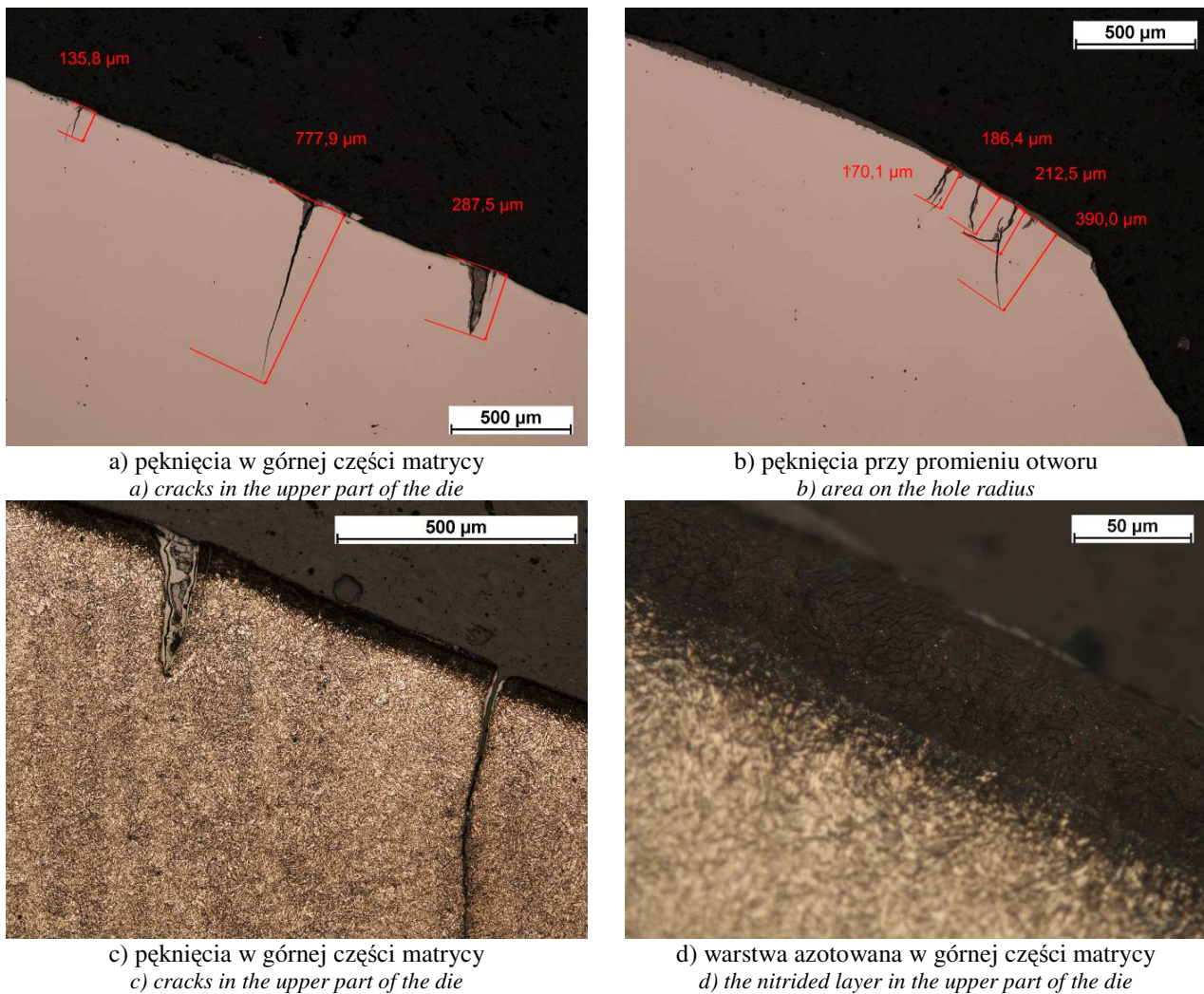
3.2. Microscopic examination – optical microscope

The measurements of crack depth and observation of structure has been effected on 2 sections of the Slotanker 5 t tools under examination as shown in fig. 3. Section A showed the whole working edge of the tool and section B – the location of the largest density of cracks. Due to the similar character of the cracks in the upper and lower dies, the figures show the cracks found in the lower dies. The depth of the biggest cracks in section A of the upper die for forging the conical head was 0.3 to 0.5 mm after 3000 cycles, in the lower die the depth was 0.3 to 0.78 mm respectively, after the same number of cycles (fig. 4). Increase of the number of cycles up to 6000 has resulted in the increase of the maximum crack depth up to about 0.7 mm in section A of the upper die, up to 0.84 mm in the lower die while the number of cracks with the depth of 0.05 to 0.2 mm has increased.

In sections B of the tools for forging conical heads, the intensity of cracks after 3000 working cycles was similar to that found in sections A (fig. 5). The maximum crack depth in the upper die section B was 0.38 to 0.76 mm and in the lower die from about 0.4 to 0.84 mm.

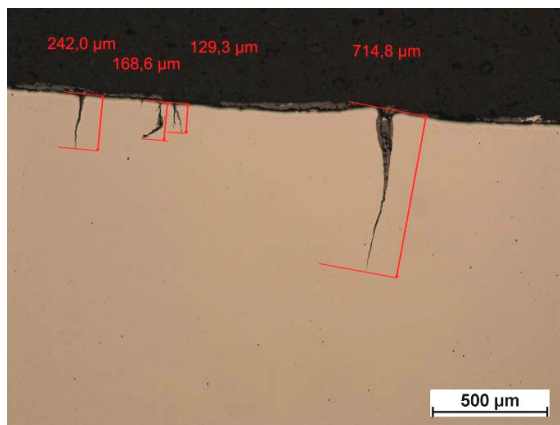


Rys. 3. Przykłady rozkroju matryc z zaznaczonymi miejscami obserwacji A i B: a) matryca górna Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego zaczepu, 3000 cykli, b) matryca górna Slotanker 5 t do kucia łba walcowego zaczepu, 9000 cykli
 Fig. 3. Examples of die sections with marked points of inspection: A and B: a) Slotanker 5 t upper die for forging conical anchor head, 3000 cycles, b) Slotanker 5 t upper die for forging cylindrical anchor head, 9000 cycles

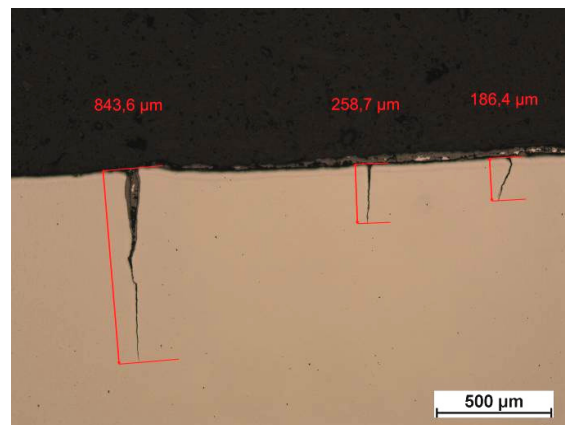


Rys. 4. Matryca dolna Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego, 3000 cykli, przekrój A; a, b – zgląd nietrawiony, c, d – po trawieniu

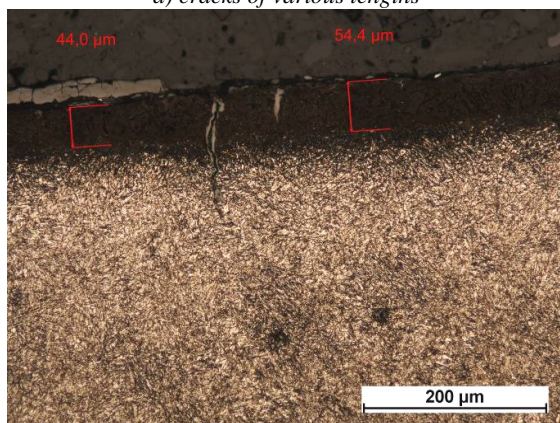
Fig. 4. Lower Slotanker 5 t die for forging conical heads, 3000 cycles, section A; a, b – not etched microsection, c, d – after etching



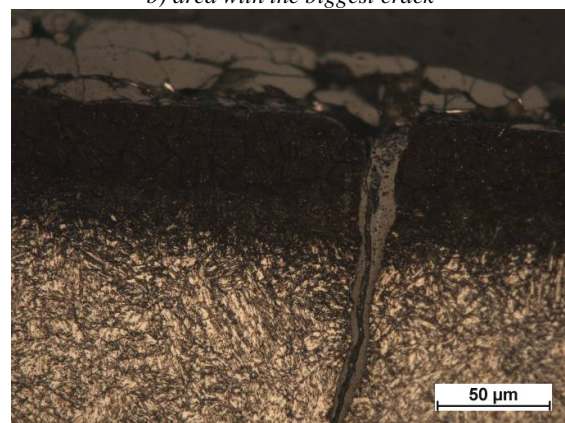
a) pęknięcia o zróżnicowanej długości
a) cracks of various lengths



b) obszar z największym pęknięciem
b) area with the biggest crack



c) pęknięcia w warstwie azotowanej o grubości ok. 0,05 mm
c) cracks in the 0.05 mm thick nitrided layer



d) obszar z pęknięciem wypełnionym tlenkami żelaza w warstwie azotowanej
d) area with a crack in the nitrided layer filled with iron oxides

Rys. 5. Matryca dolna Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego, 3000 cykli, przekrój B; a, b – zgląd nietrawiony, c, d – po trawieniu

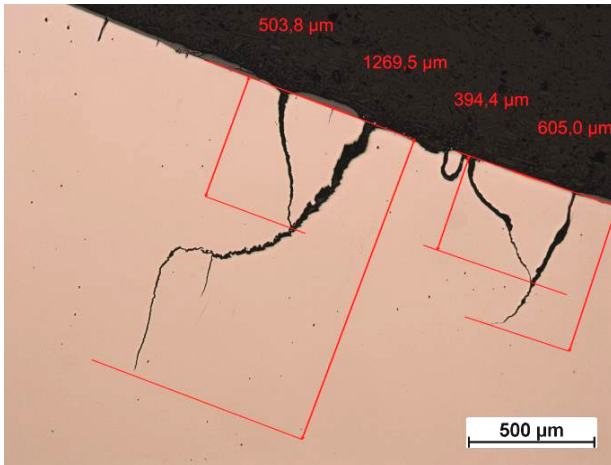
Fig. 5. Lower Slotanker 5 t die for forging conical heads, 3000 cycles, section B; a, b – not etched microsection, c, d – after etching

W matrycach do kucia łba stożkowego po 6000 cykli pracy zaobserwowano w przekrojach B zwiększenie szerokości oraz głębokości największych pęknięć, w porównaniu z przekrojami A. W przypadku matrycy górnej, po kuciu 6000 odkuwek, głębokość największych pęknięć wyniosła od ok. 0,53 do 1,0 mm, a w półmatrycy dolnej odpowiednio od ok. 0,47 do 1,2 mm.

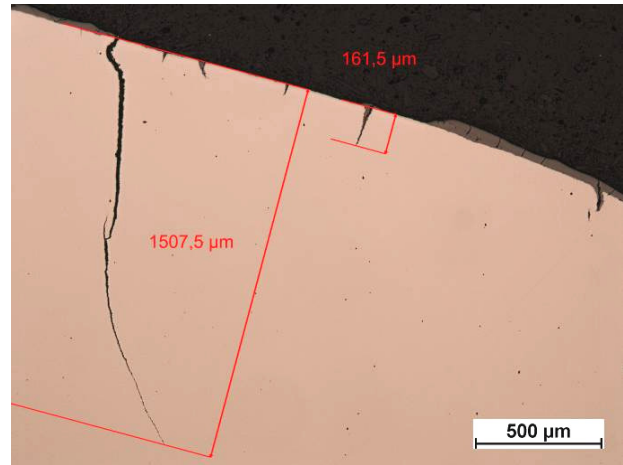
Największe pęknięcia na głębokości od powierzchni zaobserwowano w matrycach Slotanker 5 t do kucia łba walcowego po 9000 cyklach pracy (rys. 6 i 7). Narzędzia te w porównaniu z matrycami do kucia łba stożkowego podlegają większym obciążeniom. Przekroje A i B matrycy górnej do kucia łba walcowego charakteryzują się dużą licznnością pęknięć małych o głębokości od ok. 0,03 do 0,3 mm i dużych o głębokości w zakresie od ok. 0,7 do 1,1 mm.

In sections B of the conical head forging dies, after 6000 working cycles, increase of the biggest crack width and depth has been observed, as compared to sections A. In the case of the upper die, after 6000 forgings, the depth of biggest cracks was from about 0.53 to 1.0 mm and in the lower die from about 0.47 to 1.2 mm.

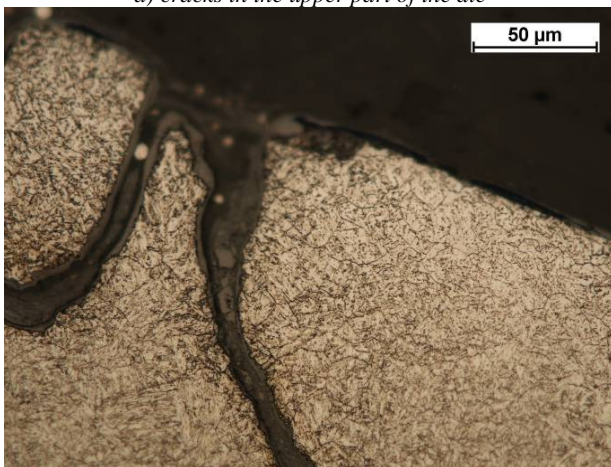
The biggest cracks at a depth from the surface were found in Slotanker 5 t dies for forging cylindrical heads after 9000 working cycles (fig.6 and 7). Those tools are subjected to larger loads as compared to the conical head forging ones. Sections A and B of the upper die for cylindrical head forging are characterized by numerous small cracks with the depth from 0.03 to 0.3 and big ones with the depth in the range of about 0.7 to 1.1 mm.



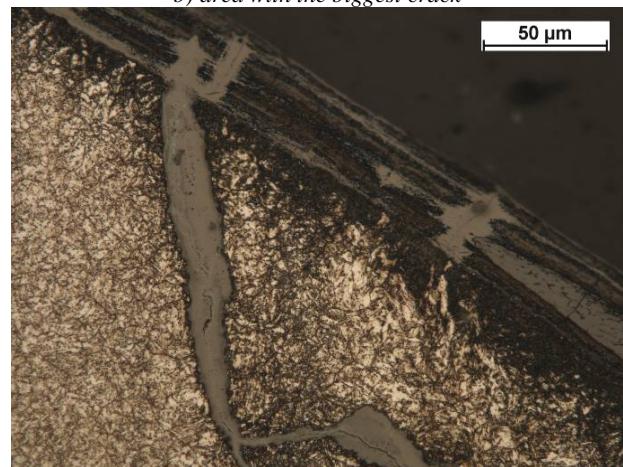
a) pęknięcia w górnej części matrycy
a) cracks in the upper part of the die



b) obszar z największym pęknięciem
b) area with the biggest crack



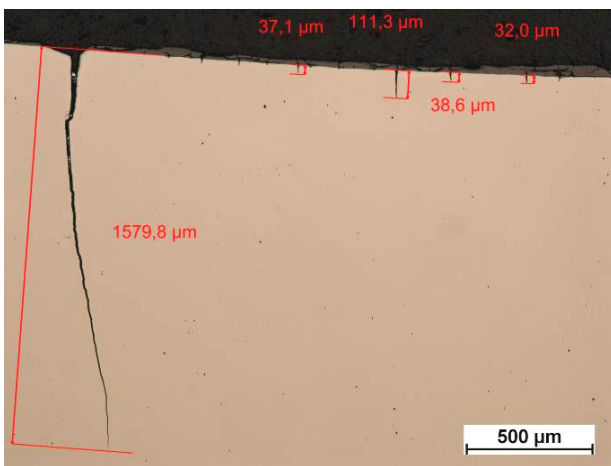
c) obszar w strefie przypowierzchniowej z pęknięciami wypełnionymi tlenkami żelaza
c) an area in the zone near the surface with cracks filled with iron oxides



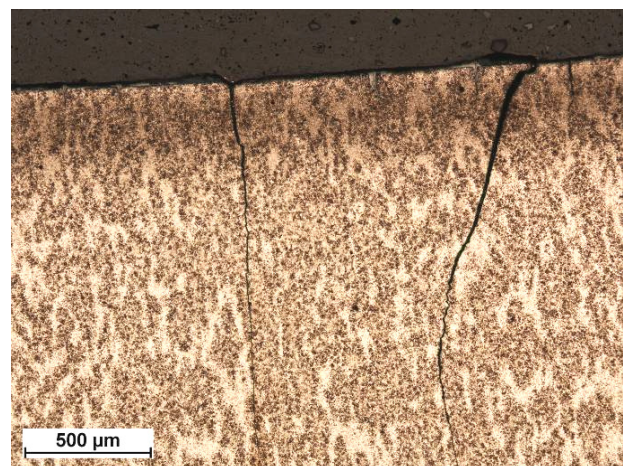
d) obszar na promieniu otworu; utleniona powierzchnia i pęknięcie wypełnione tlenkami żelaza
d) area on the hole radius; oxidized surface and a crack filled with iron oxides

Rys. 6. Matryca dolna Slotanker 5 t do kucia łba walcowego, 9000 cykli, przekrój A; a, b – zgląd nietrawiony, c, d – po trawieniu

Fig. 6. Lower Slotanker 5 t die for forging cylindrical heads, 9000 cycles, section A; a, b – not etched microsection, c, d – after etching



a)



b)

Rys. 7. Matryca dolna Slotanker 5 t do kucia łba walcowego, 9000 cykli, przekrój B, pęknięcia w strefie przypowierzchniowej; a – zgląd nietrawiony, b – po trawieniu

Fig. 7. Lower Slotanker 5 t die for forging cylindrical heads, 9000 cycles, section B, cracks in the zone near the surface; a – not etched microsection, b – after etching

W strukturze matryc górnej i dolnej Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego po 3000 cykli stwierdzono warstwę azotowaną o zmiennej grubości: ok. 0,12 mm w części płaskiej stykającej się ze stemplem, ok. 0,04÷0,05 mm w części o największej intensywności pęknięć i ok. 3÷5 μm w okolicy promienia otworu. W obszarach strefy dyfuzyjnej, która podlegała silnym obciążeniom i miała najdłuższy kontakt z kształtowanym materiałem zaobserwowano pęknięcia, niektóre wypełnione tlenkami (rys. 4 i 5). Zwiększenie cykli pracy do 6000 spowodowało wyraźne zmniejszenie grubości warstwy azotowanej z 0,11÷0,15 mm w części stykowej ze stemplem do jej zaniku w środkowych obszarach części stożkowej narzędzi górnych i dolnych. Trudno jest ustalić, czy jest to wynikiem zużycia ściernego, czy efektem różnego naazotowania matryc, ponieważ nie oceniano skutków azotowania jarzeniowego na matrycach przed eksploatacją.

Matryce górna i dolna Slotanker 5 t do kucia łba walcowego, które użytkowano 9000 cykli nie były azotowane (rys. 6 i 7). W strefach przypowierzchniowych narzędzi (o grubości 0,2÷0,37 mm) stwierdzono strefę odpuszczenia z pęknięciami wypełnionymi tlenkami.

3.3. Badania profili mikrotwardości

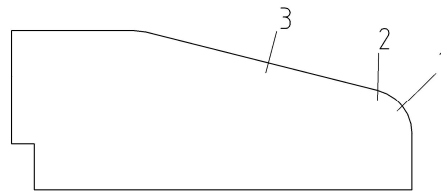
Profile twardości warstwy wierzchniej narzędzi Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego zaczepu po 3000 i 6000 cykli przedstawiono na rys. 8 i 9. Warstwa azotowana uległa odpuszczeniu po 3000 cykli, zarówno w przypadku matrycy dolnej, jak i górnej (rys. 8). Twardość przy powierzchni w środkowym obszarze roboczej powierzchni stożkowej wyniosła około 430 HV 0,1. W przypadku matrycy górnej (w analogicznym obszarze) stwierdzono twardość ok. 540 HV 0,1 (rys. 8a). Z rozkładu mikrotwardości wynika, że twardość matrycy dolnej była około 40 HV 0,1 niższa od twardości matrycy górnej, co wynika z dłuższego kontaktu powierzchni tego narzędzia z kształtowanym materiałem. Grubość strefy odpuszczenia na promieniu otworu i powierzchni stożkowej wyniosła około 0,4 mm, w obu matrycach.

In the structure of the upper and lower Slotanker 5 t dies for forging conical heads after 3000 cycles, a nitrided layer with various thickness has been found; the thickness was: about 0.12 mm in the flat part contacting the punch, about 0.04÷0.05 mm in the part of the largest crack intensity and about 3÷5 μm in the region of the hole radius. In the areas of the diffusion zone, which has undergone strong loads and had the longest contact with the material being formed, cracks have been observed, some of them filled with oxides (fig. 4 and 5). Increase of the number of working cycles up to 6000 has resulted in clear reduction of the nitrided layer from 0.11÷0.15 mm in the punch contacting part to its absence in the middle areas of the conical part of the upper and lower tools. It is hard to determine whether this is a result of abrasive wear or an effect of different nitriding degree of the dies because the glow discharge nitriding effects have not been assessed on the dies prior to exploitation. The upper and lower Slotanker 5 t dies for forging gripping heads having been used for 9000 cycles have not been nitrided (fig. 6 and 7). In the near surface zones of the tools (0.2÷0.37 mm thick) a zone of tempering has been found, with oxide filled cracks.

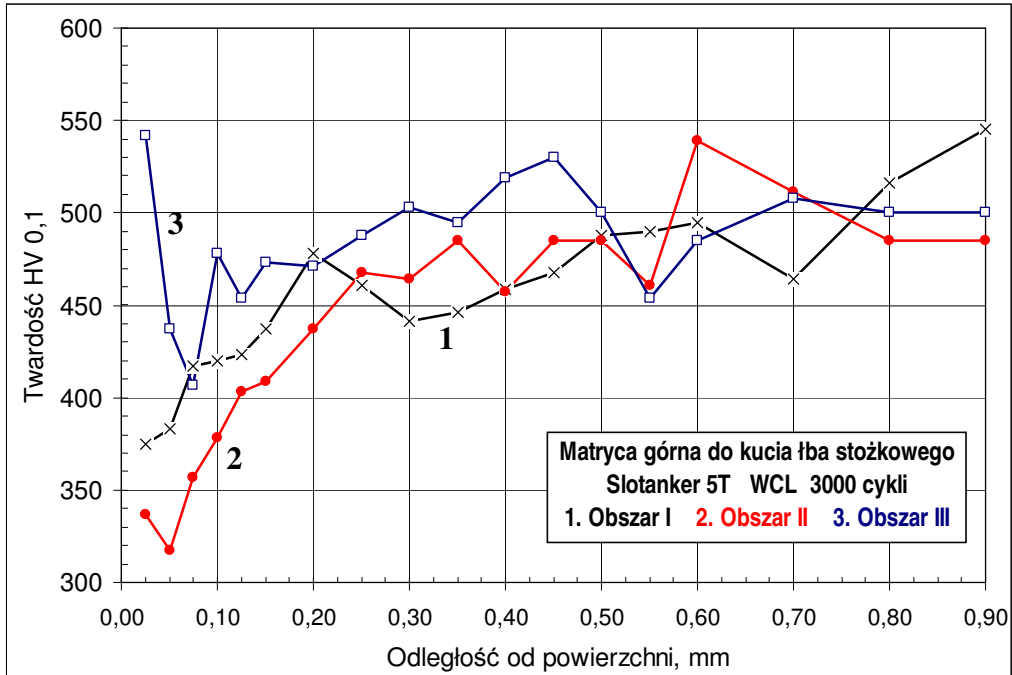
3.3. Examination of microhardness profiles

The hardness profiles of the top layer of Slotanker 5 t tools for forging conical heads of the anchors after 3000 and 6000 cycles can be seen in figs. 8 and 9. The nitrided layer has undergone tempering after 3000 cycles, both in the case of the upper and the lower die (fig. 8). The hardness near the surface in the middle area of the conical working surface was about 430 HV 0.1. In the case of the upper die (in an analogous area), hardness of about 540 HV 0.1 has been measured (fig. 8a). The microhardness distribution indicates that the hardness of the lower die was about 40 HV 0.1 lower than that of the upper one, which results from a longer contact of the tool with the material being formed. The thickness of the tempered zone of the hole radius area and on the conical surface was about 0.4 mm in both dies.

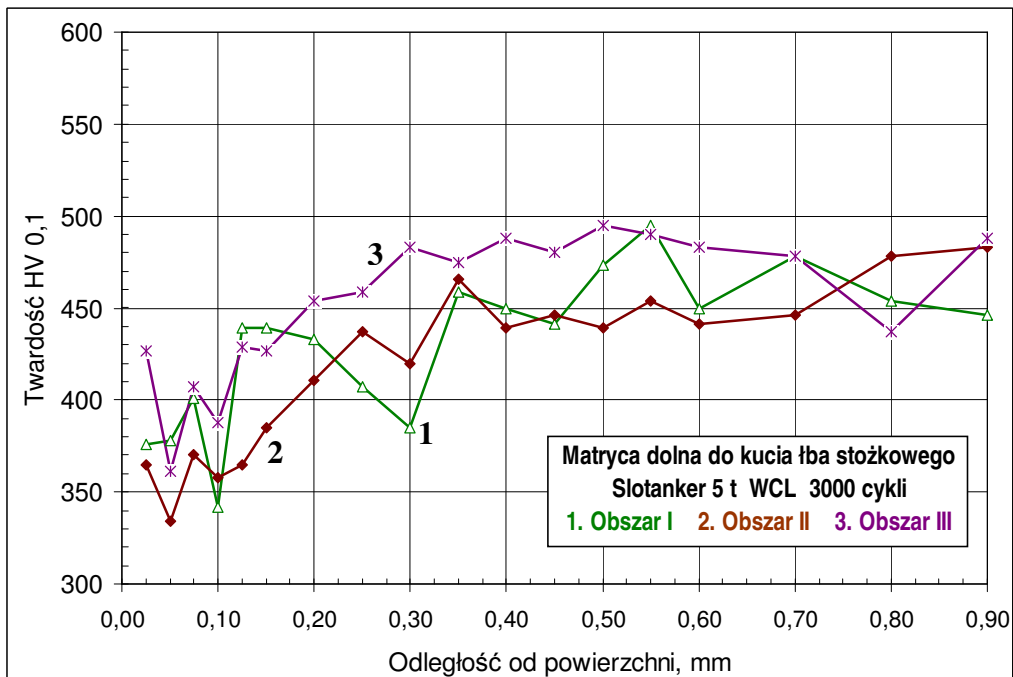
Przekrój A matrycy do kucia łba stożkowego



a)



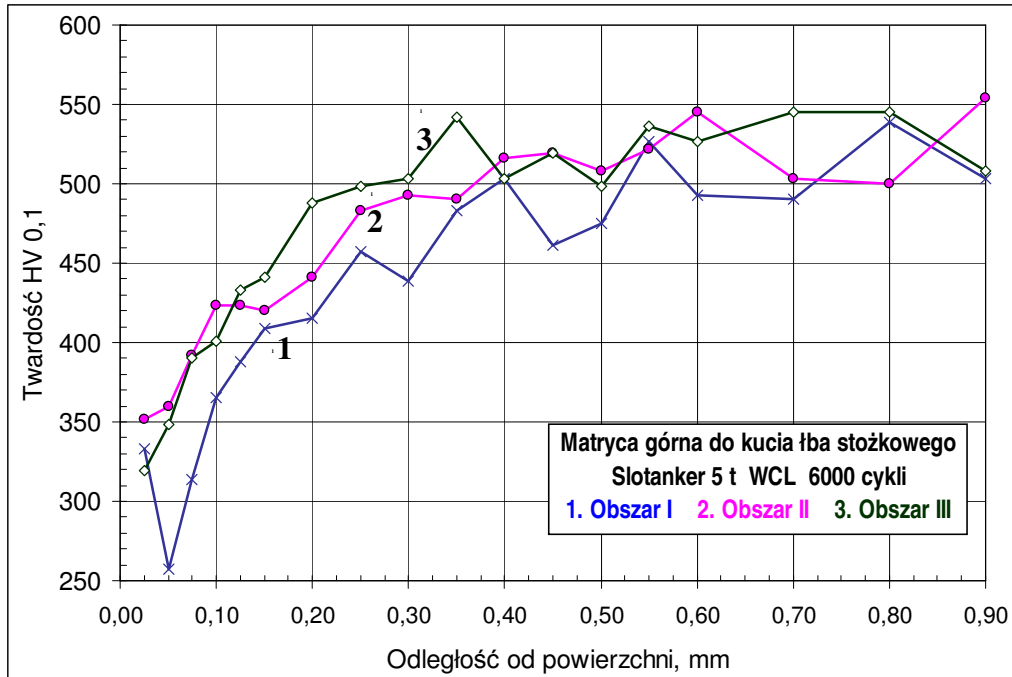
b)



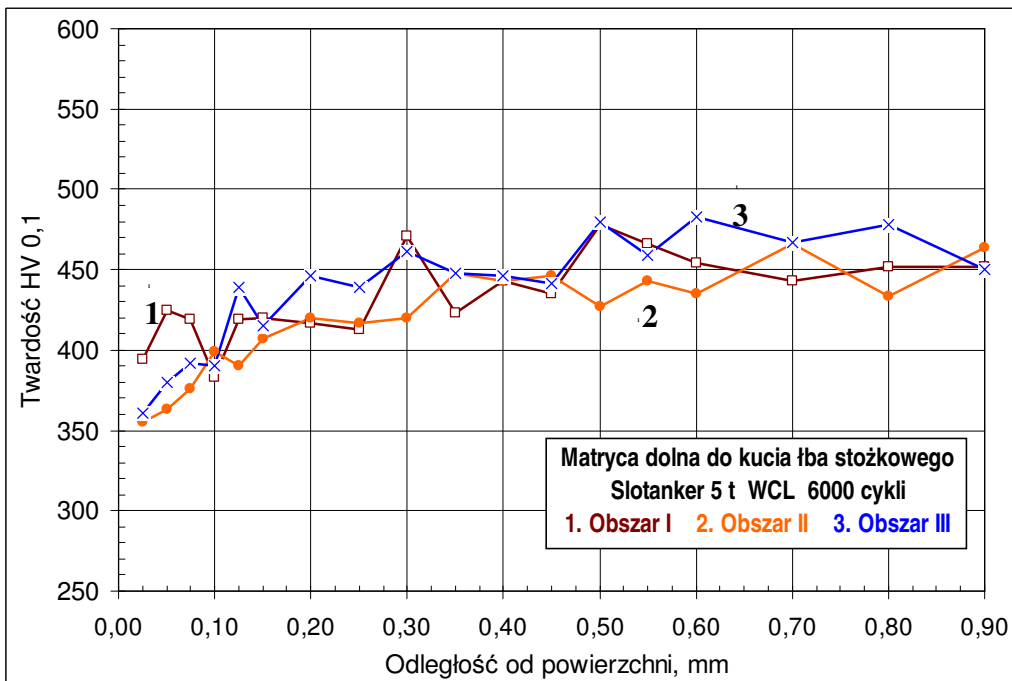
Rys. 8. Rozkłady twardości HV 0,1 na przekroju A matrycy górnej (a) i dolnej (b) Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego, 3000 cykli

Fig. 8. HV 0.1 hardness distributions on section A of the upper die (a) and the lower one (b), Slotanker 5 t for forging cylindrical heads, 3000 cycles

a)



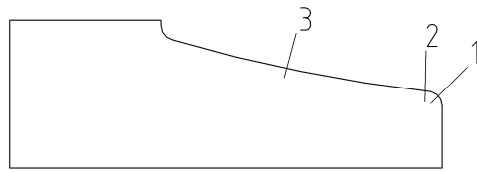
b)



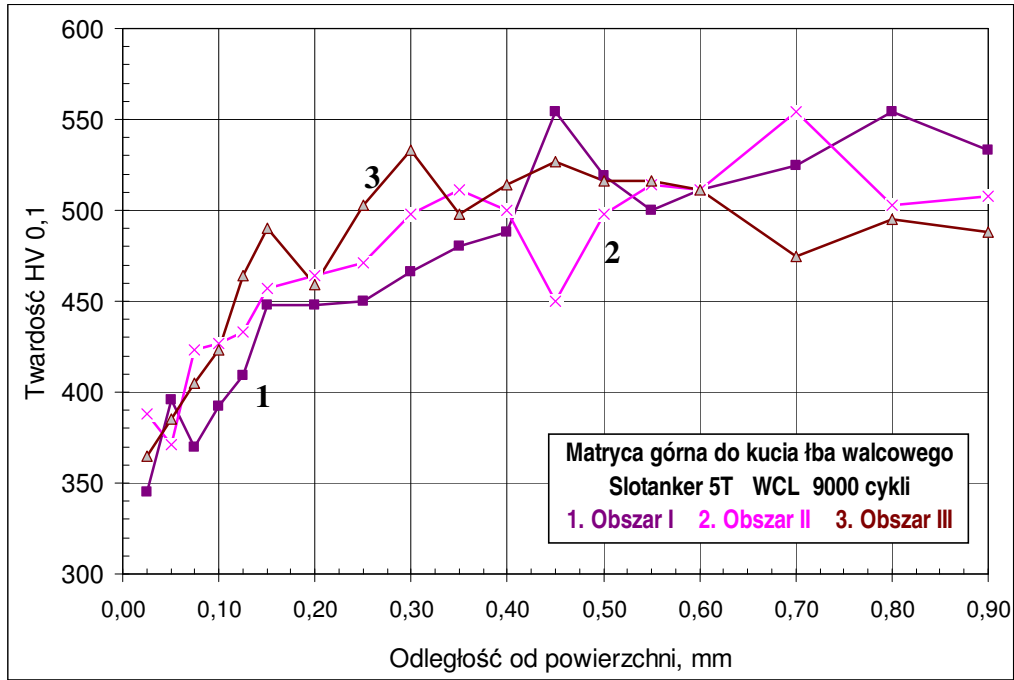
Rys. 9. Rozkłady twardości HV 0,1 na przekroju A matrycy górnej (a) i dolnej (b) Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego, 6000 cykli

Fig. 9. HV 0.1 hardness distributions on section A of the upper die (a) and the lower one (b), Slotanker 5 t for forging cylindrical heads, 6000 cycles

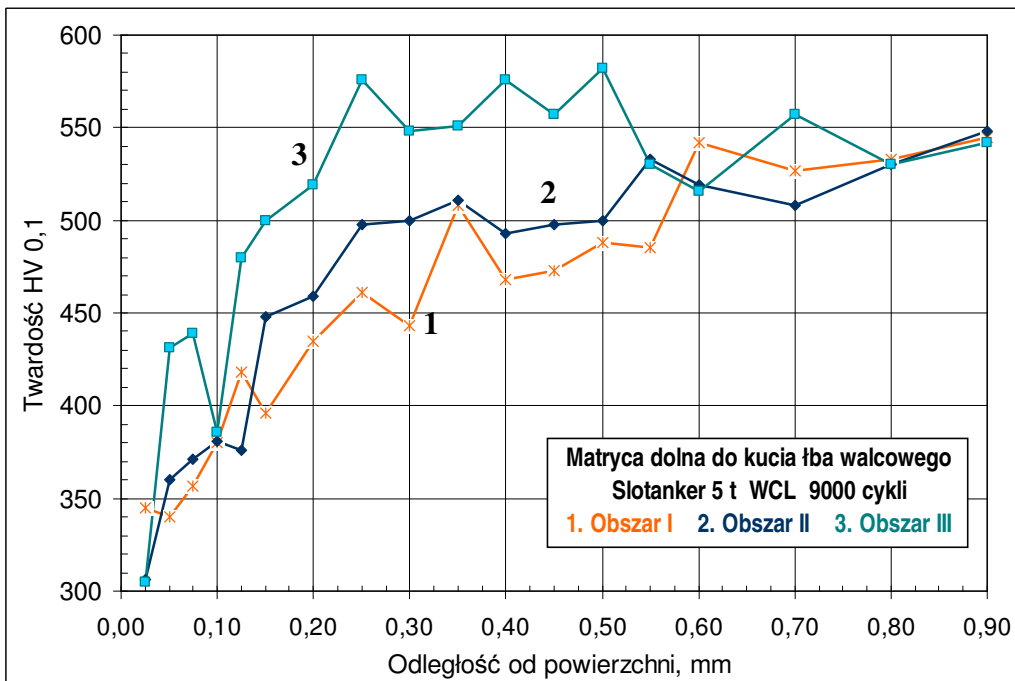
Przekrój A matrycy do kucia łba walcowego



a)



b)



Rys. 10. Rozkłady twardości HV 0,1 na przekroju A matrycy górnej (a) i dolnej (b) Slotanker 5 t do kucia łba walcowego, 9000 cykli

Fig. 10. HV 0.1 hardness distributions on section A of the upper Slotanker 5 t die for forging cylindrical heads (a) and of the lower one (b), 9000 cycles

Minimalna twardość wynosiła od 340÷370 HV 0,1. Zwiększenie liczby cykli pracy narzędzi Slotanker 5 t do 6000 powodowało dalsze odpuszczanie narzędzi w środkowych obszarach roboczych powierzchni stożkowych matryc górnej i dolnej (rys. 9). Różnica twardości między matrycą górną a dolną była na podobnym poziomie, jak dla narzędzi po 3000 cykli pracy. W strefach przy powierzchni matryc górnej i dolnej twardość wynosiła 320÷390 HV 0,1.

Wyniki badania twardości HV 0,1 na przekrojach narzędzi Slotanker 5 t do kucia łba walcowego po 9000 cykli pokazano na rys. 10. W strefach przypowierzchniowych w matrycy dolnej stwierdzono największy spadek twardości do 300÷350 HV 0,1, a w matrycy górnej twardość (w porównywalnych obszarach) wynosiła ok. 340÷390 HV 0,1. Grubość strefy odpuszczonej wyniosła ok. 0,5 mm.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy wyników badań metalograficznych narzędzi Slotanker 5 t do kucia łba stożkowego i walcowego zaczepów budowlanych stwierdzono, że istotnymi przyczynami powodującymi zużycie narzędzi są:

- powstawanie i rozwój pęknięć na powierzchniach roboczych wskutek odpuszczenia materiału w strefach wierzchnich narzędzi i oddziaływania zmiennych obciążeń mechanicznych,
- zużycie ściernie zaobserwowane przede wszystkim na promieniu otworu, zarówno w przypadku narzędzi azotowanych jarzeniowo (do kucia łba stożkowego - gdzie warstwa azotowana wynosiła ok. 5 mikrometrów w narzędziach po 3000 cykli pracy, a w narzędziach poddanych 6000 cykli nie zaobserwowano jej wcale), jak i narzędzi nie poddanych azotowaniu (do kucia łba walcowego). W obszarze tym nastąpił największy spadek twardości materiału narzędzia (rys. 7÷9) wskutek odpuszczenia warstwy wierzchniej.

The minimum hardness was 340÷370 HV 0.1. Increasing the number of working cycles of the Slotanker 5 t tools up to 6000 has resulted in further tempering of the tools in the middle areas of the working surfaces of the upper and lower die (fig. 9). The difference of hardness between the upper and the lower die was at a similar level as for the tools after 3000 working cycles. In the zones near the surface of the upper and lower dies, the hardness was 320÷390 HV 0.1.

The results of HV 0.1 hardness examination on the sections of Slotanker 5 t tools for forging cylindrical heads after 9000 cycles can be found in fig. 10. In the zones near the surface of the lower die, the largest drop of hardness (down to 300÷350 HV 0.1) has been observed while the hardness of the comparable areas of the upper die was about 340÷390 HV 0.1. The thickness of the tempered zone was about 0.5 mm.

4. SUMMARY

Basing on the analysis of the metallographic examination of the Slotanker 5 t tools for forging conical and cylindrical heads of the building anchors, it has been determined that significant factors causing tool wear are:

- *formation and development of cracks on the working surfaces due to material tempering in the top zones of the tools and to the influence of variable mechanical loads,*
- *abrasive wear observed, first of all, on the hole radius, both in the case of glow discharge nitrided tools (for forging conical heads, where the nitrided layer was about 5 micrometers thick in tools after 3000 working cycles and was absent on those after 6000 cycles), and in the case of tools not subjected to nitriding (for forging cylindrical heads). In that area the largest drop of the tool material hardness has taken place (fig. 7÷9) due to tempering of the top layer.*

Badania procesów zużycia narzędzi do kucia łbów zaczepów budowlanych na gorąco powinny być kontynuowane przy wprowadzeniu następujących zmian w technologii wykonania narzędzi:

- zastosowanie jako materiału badawczego stali narzędziowej do pracy na gorąco typu WCLV poddanej procesowi przetopienia łukowego w próżni lub przetopienia elektrożużlowego,
- przeprowadzenie obróbki cieplnej narzędzi w warunkach zapewniających założoną twardość,
- polerowanie dokładne powierzchni roboczych narzędzi po obróbce cieplnej,
- wykonanie skanowania (pomiaru wymiarów geometrycznych) narzędzi przed procesem kucia,
- eksploataowanie kompletu narzędzi (matryca i stempel) do kucia łba stożkowego oraz kołnierza zaczepu do 2000 i 4000 cykli,
- wykonanie skanowania narzędzi po eksploatacji w ustalonych cyklach pracy w celu określenia obszarów o największym stopniu zużycia na podstawie zmian geometrycznych narzędzi,
- wykonanie badań metalograficznych w obszarach o najmniejszym i największym stopniu zużycia i na ich podstawie przeprowadzenie oceny procesów zużycia.

Artykuł opracowano przy wykorzystaniu wyników badań pracy statutowej BB 901 83 03 pt. Badania technologii wytwarzania wyrobów metodami obróbki plastycznej i metalurgii proszków, badanie ich właściwości oraz narzędzi do ich produkcji. Zad. Analiza mechanizmów zużycia narzędzi do obróbki plastycznej na gorąco i ich ocena metalograficzna.

Investigation of the process of wear of the tools for hot forging building anchor heads should be carried on with the introduction of the following tool execution technology changes:

- *application of hot working tool steel type WCLV subjected to the process of arc remelting in vacuum or electroslag remelting as the test material,*
- *heat treatment of the tools in conditions ensuring the desired hardness,*
- *precision polishing of the tool working surfaces after heat treatment,*
- *execution of tool scanning (measurement of geometrical dimensions) prior to the forging process,*
- *exploitation of the tool set (die and punch) for forging the conic head and anchor flange up to 2000 and 4000 cycles,*
- *scanning of the tools after exploitation in the predetermined working cycles in order to find the areas of the most wear basing on the geometrical changes of the tools,*
- *execution of metallographic examinations in the areas of the most and the least wear and assessment of the wear process on their basis.*

The paper has been written using the investigation results of statute work BB 901 83 03, entitled: Investigation of the technology of product manufacturing by the methods of metal forming and powder metallurgy, examination of their properties and tools for their production. Task. Analysis of the wear mechanisms of hot metal forming tools and metallographic assessment of them.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Heinemeyer D.: Gensekschäden und Einflussgrößen der Standmenge. *Industrieanzeiger* 100 (1978) 73.
- [2] Ziólkiewicz S., Pachutko B., Szkudelski S., Gronostajski Z.: Mechanizmy zużycia narzędzi kuzniczych. Materiały Konferencji “Advanced technologies for forming tool life improvement”, Poznań – Opalenica, 6-8.02.2012, s. 95-107, 12 rys.
- [3] Dobrzański L., Hajduczek E., Marciniak J., Nowosielski R.: *Metaloznawstwo i obróbka cieplna materiałów narzędziowych*. WNT Warszawa 1990.
- [4] Gronostajski Z., Zwierzchowski M., Kaszuba M.: Zużycie matryc do kucia na gorąco odkuwki koła czołowego. *Rudy i Metale Nieżelazne* 2011 R. 56 nr 11.
- [5] Barrau O., Boher C., Gras R., Rezai-Aria F.: Analysis of the friction and wear behaviour of hot work tool steel for forging. *Wear* 255 (2003).