

Tomasz Oczkowicz<sup>1)</sup>

## NIEJEDNORODNOŚĆ WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH CIĄGNIONYCH RUR KWADRATOWYCH

**Streszczenie.** W artykule omówiono zalety i zastosowanie rur kwadratowych oraz proces ciągnięcia badanych rur. Z kolei przedstawiono wyniki badań własności mechanicznych tych rur. Badano następujące własności mechaniczne materiału rur kwadratowych: umowna granica sprężystości  $R_{0,05}$ , umowna granica plastyczności  $R_{0,2}$ , wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ , naprężenie rozrywające  $R_u$ , wydłużenie  $A_{10}$ , wydłużenie równomierne  $A_p$ , przewężenie  $Z$ , a także zapas plastyczności  $R_{0,2}/R_m$  oraz twardość Vickersa  $HV5$ . Własności mechaniczne określone w statycznej próbie rozciągania badano na próbkach wyciętych w takich miejscach charakterystycznych przekroju rury kwadratowej jak naroża i środki długości płaskich ścianek, natomiast twardość badano na przekrojach poprzecznych rur w analogicznych miejscach charakterystycznych jak wyżej i ponadto w płaskich ściankach w pobliżu naroży, przy czym badania twardości prowadzono w trzech warstwach na grubości ścianki rury: w warstwie przyzewewnętrznej, w warstwie środkowej i w warstwie przywewnętrznej. Stwierdzono znaczącą niejednorodność własności w badanych miejscach charakterystycznych rur. Stwierdzono również prawidłowości w rozkładach twardości w miejscach charakterystycznych w badanych warstwach ścianek rur.

**Słowa kluczowe:** rury profilowe, ciągnięcie rur, własności mechaniczne.

### WSTĘP

Występujący w ostatnich latach wzrost zapotrzebowania na rury profilowe wynika z licznych zalet tych wyrobów w stosunku do wyrobów o przekroju kołowym. Różnorodne warunki pracy elementów konstrukcyjnych, w różnych dziedzinach techniki, wymagają od nich odpowiednich własności, dostosowanych do tych warunków. Tylko w pewnych przypadkach zastosowań najlepsze własności wykazują wyroby okrągłe, np. rury okrągłe do przewodzenia płynów pod ciśnieniem. Jednak w wielu przypadkach zastosowań wyroby okrągłe nie mogą, w sposób właściwy, spełnić żądanych wymagań i własnościami ustępują wyrobom profilowym. Przy analizie cech geometrycznych i materiałowych wyrobów oraz technologii ich wytwarzania należy uwzględnić kryteria techniczne, ekonomiczne, a także ekologiczne. Należy tu uwzględnić np. wła-

<sup>1)</sup> Instytut Materiałów inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska.

sności wytrzymałościowe, łatwość montażu, a w niektórych przypadkach również walory estetyczne. Szczególnymi zaletami wyróżniają się rury profilowe o przekroju kwadratowym i prostokątnym.

Oprócz zapewnienia wyrobom profilowym odpowiednich cech geometrycznych i materiałowych oraz własności mechanicznych, określonych jako wartości średnie, dla podwyższenia jakości wyrobów i lepszego ich dostosowania do warunków pracy (np. obciążenia, tarcia, przewodności elektrycznej, itp.), czyli polepszenia ich własności użytkowych, należy uwzględnić rozkład własności mechanicznych (np. twardości) na przekroju poprzecznym wyrobów. Z analizy warunków pracy danego elementu maszyny lub urządzenia wynikają różne jego cechy użytkowe. Niekiedy poszczególne części powierzchni lub warstwy przekroju poprzecznego danego wyrobu powinny spełniać odmienne wymagania, a zatem powinny mieć różne własności na przekroju poprzecznym. W niektórych więc przypadkach zastosowań wyrobów pożądanym może być niejednorodny rozkład własności (np. twardości) o określonym przebiegu na przekroju poprzecznym.

Dla zapewnienia jakości tych wyrobów należy dobrać lub zaprojektować odpowiedni proces technologiczny wytwarzania. Celem pracy jest określenie wpływu zastosowanego procesu ciągnięcia na własności mechaniczne i niejednorodność ich rozkładu na przekroju poprzecznym ciągniętych rur kwadratowych.

## **ZALETY I ZASTOSOWANIE RUR KWADRATOWYCH**

Rury kwadratowe odznaczają się korzystniejszym wskaźnikiem wytrzymałości przekroju poprzecznego na zginanie, w porównaniu z wyrobami o przekroju kołowym o tej samej wartości pola powierzchni przekroju, a zatem o tej samej masie jednostki długości wyrobu. Pozwala to na zmniejszenie masy własnej elementów maszyn i urządzeń lub konstrukcji nośnych, pracujących na zginanie, wykonanych z tych elementów, dzięki czemu uzyskuje się m.in. znaczne oszczędności materiału lub zwiększenie wytrzymałości elementów bez równoczesnego zwiększenia masy.

Szczególnie znaczenie ma zastosowanie rur profilowych kwadratowych i prostokątnych w budowie maszyn transportowych, takich jak np. samochody, ciągniki i samoloty. Uzyskanie, dzięki stosowaniu tych rur, obniżenia masy maszyn transportowych jest źródłem oszczędności paliw, a ponadto pozwala na polepszenie ich parametrów eksploatacyjnych takich jak: prędkość, przyspieszenie i zasięg. Malejące zużycie paliwa, wynikające ze zmniejszenia masy pojazdu, wiąże się bezpośrednio z ograniczoną emisją do otoczenia szkodliwych spalin. Rury te stosowane są więc na ramy autobusów i samochodów osobowych, a także motocykli.

Rury o przekrojach kwadratowych i prostokątnych (dzięki płaskim ściankom) odznaczają się ponadto łatwością montażu, np. przez spawanie lub zgrzewanie, na skutek znacznie prostszego przygotowania łączonych powierzchni i korzystnego ich przylegania. Elementy o takich kształtach przekroju stwarzają szerokie możliwości uzyskania różnych połączeń węzłów konstrukcyjnych.

Oprócz zastosowań rur kwadratowych i prostokątnych wynikających z korzystnych własności wytrzymałościowych na zginanie oraz łatwości montażu, wyroby te znajdują zastosowanie w przypadkach, w których zalety ich kształtu stwarzają także inne, szczególne możliwości. Na przykład rury kwadratowe i prostokątne (zwłaszcza z miedzi) stosuje się w budowie induktorów, gdzie płaskie ścianki tych rur stwarzają korzystne warunki do nagrzewania przedmiotów.

Szczególne wymagania w zakresie rozkładu własności mechanicznych (np. twardości) na przekroju poprzecznym stawiane mogą być rurom profilowanym (np. kwadratowym), przeznaczonym na teleskopy wałów przegubowo-teleskopowych, stosowanych do napędu maszyn. Rury te przenoszą moment napędowy i jednocześnie w trakcie przenoszenia tego momentu narażone są na zużycie ściernie, gdyż osiowo przesuwają się względem siebie. Zatem dla zmniejszenia zużycia ściernego na powierzchniach trących rur pożądane by było, aby rury te miały odpowiedni rozkład twardości na przekrojach poprzecznych. Rury kwadratowe i prostokątne mają ponadto walory estetyczne, co wraz z ich takimi zaletami, jak lekkość konstrukcji i łatwość montażu powoduje, że znajdują one zastosowanie m.in. w przemyśle meblarskim oraz jako elementy konstrukcji ogrodzenia, zastępując deficytowe drewno.

## PROCES CIĄNIENIA RUR KWADRATOWYCH

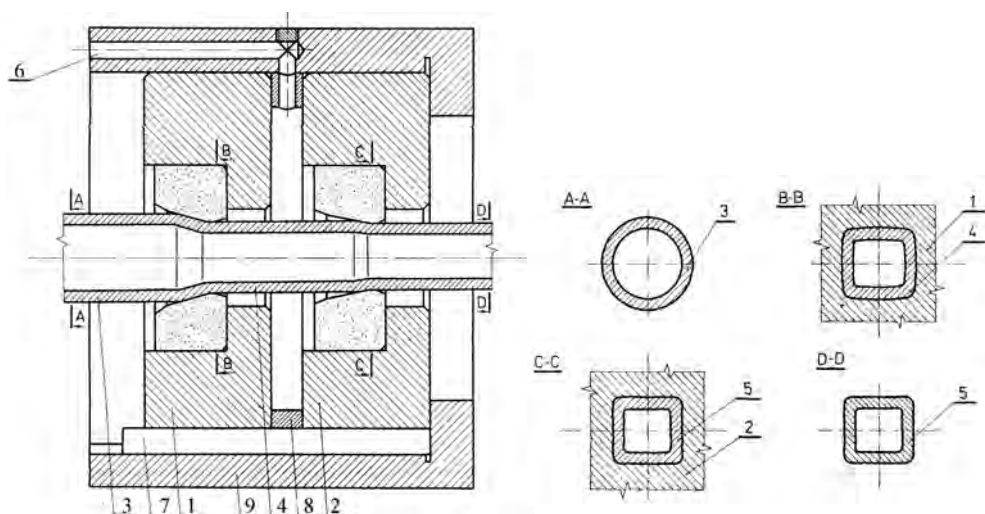
Rury kwadratowe stosowane do badań ciągniono na zimno w jednej z krajowych hut na ciągarce ławowej o sile ciągnięcia  $P_c = 200$  kN. Ciągarke wyposażono w zestaw narzędzi do ciągnięcia tych rur, zaprojektowany na Politechnice Śląskiej, przedstawiony na rysunku 1.

Przed przystąpieniem do zasadniczej operacji, tj. ciągnięcia rur kwadratowych, okrągłe rury wsadowe poddano następującym operacjom pomocniczym: wyżarzanie w atmosferze ochronnej, nagrzewanie końca rury w piecu szczelinowym, zaostanie końca rury na kowarce, wytrawianie, płukanie, neutralizacja i smarowanie.

Badane rury o wymiarach  $29 \times 31 \times 5$  mm uzyskano przez ciągnięcie okrągłych rur wsadowych o wymiarach  $\phi 41 \times 5$  mm w jednym ciągu, w dwóch ciągadłach profilowych bez trzpienia (swobodnie). Tak otrzymane rury powinny być poddane prostowaniu. W dalszej kolejności następowało obcinanie końców, kontrola jakości, konserwacja rur i przygotowanie do wysyłki.

W tak zaproponowanym sposobie ciągnięcia zasadnicze odkształcenie odbywa się w pierwszym ciągadle, co wraz utworzonym przez to ciągadło przeciwciągiem powoduje zmniejszenie nacisków jednostkowych w drugim ciągadle. W wyniku tego uzyskuje się zmniejszenie zużycia drugiego ciągadła, co zapewnia wydłużenie partii ciągniętych rur o wąskiej tolerancji kształtu i wymiarów.

Informacje dotyczące technologii i narzędzi stosowanych do ciągnięcia badanych rur kwadratowych, a także wyniki badań procesów ciągnięcia różnych wyrobów profilowanych oraz badań ich własności przedstawiono w pracach [5] oraz [8–15].



**Rys. 1.** Narzędzia do ciągnięcia rur kwadratowych o wymiarach 31 x 29 x 5 mm: 1 – ciągnadło profilowe wstępne, 2 – ciągnadło profilowe wykańczające, 3 – okrągła rura wsadowa, 4 – rura wstępnie ukształtowana, 5 – przeciągnięta rura gotowa, 6 – kanał doprowadzający środek smarujący, 7 – wpust ustalający, 8 – pierścień dystansowy, 9 – obejma

**Fig. 1.** Tools for square tubes drawing with dimensions of 31 x 29 x 5 mm: 1 – roughing profile die, 2 – finishing profile die, 3 – round tube stock, 4 – preformed tube, 5 – final drawn tube, 6 – channel for supplying the lubrication medium, 7 – fixing key, 8 – distance ring, 9 – mounting

## BADANIA WŁASNOŚCI RUR KWADRATOWYCH

### Program i metodyka badań

Badania własności mechanicznych przeprowadzono na rurach prostokątnych o wymiarach 31 × 29 × 5 mm, ze stali 15. Rury te przeznaczone były na część wewnętrzną teleskopu wału przegubowo-teleskopowego stosowanego do napędu maszyn.

W dalszej części artykułu badane rury prostokątne o wymiarach 31 × 29 × 5 mm, z uwagi na małą różnicę boków, umownie nazwano rurami kwadratowymi. To niewielkie zróżnicowanie wartości wymiarów boków tych rur wynikało z potrzeby zapewnienia rurom jednoznacznego, wzajemnego usytuowania w trakcie montażu z częścią zewnętrzną (odpowiednią rurą kwadratową) teleskopu wału przegubowo-teleskopowego. Część teleskopową wału utworzoną z rur kwadratowych, w tym z badanej rury kwadratowej stanowiącej część wewnętrzną teleskopu wału, przedstawiono na rysunku 2. Zbadano następujące własności mechaniczne:

- umowna granicy sprężystości  $R_{0,05}$ ,
- umowna granica plastyczności  $R_{0,2}$ ,



**Rys. 2.** Teleskop wału przegubowo-teleskopowego utworzony z badanych rur kwadratowych  
**Fig. 2.** Telescope of the jointed-telescope shaft made from investigated square tubes

- wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ ,
  - naprężenie rozrywające  $R_u$ ,
  - wydłużenie  $A_{10}$ ,
  - wydłużenie równomierne  $A_r$ ,
  - przewężenie  $Z$ ,
  - zapas plastyczności  $R_{0,2}/R_m$ ,
- oraz
- twardość Vickersa  $HV5$ .

### **Badania własności mechanicznych określonych w próbie rozciągania, w miejscach charakterystycznych przekroju rur**

Próbki (minipróbki) przeznaczone do badań własności mechanicznych, określonych w statycznej próbie rozciągania ( $R_{0,05}$ ,  $R_{0,2}$ ,  $R_m$ ,  $R_u$ ,  $A_{10}$ ,  $A_r$ ,  $Z$  i  $R_{0,2}/R_m$ ), pobierano z losowo wybranych segmentów (odcinków) rur, otrzymanych w procesie ciągnięcia, z charakterystycznych miejsc przekroju poprzecznego danej rury, wzdłuż jej długości. Miejscami charakterystycznymi przekroju rur kwadratowych są naroża i środki długości płaskich ścianek.

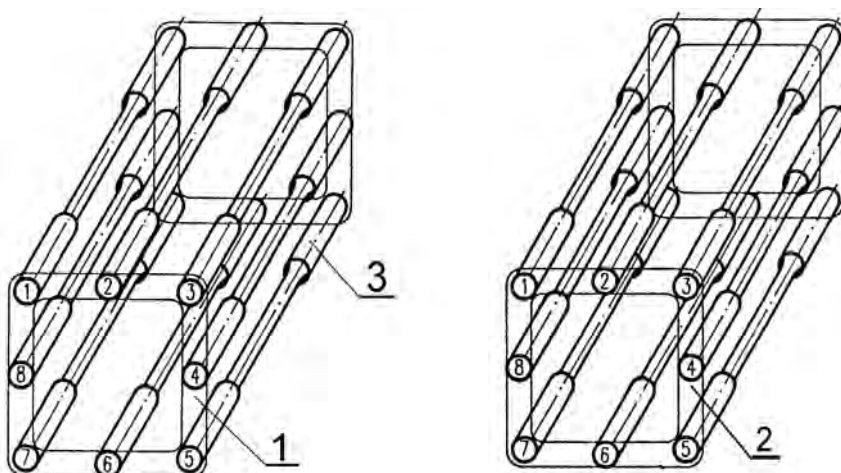
Miejsca pobrania próbek z poszczególnych rur kwadratowych przedstawiono na schemacie (rys. 3). Kształt i wymiary próbek, pobranych z rur kwadratowych, przeznaczonych do badań własności mechanicznych określonych w próbie rozciągania przedstawiono na rysunku 4.

Próby rozciągania przeprowadzono, zgodnie z normą PN-EN 10002-1, na maszynie wytrzymałościowej Instron 1195.

### **Badania rozkładu twardości na przekrojach rur**

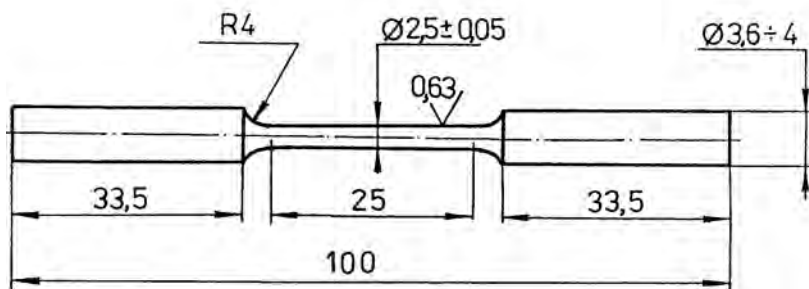
Do badań rozkładu twardości na przekrojach poprzecznych rur kwadratowych użyto próbek w formie pierścieni o grubości ok. 6 mm, wyciętych z tych rur.

Następnie próbki szlifowano obustronnie na szlifierce magnetycznej, celem uzyskania równoległości płaszczyzn. Powierzchnie próbek przeznaczone do badań twardości szlifowano na papierach ściernych o granulacji ziarna od 400 do 1000. Z kolei



**Rys. 3.** Miejsca pobrania próbek, z rur kwadratowych: 1 – segment pierwszy, 2 – segment drugi, 3 – próbka wraz z numerem miejsca pobrania

**Fig. 3.** Locations of cutting out the specimens from square tubes: 1 – first segment, 2 – second segment, 3 – specimen with number of sampling location

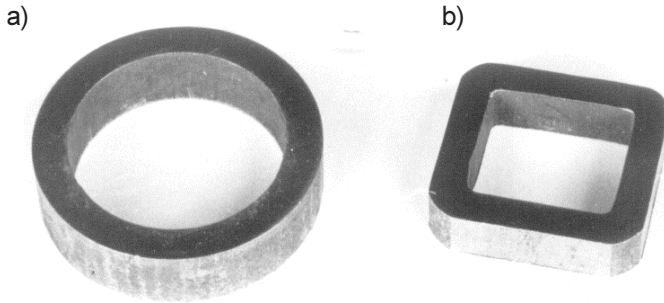


**Rys. 4.** Kształt i wymiary próbek, z rur kwadratowych, przeznaczonych do badań własności mechanicznych, określonych w próbie rozciągania

**Fig. 4.** Shape and dimensions of the specimens from square tubes for testing of mechanical properties determined during the tensile test

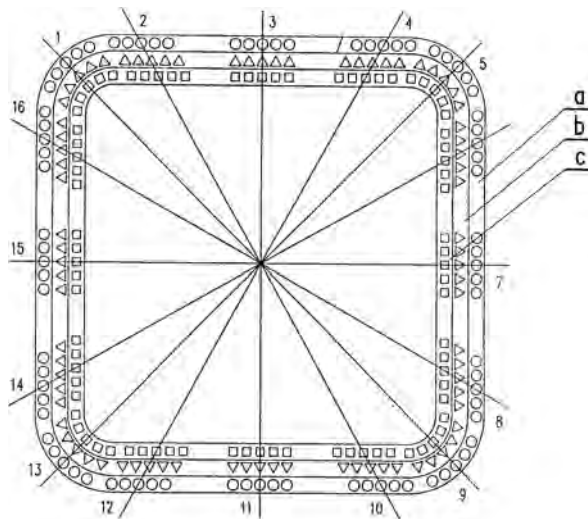
próbki polerowano na polerze metalograficznej, przy użyciu pasty diamentowej o granulacji ziarna  $5\ \mu\text{m}$ . Na tak przygotowanych próbkach prowadzono badania twardości sposobem Vickersa. Badano twardość  $HV5$ , zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1.

Na rysunku 5 przedstawiono próbki wycięte z okrągłych rur wsadowych oraz z otrzymanych z nich, w procesie ciągnięcia, rur kwadratowych, na których prowadzono badania twardości. Miejsca pomiarów twardości na przekrojach poprzecznych, w miejscach charakterystycznych w badanych warstwach rur kwadratowych przedstawiono na schemacie (rys. 6).



**Rys. 5.** Próbkę na których prowadzono badania twardości: a) okrągłej rury wsadowej, b) uzyskanej rury kwadratowej

**Fig. 5.** Specimens for carrying out the hardness tests: a) round tube stock, b) obtained square tube



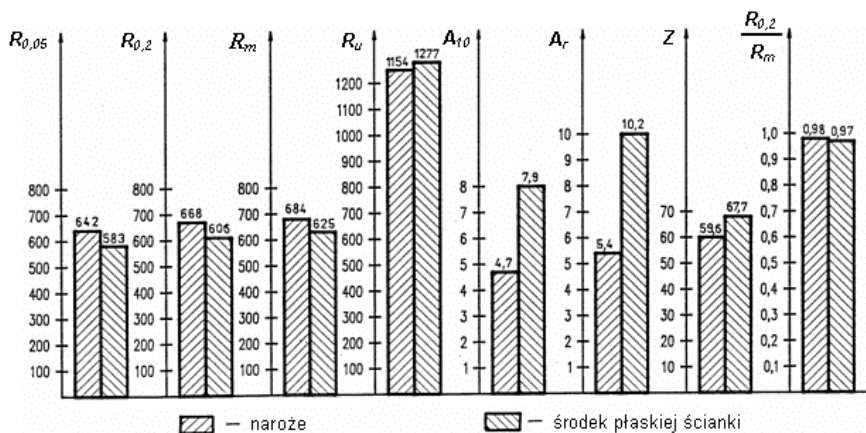
**Rys. 6.** Miejsca pomiarów twardości HV5 na przekrojach poprzecznych rur kwadratowych: a – warstwa przyzewnątrzna, b – warstwa środkowa, c – warstwa przywewnętrzna

**Fig. 6.** Measuring points of HV5 hardness on cross-sections of square tubes: a – external layer, b – middle layer, c – internal layer

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

### Własności mechaniczne materiału rur kwadratowych określone w próbie rozciągania

Wyniki badań własności mechanicznych ( $R_{0,05}$ ,  $R_{0,2}$ ,  $R_m$ ,  $R_w$ ,  $A_{10}$ ,  $A_r$ ,  $Z$  i  $R_{0,2}/R_m$ ), określonych w statycznej próbie rozciągania, próbek wyciętych wzdłuż długości rury kwadratowej z charakterystycznych miejsc przekroju poprzecznego, tj. z naroży oraz



**Rys. 7.** Właściwości mechaniczne materiału w charakterystycznych miejscach przekroju poprzecznego rury kwadratowej o wymiarach  $31 \times 28 \times 5$  mm. Materiał: stal 15

**Fig. 7.** Mechanical properties of the material in characteristic parts of cross-section of square tube with dimensions of  $31 \times 28 \times 5$  mm. Material: 15 steel

środków długości płaskich ścianek przedstawiono na wykresie (rys. 7). Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że pomiędzy narożami rury a środkami długości boku ich ścianek istnieje znaczące zróżnicowanie wartości badanych własności mechanicznych. Większe wartości  $R_{0,05}$ ,  $R_{0,2}$ ,  $R_m$  występują w narożach rury niż w jej płaskiej ściance, natomiast wartości wielkości  $A_{10}$ ,  $A_r$  i  $Z$  w narożach są niższe.

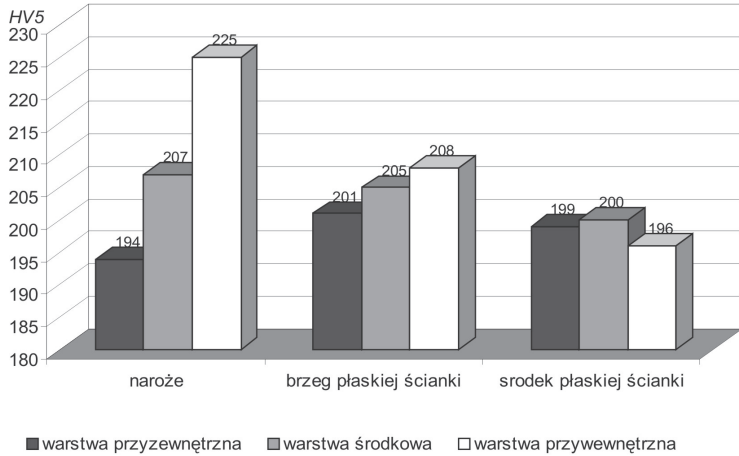
Można więc stwierdzić, że w narożach, badanych rur kwadratowych, w stosunku do płaskich ścianek nastąpiło większe umocnienie materiału odpowiadające wyższym własnościom wytrzymałościowym oraz niższym własnościom plastycznym.

### Rozkłady twardości materiału na przekrojach poprzecznych badanych rur kwadratowych

Wyniki badań rozkładu twardości  $HV5$  na przekrojach poprzecznych rur kwadratowych przeprowadzonych w trzech warstwach na grubości ścianek, tj. warstwie przyzewewnętrznej, warstwie środkowej i warstwie przywewnętrznej, w charakterystycznych miejscach przekroju, tj. w narożach, w brzegach płaskich ścianek i w środkach długości płaskich ścianek, przedstawiono na wykresach (rys. 8 i 9).

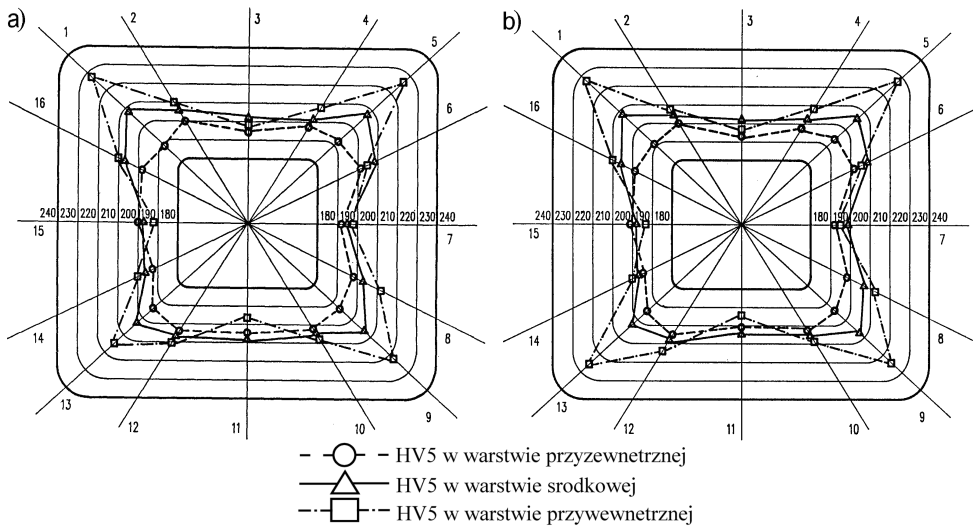
Analizując rozkład twardości badanych przekrojów tych rur można stwierdzić prawidłowości w uszeregowaniu wartości twardości, w poszczególnych miejscach charakterystycznych i w warstwach przekroju rur. W narożach oraz w płaskich ściankach, w pobliżu naroży (brzegi) występuje wzrost wartości twardości w kierunku od warstwy przyzewewnętrznej, przez warstwę środkową ku warstwie przywewnętrznej, przy czym w pobliżu naroży różnice wartości twardości w warstwach są znacznie mniejsze. Najwyższa wartość twardości na przekroju rury występuje w warstwie przyzewewnętrznej w





**Rys. 8.** Rozkład twardości na przekroju poprzecznym rury kwadratowej o wymiarach  $31 \times 29 \times 5$  mm. Materiał: stal 15

**Fig. 8.** Hardness distribution on cross-section of square tube with dimensions of  $31 \times 29 \times 5$  mm. Material: 15 steel



**Rys. 9.** Rozkład twardości na przekrojach poprzecznych rury kwadratowej o wymiarach  $31 \times 28 \times 5$  mm. Materiał: stal 15: a) przekrój I, b) przekrój II

**Fig. 9.** Hardness distribution on cross-sections of square tube with dimensions of  $31 \times 28 \times 5$  mm. Material: 15 steel: a) section I, b) section II

narożu rury. Najniższe wartości twardości występują w środkach długości płaskich ścianek, przy czym wartości twardości w poszczególnych warstwach różnią się tu bardzo nieznacznie. Podobnie niska twardość występuje w warstwie przyzewnętrznej naroża rury.

## PODSUMOWANIE

W badaniach własności wytrzymałościowych i plastycznych określonych w próbie rozciągania ( $R_{0,05}$ ,  $R_{0,2}$ ,  $R_m$ ,  $R_u$ ,  $A_{10}$ ,  $A_r$  i  $Z$ ) oraz w badaniach twardości  $HV5$  stwierdzono znaczącą niejednorodność badanych własności w miejscach charakterystycznych przekroju ciągnionych rur kwadratowych. Określono również prawidłowości rozkładu tych własności.

Stwierdzono m.in., że większe wartości  $R_{0,05}$ ,  $R_{0,2}$ ,  $R_m$  występują w narożach rur niż w ich płaskich ściankach. Stwierdzono także, że w narożach rur oraz w ich płaskich ściankach w pobliżu naroży występuje wzrost twardości w kierunku od warstwy przyzewnętrznej poprzez warstwę środkową ku warstwie przywewnętrznej.

Znajomość wpływu procesów kształtowania plastycznego wyrobów na własności mechaniczne i ich rozkład na przekroju poprzecznym ma oprócz wartości poznawczych, duże znaczenie użytkowe przy projektowaniu i doborze procesu wytwarzania wyrobów o oczekiwanych własnościach zdeterminowanych warunkami ich pracy.

Szerokie zastosowanie rur kwadratowych w wielu dziedzinach techniki oraz stale rosnące wymagania w zakresie ich jakości wskazują na celowość prowadzenia dalszych badań procesów kształtowania plastycznego tych wyrobów, a także wyrobów o innych kształtach przekroju.

## PIŚMIENNICTWO

1. Błażewski S., Mikoszewski J.: Pomiary twardości metali. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1981.
2. Dobrzański L.A., Nowosielski R.: Metody badań metali i stopów. Badania własności fizycznych. WNT, Warszawa 1987.
3. Grochowski E., Grosman F., Oskędra K.: Maszyny ciągarские. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1976.
4. Katarzyński S., Kocańda S., Zakrzewski M.: Badanie własności mechanicznych metali. WNT, Warszawa 1967.
5. Koncewicz S., Oczkiewicz T.: Technologia ciągnięcia rur kwadratowych na trzpieniu swobodnym. Materiały Ogólnopolskiej Kursokonferencji pt. „Nowe technologie w przeróbce plastycznej metali”. SITPH, Politechnika Częstochowska. Częstochowa, 09–11.10.1980: 61–65.
6. Łuksza J., Rumiński M.: Zastosowanie pomiarów twardości do analizy procesu ciągnięcia. „Hutnik-Wiadomości Hutnicze”, nr 5, 1993: 164–170.
7. Łuksza J.: Elementy ciągarstwa. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2001.
8. Oczkiewicz T., Tkaczyk S.: Änderungen in Stahleigenschaften und die Anfälligkeit auf den sich bildenden Bruch beim Ziehen von Quadratrohren. VII. Symposium „Verformung und Bruch”. Technische Hochschule „Otto von Guericke” Teil II, Magdeburg (DDR), 3. bis 5. September 1985, s. 60.

9. Oczkowicz T., Tyma A.: Tažení obdélníkových trubek pro klubové teleskopické hřídele náhonů zemědělských strojů. Sborník II. Československo-Polská hutnická konference „Rozvoj technologie výroby přesných ocelových trubek”. Výzkumný ústav hutnictví železa v Dobré (CSSR), Instytut Metalurgii Żelaza w Gliwicach (PRL), 20. až 22. května 1986, Dobrá (CSSR): 175–183.
10. Oczkowicz T., Tkaczyk S.: Badania własności rur kwadratowych otrzymanych przez ciągnięcie na trzpieniu swobodnym. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Nowoczesne technologie obróbki plastycznej na zimno”. Politechnika Świętokrzyska, Fabryka Samochodów Specjalizowanych „POLMO-SHL”, SIMP. Kielce, Cedzyna, 16–17.09.1987: 105–115.
11. Oczkowicz T.: Niejednorodność umocnienia stalowych prętów kwadratowych w procesie walcowania w wykroju czterowalcowym. Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn nr 1/96, Politechnika Śląska, Gliwice 1996: 155–168.
12. Oczkowicz T., Tkaczyk S.: Heterogeneity of strengthening of the thick-walled copper square tubes in a process of drawing through a roller die. Proceedings of the 5th International Scientific Conference on „Achievements in Mechanical & Materials Engineering”. Polish Academy of Sciences, Silesian Technical University. Gliwice-Wiśła, Poland, December 4–6, 1996: 207–210.
13. Oczkowicz T., Tkaczyk S.: Heterogeneity of strengthening of the thick-walled copper square tubes in a process of rolling in a four-roll pass. Journal of Materials Processing Technology. ELSEVIER. 1997, vol. 64: 303–310.
14. Oczkowicz T.: Combined rolling and drawing of square bars. Proceedings of the International Technical Conference on „Wire and Cable Manufacturing Technologies”. The Wire Association International, Inc. Zakopane, Poland, October 10–12, 1999, p. 22.
15. Oczkowicz T.: Wpływ procesów walcowania i ciągnięcia na niejednorodność umocnienia stalowych prętów kwadratowych. Conference on „Achievements in Mechanical & Materials Engineering”. Polish Academy of Sciences, Silesian University of Technology of Gliwice. Gliwice-Cracow-Zakopane, Poland, December 9–13, 2001: 393–398.

## HETEROGENEITY OF MECHANICAL PROPERTIES OF DRAWN SQUARE TUBES

### Summary

The article discusses the advantages and application of square tubes and the process of drawing steel tubes. In addition results of investigation of mechanical properties of these tubes are presented. Following mechanical properties of square tubes were studied: conventional elastic limit  $R_{0,05}$ , conventional yield point  $R_{0,2}$ , tensile strength  $R_m$ , breaking stress  $R_u$ , elongation  $A_{10}$ , uniform elongation  $A_r$ , contraction of area  $Z$ , and store of plasticity  $R_{0,2}/R_m$ , and Vickers hardness  $HV5$ . The mechanical properties specified in the static tensile test was studied on samples cut out in such specific section of the pipe as square corners and measures the length of flat faces, while the hardness was examined on cross sections of tubes in the same places as above and also in the flat walls near the corners, while hardness testing was performed in three layers on the pipe cross wall thickness: the outer layer, in the middle layer and the inner layer. It was also found in the pattern of distributions of hardness in specific locations in the tested tube wall layers.

**Keywords:** tubes profile, tubes drawing, mechanical properties.