

Dr inż. Stanisław ZIÓŁKIEWICZ, mgr inż. Izabela CZARTORYSKA, Waldemar GRONOWSKI
mgr inż. Bogusław CZARTORYSKI, mgr inż. Maria GAŚIORKIEWICZ
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Badania żywotności narzędzi do obciskania końcówek rur gorąco walcowanych

Investigation of tool life in reducing hot rolled tube ends

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych narzędzi do obciskania końcówek rur. Badano narzędzia ze stali narzędziowych i węglików spiekanych. Stwierdzono wyraźny wzrost trwałości po zastosowaniu narzędzi z węglików. Dominującym mechanizmem zużycia narzędzi jest ścieranie. Badania wykazały, że korzystniejsze jest zastosowanie węglików twardszych gatunku G40 niż węglików bardziej elastycznych gatunku G50.

Abstract

The paper presents the results service investigation of tube end reducing tools. The tools under investigation had been made of tool steels and sintered carbides. It has been found that the tool life significantly increases when carbide tools are applied. The prevailing mechanism of tool wear is abrasion. The investigation has shown that the application of harder carbides of grade G40 is more advantageous than the more elastic carbides of grade G50.

Słowa kluczowe: końcówka rury, obciskanie, narzędzie do obciskania, trwałość

Key words: tube end, reducing, reducing tool, durability

1. WSTĘP

W Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu zaprojektowano i wykonano dwa urządzenia typu UG002/THC17, umożliwiające obciskanie końcówek rur o średnicach $\phi 38,1$ mm i $\phi 48,3$ mm (rys. 1) oraz typu UR285/THC19 do obciskania końca rury o średnicy $\phi 76$ mm [1].

1. INTRODUCTION

The Metal Forming Institute in Poznan has designed and executed two devices type UG002/THC17 enabling tube ends with diameters of $\Phi 38.1$ mm and $\Phi 48.3$ mm to be reduced (fig. 1) and type UR285/THC19 enabling tube ends of diameter $\Phi 76$ mm to be reduced [1].



Rys. 1. Gniazdo typu UG 002/THC17 do obciskania końcówek rur

Fig. 1. Work centre type UG 002/THC17 for reducing tube ends

Do kształtowania końcówek rur ze stali gatunku S275JOH o średnicy $\Phi 38,1 \times 3,2$ mm i długości 2000 mm zastosowano następujący proces technologiczny:

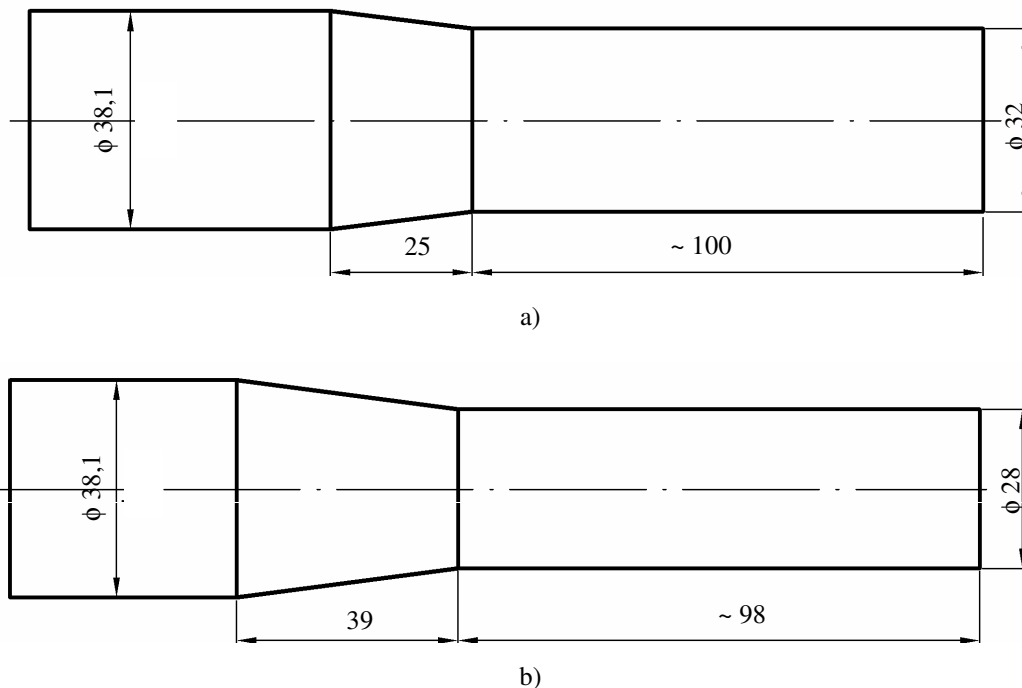
Operacja I:

- a) **zabieg nr 1** – redukcja średnicy z $\Phi 38$ mm na średnicę $\Phi 32$ mm (rys. 2a),
 b) **zabieg nr 2** – redukcja średnicy z $\Phi 32$ mm na średnicę $\Phi 28$ mm (rys. 2b).

Forming of tube ends made of steel grade S275JOH with the diameter of $\Phi 38.1 \times 3.2$ mm and the length of 2000 mm has been effected by the following technological process:

Operation I:

- a) **step no.1** – reducing the diameter from $\Phi 38$ mm to $\Phi 32$ mm (fig. 2a),
 b) **step no. 2** – reducing the diameter from $\Phi 32$ mm to $\Phi 28$ mm (fig. 2b).



Rys. 2. Kształt końcówek rur po kształtowaniu w operacji I: a) końcówka rury po operacji I zabiegu nr 1, b) końcówka rury po operacji I zabiegu nr 2

Fig. 2. The shape of the tube ends after reducing in operation I: a) tube end after operation I step no. 1, b) tube end after operation I step no. 2

Operacja II:

- a) **zabieg nr 3** – redukcja średnicy z $\Phi 28$ mm na sześciokąt 23,5 mm (rys. 3a),
 b) **zabieg nr 4** – redukcja sześciokąta 23,5 mm na sześciokąt $22,23_{-0,13}$ mm, (rys. 3b).

Operation II:

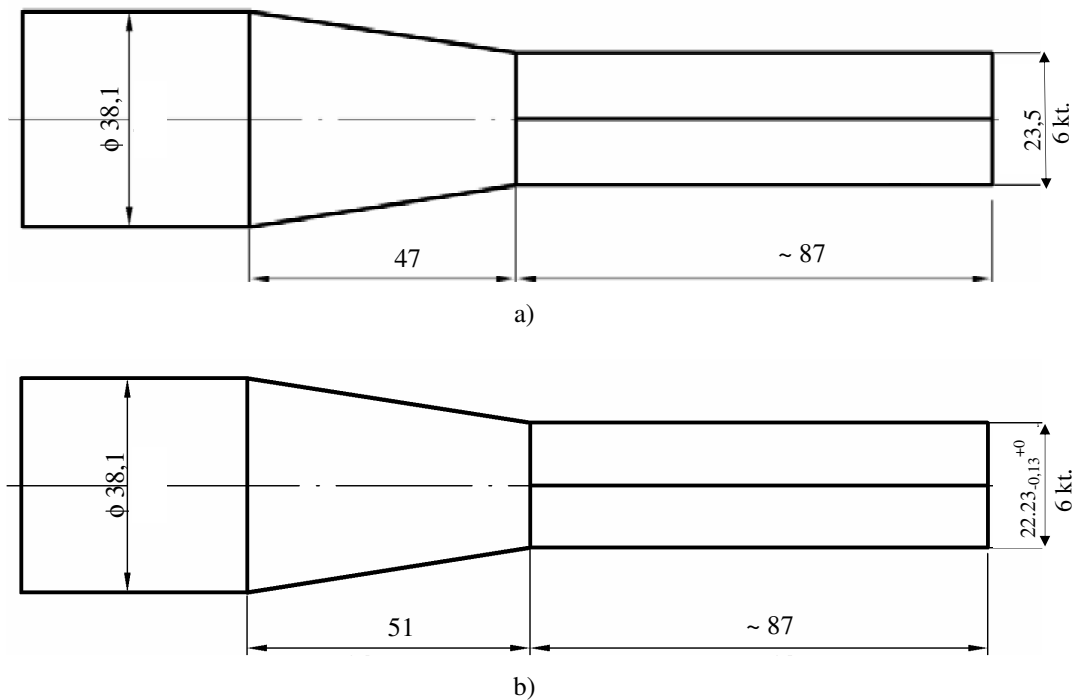
- a) **step no. 3** – reducing the diameter from $\Phi 28$ mm to hexagon 23.5 mm (fig. 3a),
 b) **step no. 4** – reducing the hexagon 23.5 mm to hexagon $22.23_{-0.13}$ mm (fig. 3b).

Na rys. 4 pokazano końcówki rur ukształtowane w poszczególnych zabiegach.

Podczas eksploatacji wystąpiły problemy związane z szybkim zużywaniem się powierzchni roboczych narzędzi na skutek adhezji materiału kształtowanego oraz ścierania powierzchni stożkowych.

In Fig. 4 one can see tube ends formed in the specific steps.

During service, certain tool problem related to quick wear of the working surfaces as a result of the formed material adhesion and abrasion of the conical surfaces have appeared.



Rys. 3. Kształt końcówek rur po kształtowaniu w operacji II: a) końcówka rury po operacji II zabiegu nr 3, b) końcówka rury w operacji II zabiegu nr 4

Fig. 3. The shape of tube ends after forming in operation II: a) tube end after operation II, step no. 3, b) tube end after operation II, step no. 4



Rys. 4. Końcówki rury po kolejnych czterech zabiegach redukcji

Fig. 4. Tube ends after four subsequent reduction steps

Na skutek uszkodzeń narzędzi wzrastała siła kształtowania powodująca utratę stateczności rury poza strefą kształtowania.

Celem obniżenia nacisków jednostkowych w procesie technologicznym zastosowano wygrzewanie międzyoperacyjne końca rury po drugim zabiegu.

Due to the tool damages the forming force increased resulting in the loss of the tube stability beyond the zone of forming.

In order to reduce the unit pressures in the technological process, interoperation soaking of the tube end after the second step has been applied.

Spowodowało to obniżenie twardości materiału i zmniejszenie sił procesu o 20%. Do smarowania rur stosowano smar olejowy NEUTOL 1333 firmy MOLYDAL.

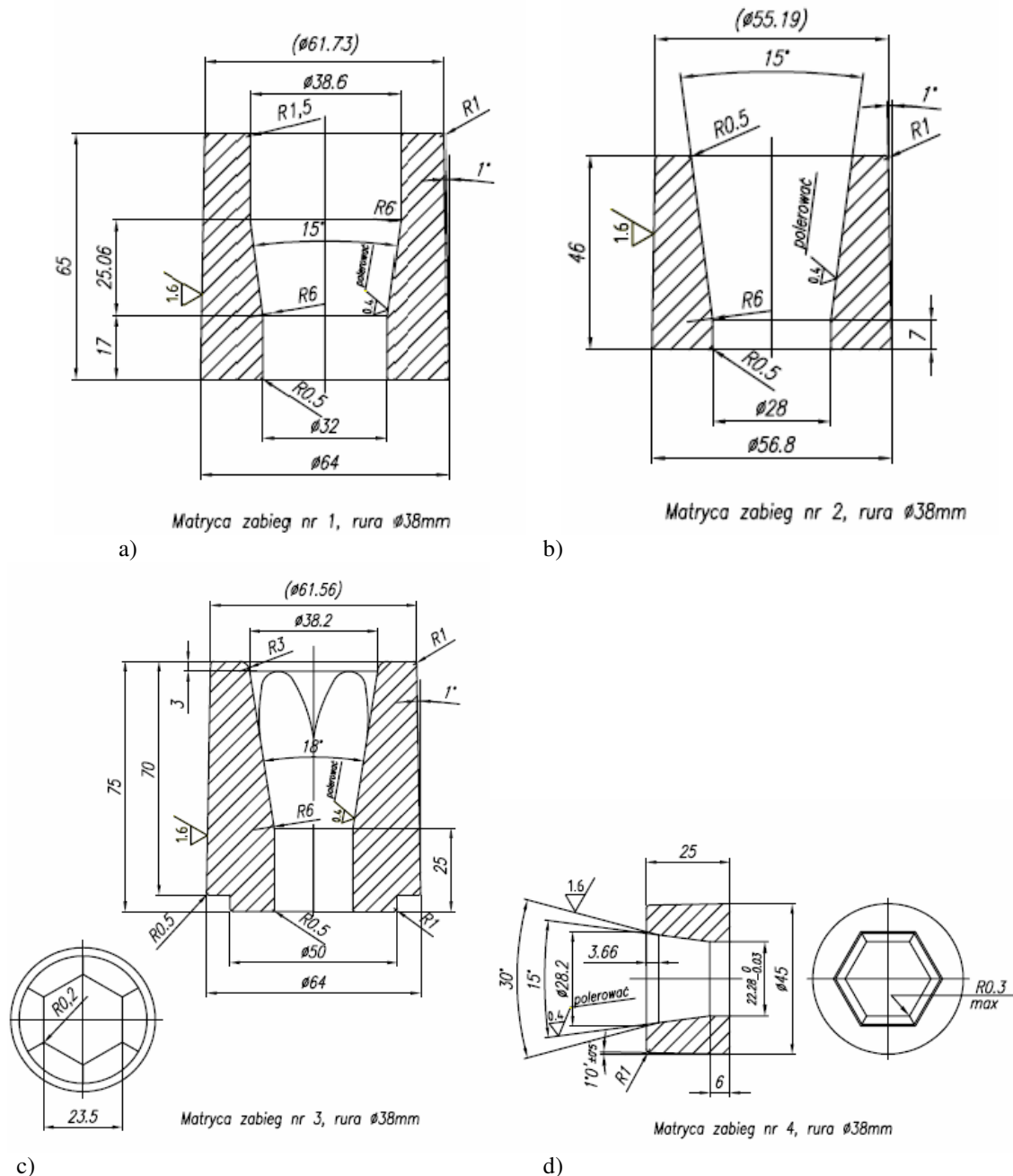
This has caused a drop of the material hardness and a reduction of the process forces by 20%. The tubes were lubricated with oil grease named NEUTOL 1333 made by MOLYDAL.

2. MATRYCE DO KSZTAŁTOWANIA RUR O ŚREDNICY $\phi 38,1$ mm

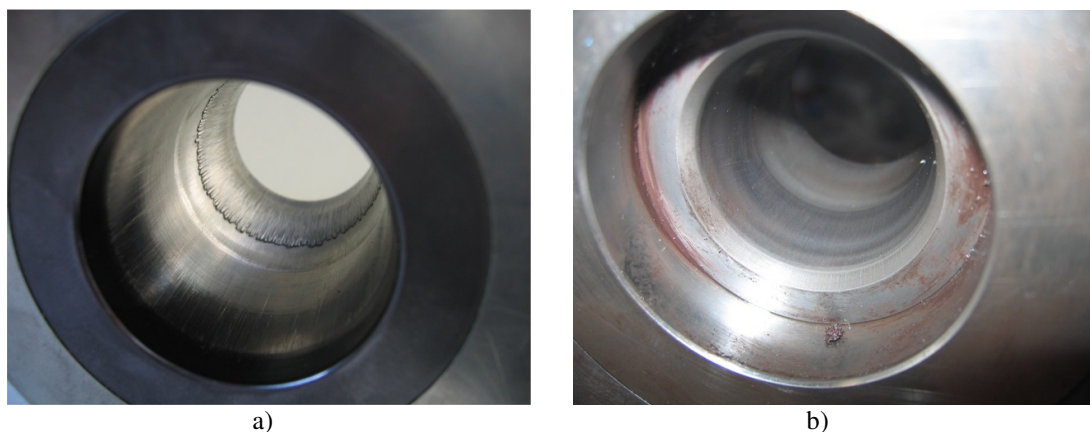
Matryce do kształtowania końcówek rur o średnicy $\phi 38,1$ mm do poszczególnych zabiegów kształtowania pokazano na rys. 5.

2. DIES FOR FORMING TUBES WITH THE DIAMETER OF $\Phi 38.1$ mm

The dies for forming tube ends with $\Phi 38.1$ mm are shown in fig. 5.



Rys. 5. Narzędzia dla kształtowania rur o średnicy $\phi 38$ mm: a) zabieg nr 1, b) zabieg nr 2, c) zabieg nr 3, d) zabieg nr 4
 Fig. 5. Tools for forming tubes with $\Phi 38.1$ mm: a) step no. 1, b) step no. 2, c) step no. 3, d) step no. 4



Rys. 6. Matryce do zabiegu nr 1: a) matryca ze stali SW7M po ok. 10 000 cykli, b) matryca z węglika G40 po ok. 30 000 cykli

Fig. 6. Dies for step no. 1: a) SW7M steel die after about 10 000 cycle, b) G40 carbide die after about 30 000 cycles

Na rysunku 6 pokazano narzędzia po zabiegu nr 1. Matryca (rys. 6a) wykonana została ze stali narzędziowej SW7M o twardości 65 HRC, pokryta powłoką BALINIT FUTURA NANO TOP firmy OERLIKON BALZERS COATING. Wysokie obciążenie matrycy w procesie obciskania oraz brak odpowiedniego smarowania spowodowało powstanie rys wzdłużnych o głębokości ok. 0,7 mm. Dalsza eksploatacja matrycy powodowała adhezyjne łączenie materiału obrabianego z materiałem narzędzia i gwałtowny wzrost sił obciskania, co było bezpośrednią przyczyną wycofania matrycy z cyklu produkcyjnego już po wykonaniu ok. 10 000 cykli roboczych.

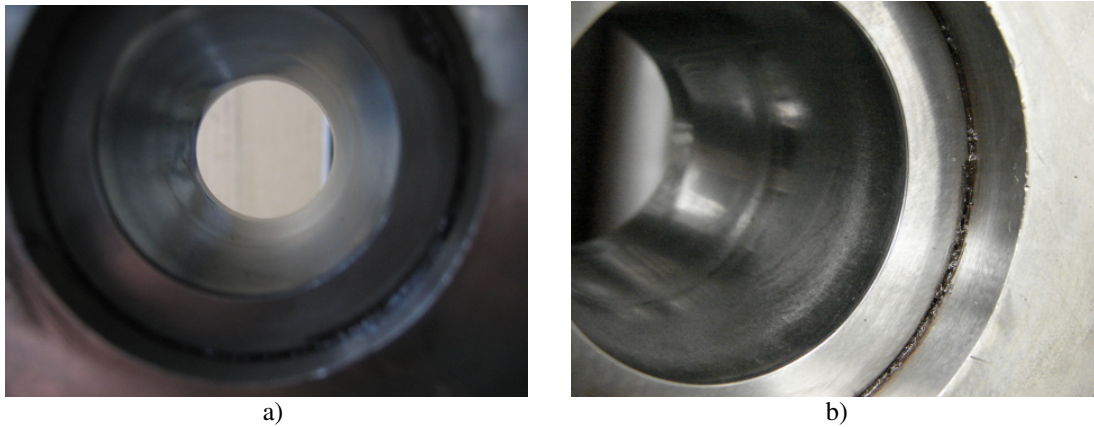
Nowa matryca wykonana została z węglika gat. G40. Na rys. 6b pokazano stan powierzchni roboczych po wykonaniu 30 000 cykli roboczych. Nie stwierdzono wyraźnych uszkodzeń z wyjątkiem drobnych rys wzdłużnych, które usunięto w procesie polerowania.

Na rysunku 7 pokazano matryce do zabiegu nr 2. Matryca na rys. 7a została wykonana ze stali narzędziowej SW7M i pokryta powłoką BALINIT FUTURA NANO TOP firmy OERLIKON BALZERS COATING. Na skutek zatarcia powierzchni roboczej, matryca została zregenerowana poprzez szlifowanie powierzchni roboczej. Spowodowało to powiększenie średnicy redukcyjnej matrycy powyżej górnej granicy tolerancji i jej wycofanie z produkcji po wykonaniu ok. 10 000 cykli roboczych. Nową matrycę wykonano z węglika gat. G40. Matryca po 30 000 cykli roboczych (rys. 7b) nie wykazała oznak zużycia, a powstałe drobne rysy usuwano podczas polerowania.

Figure 6 shows the tools after step no. 1. The die (fig. 6a) has been made of tool steel grade SW7M with the hardness of 65 HRC covered with a BALINIT FUTURA NANO TOP coating made by OERLIKON BALZERS COATING. The high load of the die in the process of reducing and the lack of adequate lubrication has caused the formation of longitudinal scratches with a depth of about 0.7 mm. Further usage of the die caused adhesion bonding of the material being processed with to that of the tool and rapid increase of the reducing forces, due to which the die had to be discarded after about 10 000 working cycles.

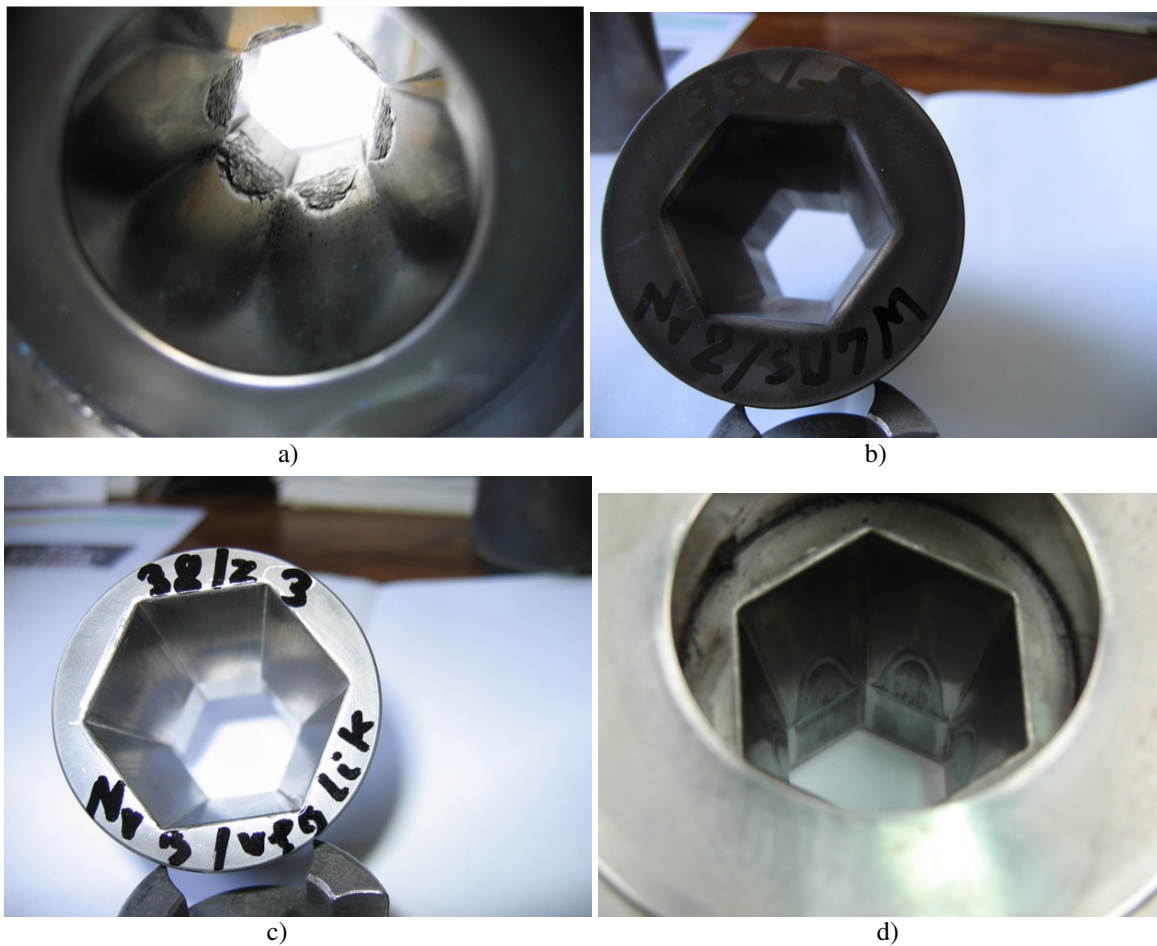
The new die has been made of carbide grade G40. Fig. 6b shows the condition of the working surfaces after 30 000 working cycles. No apparent damages have been found except some minor longitudinal scratches which have been removed in a process of polishing.

Fig. 7 shows dies for step no. 2. The die in fig. 7a has been made of SW7M tool steel and covered with BALINIT FUTURA NANO TOP of OERLIKON BALZERS COATING. Due to a seizure of the working surface, the die has been regenerated by grinding of the working surface. This has resulted in an enlargement of the die reduction diameter beyond the upper tolerance limit and its discarding after about 10 000 working cycles. A new die has been made of carbide grade G40. The die has not shown symptoms of wear after 30 000 cycles (fig. 7b); the small scratches have been removed by polishing.



Rys. 7. Matryce do zabiegu nr 2: a) matryca ze stali SW7M po ok. 10 000 cyklach; b) matryca z węglika G40 po ok. 30 000 cyklach

Fig. 7. Dies for step no. 2: a) SW7M steel die after about 10 000 cycles; b) G40 carbide die after about 30 000 cycles



Rys. 8. Matryce do zabiegu nr 3: a) matryca ze stali SW7M po ok. 12 000 cyklach, b) matryca ze stali SW7M po regeneracji, c) matryca z węglika G50 przed produkcją, d) matryca z węglika G50 po ok. 20 000 cyklach

Fig. 8. Dies for step no. 3: a) SW7M steel die after about 12 000 cycle, b) SW7M steel die after regeneration, c) G50 carbide die prior to production, d) G50 carbide die after about 20 000 cycles

Matryca do zabiegu nr 3 przenosi znaczne obciążenie wynikające z przeformowywania materiału z przekroju okrągłego na sześciokąt. Pierwsza matryca wykonana została ze stali szybko tnącej SW7M i azotowana jonowo na powierzchni roboczej. Na rys. 8a pokazano matrycę po wykonaniu 12 000 cykli roboczych. Widoczne uszkodzenia w postaci wykruszeń i plastycznego odkształcenia powierzchni roboczej były przyczyną tworzenia narostów z materiału rury na powierzchni matrycy oraz gwałtownego wzrostu siły procesu. Regeneracja tej matrycy spowodowała obniżenie sześciokątnego wykroju matrycy o 10 mm (rys. 8b) i powiększenie wielkości sześciokąta na wyrobie. Spowodowało to wzrost siły kształtowania przy zabiegu czwartym do granicy bezpieczeństwa technologicznego, co było bezpośrednią przyczyną wycofania matrycy z cyklu produkcyjnego. Nowa matryca wykonana została z węgla gat. G50 (rys. 8c). Po przepracowaniu 20 000 cykli zauważono początki trwałego odkształcenia powierzchni roboczej (rys. 8d).

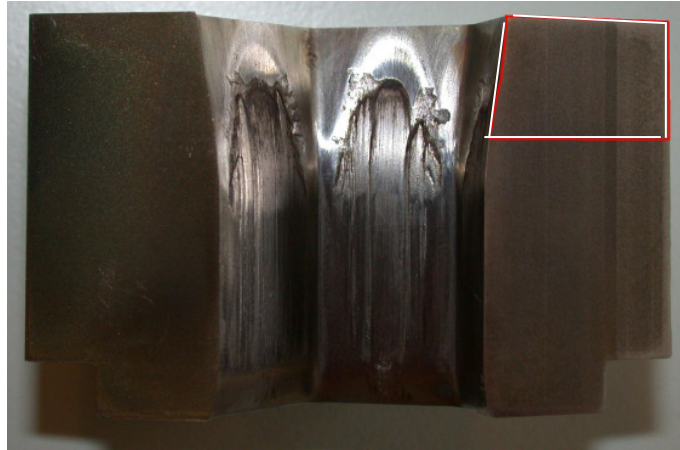
W Zakładzie Badania Metali Instytutu wykonano badania mikroskopowe matrycy. Na rys. 9 pokazano miejsce obserwacji. Widoczna jest zmiana geometrii powierzchni roboczej matrycy wynikająca z mechanizmu wycierania materiału narzędziowego przez umocnioną krawędź odkształcanej rury.

Na rys. 10b pokazano strukturę stali szybko tnącej po hartowaniu i odpuszczaniu. Struktura o pasmowym ułożeniu węglików wykazuje martenzyt stopowy skrytoiglasty z niewielką ilością austenitu szczątkowego. Jest to przyczyna obniżonych własności wytrzymałościowych. Przy powierzchni roboczej wewnętrznej (rys. 10a) widoczna jest warstwa azotowana o zmniejszającej się grubości w kierunku otworu matrycy. Zmniejszająca się grubość warstwy związana jest zarówno ze zużyciem ściernym warstwy wierzchniej podczas eksploatacji jak również nierównomierną grubością wynikającą z utrudnionego tworzenia warstwy azotku w otworze matrycy podczas azotowania jonowego.

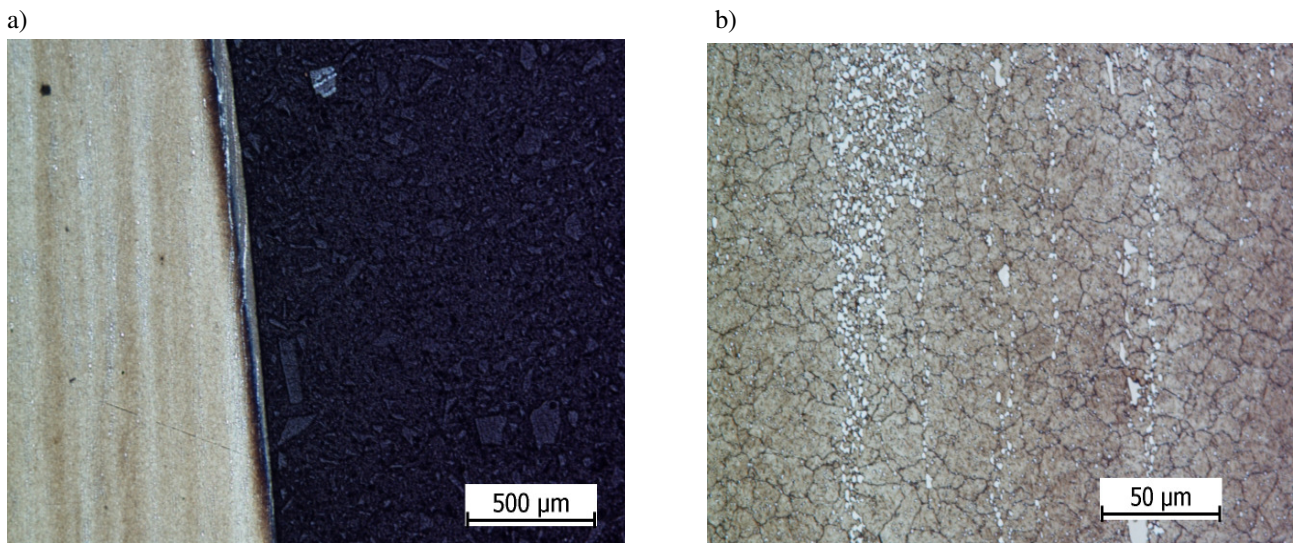
The die for step 3 transfers significant load resulting from deforming a round section into a hexagonal one. The first die has been made of SW7M high-speed steel and ion nitrided on its working surface. In fig. 8 one can see the die after 12 000 working cycles. The damages in the form of spalling and plastic deformation of the working surface have caused build-ups of the tube material on the die surface and drastic increase of the process force. Regeneration of the die has resulted in reduction of its impression by 10 mm (fig. 8b) and an increase of the size of the hexagon on the product. This has caused an increase of the forming force in step 4 up to the limit of technological safety, due to which the die had to be discarded. A new die has been made of carbide grade G50 (fig. 8c). After 20 000 cycles, beginning of permanent deformation of the working surface has been observed (fig. 8d).

The Metal Investigation Department of the Institute has performed microscopic examination of the die. In fig. 9, the place of examination has been indicated. One can see a change of the die working surface geometry resulting from the mechanism of the tool material abrasion by the consolidated edge of the tube being deformed

Fig. 10b shows the structure of high-speed steel after hardening and tempering. The structure with band-like arrangement of carbides reveals alloy crypto acicular martensite with a slight amount of retained austenite. This is the reason of deteriorated strength properties. At the inner working surface (fig. 10a), a nitrided layer with thickness decreasing towards the die opening can be seen. The decreasing thickness of the layer is related both to abrasion wear of the surface layer in service and to the uneven thickness due to the difficult formation of the nitride layer in the opening during ion nitriding.



Rys. 9. Oznaczone miejsce wykonania zglądu
 Fig. 9. Indicated place where the metallographic section has been made



Rys. 10. Mikrostruktura matrycy do zabiegu nr 3: a) warstwa azotowana na powierzchni roboczej matrycy,
 b) pasmowość węglików i struktura martenzytu skrytoiglastego
 Fig. 10. Microstructure of the die for step no. 3: a) nitrided layer on the die working surface;
 b) carbide banding and the structure of the crypto acicular martensite



Rys. 11. Matryca do zabiegu nr 4 z węglika G40 po przetworzeniu ok. 45 000 cykli roboczych
 Fig. 11. Die for step no. 4 made of carbide G40 after about 45 000 working cycles

Twardość na powierzchni matrycy wynosi 1050 HV 0,5 i odpowiada warstwie azotowanej, natomiast twardość podłoża wynosi 744 HV 0,5 i odpowiada twardości stali hartowanej i odpuszczanej.

Na rys. 11 pokazano matrycę do zabiegu nr 4. Matryca wykonana została z węgla spiekanego G40 i pracuje od początku wykonania urządzenia. Po przepracowaniu 45 000 cykli roboczych widoczne są nieznaczne ślady wytarcia promieni roboczych. Nie stwierdzono uszkodzeń mechanicznych ani powiększenia wymiarów matrycy.

Na podstawie kart kontroli produkcji w Instytucie analizowano zmiany wielkości sześciokąta S22,23. Wykres przebiegu zmian wymiaru 22,23 dla poszczególnych par boków sześciokąta S1, S2 i S3 pokazano na rys. 12.

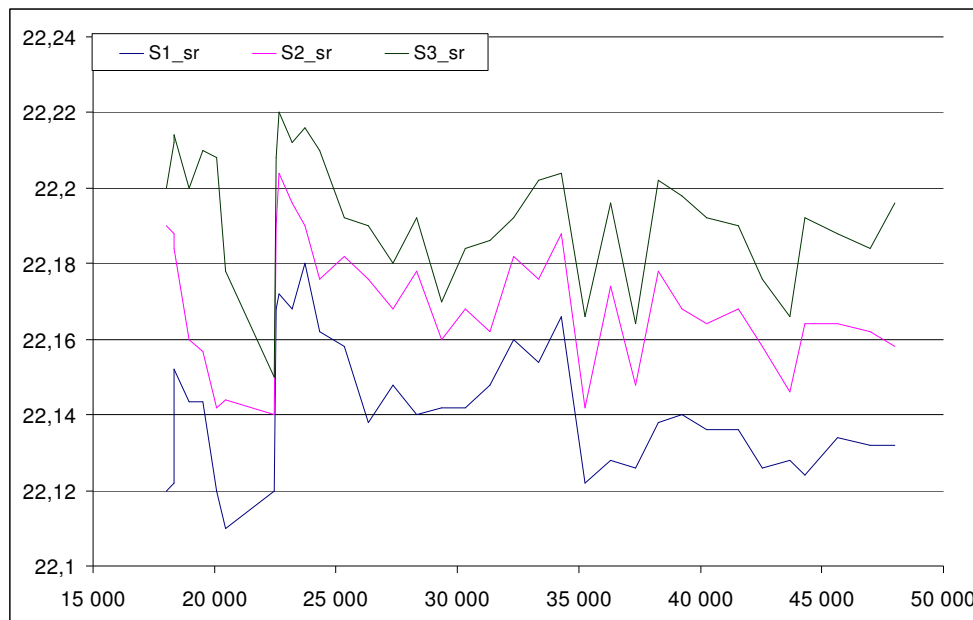
Gwałtowne zmiany wymiarowe po 23 000 cyklach i po 35 000 cyklach związane są z polerowaniem matryc dla zabiegu nr 3 i zabiegu nr 4. Równomierny przebieg zmian wymiarowych płaszczyzn sześciokąta świadczy o stabilności procesu oraz o równomiernym zużywaniu się powierzchni roboczych narzędzi.

The hardness on the die surface is 1050 HV 0.5 and corresponds to that of the nitrided layer, the hardness of the substrate is 744 HV 0.5 and corresponds to that of the hardness of hardened and tempered steel.

In fig. 11, one can see the die for step no. 4. The die has been made of sintered carbide G40 and it has been working since the beginning of the device. After 45 000 working cycles, slight traces of abrasion of the working radii can be observed. No mechanical damages or die dimension increase have been found.

Basing on the production control sheets, the Institute has analysed the changes of the size of the hexagon S22,23. The curve of the changes of dimension 22,23 for the individual pairs of the sides of hexagon S2 and S3 are shown in fig. 12.

The rapid dimension changes after 23 000 cycles and after 35 000 cycles are related to polishing of the dies during step no. 3 and step no. 4. The uniform dimension changes of the hexagon planes prove the stability of the process and uniform wear of the tool working surfaces.



Rys. 12. Przebieg zmienności wielkości poszczególnych par boków sześciokąta 22,23 mm w okresie produkcji doświadczalnej w Instytucie

Fig. 12. The changes of the size of the individual sides of hexagon 22,23 mm in the period of experimental production in the Institute

3. WNIOSKI

Przeprowadzone badania eksploatacyjne wykazały, że z uwagi na wysokie naciski jednostkowe oraz na mechanizm zużywania matryc do obciskania końcówek rur, należy stosować narzędzia z węglików spiekanych. W badaniach stwierdzono, że zastosowanie węglików z gatunku G40 jest wystarczające. Węgliki z gatunku G50, mimo wyraźnej poprawy trwałości, wykazują jednak wcześniejsze zużycie powierzchni roboczych.

3. CONCLUSIONS

The service investigation performed has shown that, due to high unit pressures and to the mechanism of the wear of the tube end reducing dies, sintered carbide tools should be used. It has been found in the investigation that the use of G40 carbides is sufficient. Carbides of the G50 grade, although they significantly improve the tool life, also reveal sooner wear of the working surfaces.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Praca INOP: BO 901 48 002 – Badania żywotności narzędzi przy obciskaniu rur gorąco walcowanych
- [2] B. Czartoryski: Gniazdo produkcyjne obciskania rur. Określenie dopuszczalnego stopnia przeformowania rury gorąco walcowanej przy obciskaniu. Obr. Plast. Met. 2007 t. XVIII nr 2 s. 3-7, 4 rys. bibliogr. 1 poz.