



11th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

## Niejednorodność własności mechanicznych ciągnionych rur trójgarbnych

T. Oczkowicz

Zakład Przeróbki Plastycznej Metali, Katedra Przetwórstwa Materiałów Metalowych  
i Polimerowych, Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

W pracy przedstawiono wyniki badań własności mechanicznych ( $HV5$ ;  $R_{0,05}$ ;  $R_{0,2}$ ;  $R_m$ ;  $R_u$ ;  $A_{10}$ ;  $Z$ ;  $R_{0,2}/R_m$ ) w charakterystycznych miejscach przekroju poprzecznego stalowych rur trójgarbnych otrzymywanych z okrągłych rur wsadowych w procesie ciągnięcia. Stwierdzono znaczną niejednorodność badanych własności w charakterystycznych miejscach przekroju rur oraz w badanych warstwach: przyzwnętrznej, środkowej oraz przywewnętrznej.

### 1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach w wielu dziedzinach techniki obserwuje się wzrost zapotrzebowania na rury profilowe, tj. o przekroju różnym od kołowego. Wynika to z licznych zalet tych rur w stosunku do wyrobów o przekroju kołowym. Zalety i zastosowanie oraz sposoby kształtowania plastycznego niektórych rur profilowych przedstawiono m.in. w pracach [1÷6]. Coraz większe zastosowanie znajdują zwłaszcza rury kwadratowe, prostokątne i wielogarbne. Rury wielogarbne, w tym trójgarbne stosuje się m.in. na wały przegubowo–teleskopowe do napędu maszyn, np. rolniczych. Wały te stosowane są do przenoszenia napędu wału odbioru mocy, np. ciągnika na wał przyjęcia mocy maszyny, np. rolniczej. Rury te należą do głównych elementów wałów, stanowią bowiem część teleskopu łączącego ze sobą dwa przeguby krzyżakowe.

Z uwagi na spełnianą funkcję oraz trudne warunki pracy wałów, rurom tym stawiane są szczególnie wysokie wymagania. Muszą one m.in. przenosić określony moment obrotowy oraz moment gnący i jednocześnie gwarantować w trakcie przenoszenia tych momentów nieprzekraczanie określonej wartości sił wzdłużnych teleskopowania. Muszą one ponadto posiadać wysoką dokładność kształtu i wymiarów oraz jakość powierzchni, a także odpowiednią trwałość.

Zatem oprócz zapewnienia tym wyrobom odpowiednich cech geometrycznych oraz cech materiałowych w zakresie rodzaju materiału i jego własności mechanicznych określonych jako wartości średnie – dla podwyższenia jakości wyrobów i lepszego dostosowania tych wyrobów do warunków ich pracy (np. tarcia współpracujących powierzchni), czyli polepszenia własności użytkowych wyrobów, należy ponadto uwzględnić rozkład własności mechanicznych (np. twardości) na przekroju poprzecznym wyrobów. Np. pożądane by było, aby w rurze zewnętrznej teleskopu wału, z uwagi na miejsca powierzchni trących, najwyższe twardości wystąpiły w wierzchołkach garbu, a zwłaszcza w ich warstwach przywewnętrznych.

Przeto dobrano taki proces wytwarzania i jego warunki realizacji, aby uzyskać powyższy rozkład twardości na przekroju poprzecznym rury. Rurę tę uzyskano poprzez ciągnięcie na trójgarbnym trzpieniu stałym na ciągarce ławowej. Wsadem była rura okrągła. Technologię ciągnięcia rury przedstawiono w pracy [2 i 4].

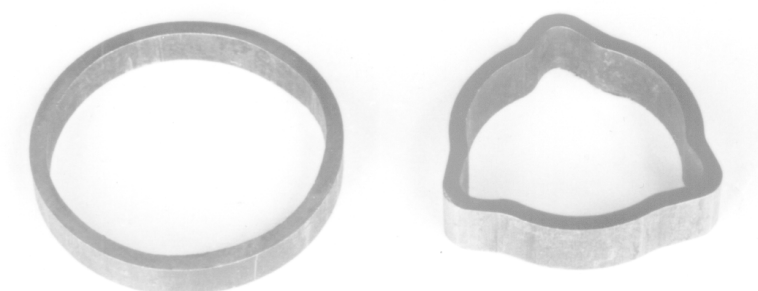
W procesie ciągnięcia, nawet pełnych wyrobów cylindrycznych, mimo osiowej symetrii naprężeń, zawsze występuje nierównomierność odkształcenia, spowodowana czynnikiem geometrycznym (kształt narzędzi) oraz tarciem pomiędzy narzędziami a ciągnionym materiałem. Występująca tu nierównomierność odkształcenia pociąga za sobą występowanie niejednorodności umocnienia, co przejawia się w zmianach własności mechanicznych materiału na przekroju poprzecznym wyrobu.

Wobec powyższego tym bardziej więc można oczekiwać znacznej niejednorodności umocnienia na przekroju poprzecznym ciągniętej rury trójgarbnej.

## 2. PZEEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Badania umocnienia materiału rury przeprowadzono na ciągniętych rurach trójgarbnych o średnicy części cylindrycznej  $d_c = 42$  mm, ze stali 16M o składzie chemicznym: C = 0,20%; Si = 0,27%; Mn = 0,62%; P = 0,22%; S = 0,017%; Cu = 0,15%; Cr = 0,08%; Ni = 0,06%; Mo = 0,35%; Al. = 0,014%.

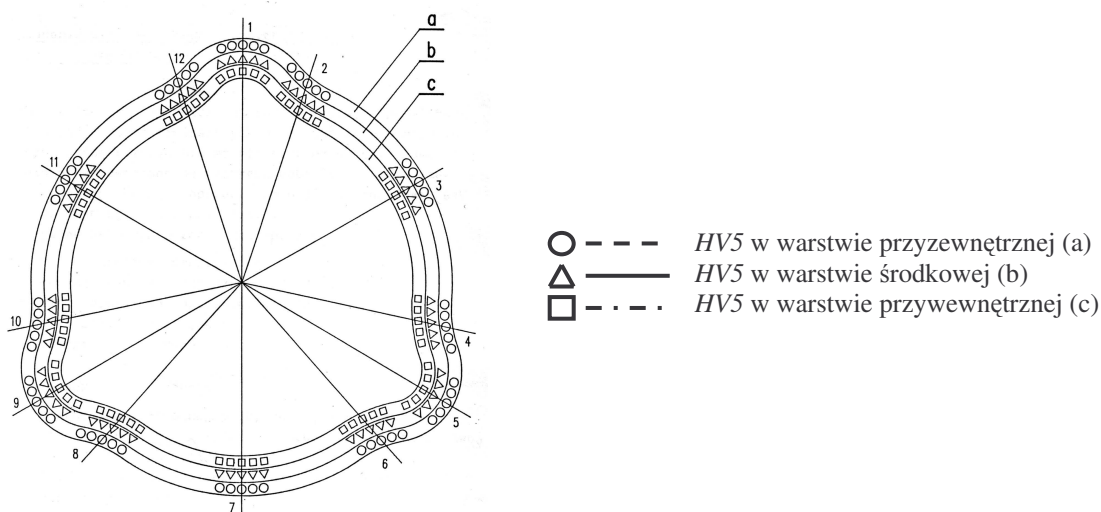
Wycinki pierścieni okrągłej rury wsadowej i otrzymanej rury trójgarbnej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wycinki pierścieni okrągłej rury wsadowej i otrzymanej rury trójgarbnej

W pracy przedstawiono wyniki badań rozkładu własności mechanicznych na przekrojach poprzecznych wyżej wymienionych rur trójgarbnych. W szczególności badano następujące własności mechaniczne: twardość ( $HV5$ ), umowna granica sprężystości ( $R_{0,05}$ ), umowna granica plastyczności ( $R_{0,2}$ ), wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ ), naprężenie zrywające ( $R_u$ ), wydłużenie względne ( $A_{10}$ ) oraz przewężenie względne ( $Z$ ), a także wskaźnik zapasu plastyczności ( $R_{0,2}/R_m$ ).

Badania te przeprowadzono na przekrojach poprzecznych rur w charakterystycznych miejscach, tj. w wierzchołkach garbów, w stopach garbów i w środkach części cylindrycznych, a w przypadku badań twardości  $HV5$  ponadto pomiary realizowano w trzech warstwach: przyzewewnętrznej (a), środkowej (b), przywewnętrznej (c). Miejsca pomiarów twardości przedstawiono na rys. 2. Próbkę (w formie pierścieni wyciętych z rur) do badań twardości zainkludowano oraz szlifowano i polerowano zgodnie z ogólnie przyjętymi procedurami.

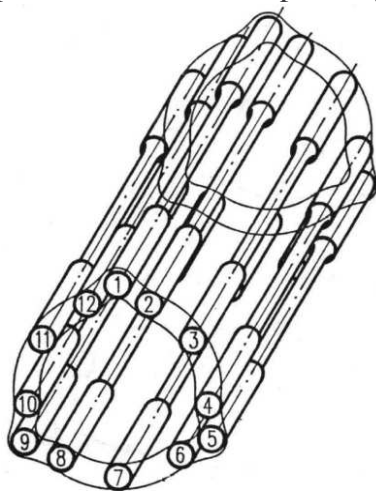


Rys. 2. Miejsca pomiaru twardości HV5 na przekrojach poprzecznych rur trójgarbnych

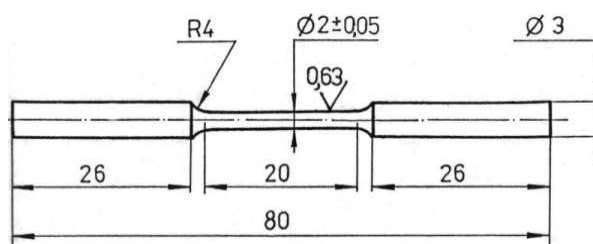
Badania twardości przeprowadzono metodą Vickersa za pomocą twardościomierza Zwick 3212, stosując obciążenie wglębniaka twardościomierza równe 49 N (ok. 5 kG) i czas działania obciążenia 15 s.

Badania pozostałych własności mechanicznych przeprowadzono w oparciu o statyczną próbę rozciągania przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick. Do badań stosowano specjalnie wykonane minipróbki wycięte z uprzednio wspomnianych miejsc charakterystycznych przekroju rur trójgarbnych. Miejsca pobrania tych próbek przedstawiono na rys. 3., a kształt i wymiary próbek na rys. 4.

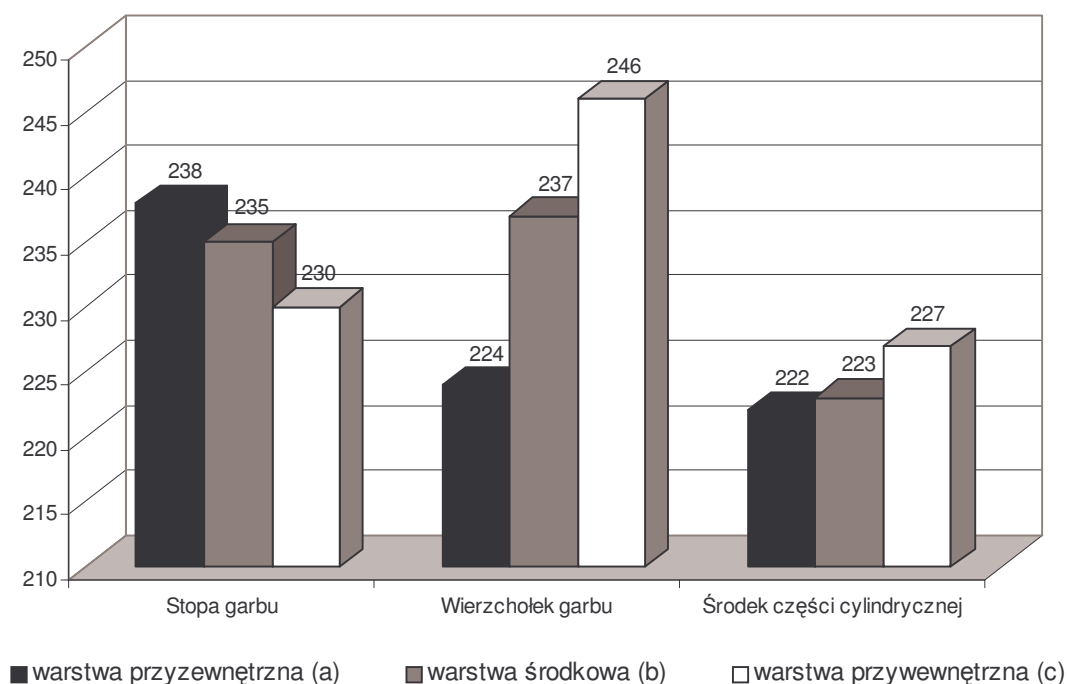
Wyniki pomiaru twardości na przekrojach rur przedstawiono na rys. 5. i 6.



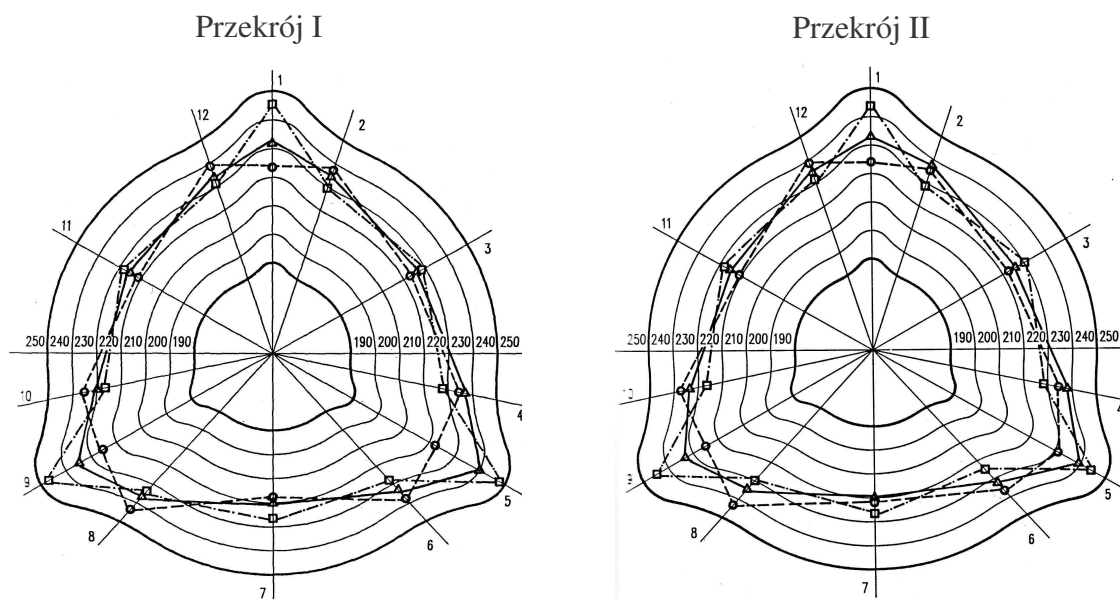
Rys. 3. Miejsca pobrania próbek z rury trójgarbnej



Rys. 4. Kształt i wymiary próbek do badań własności mechanicznych określonych w oparciu o statyczną próbę rozciągania



Rys. 5. Wartości średnie twardości  $HV_5$  w charakterystycznych miejscach przekroju poprzecznego rury trójgarbnej



Rys. 6. Rozkład twardości  $HV_5$  na przekrojach poprzecznych rury trójgarbnej

Analizując rozkłady twardości  $HV_5$  na przekrojach poprzecznych rur trójgarbnych (rys. 5 i 6) można stwierdzić, co następuje.

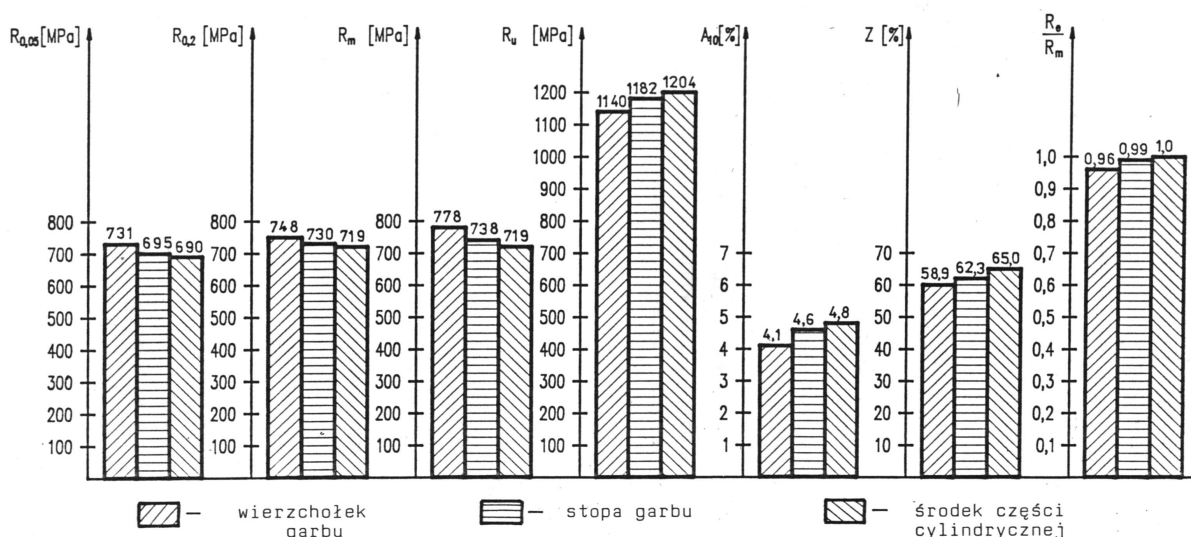
W wierzchołkach garbów wartości twardości są najwyższe, zwłaszcza w warstwach „b” i „c” i rosną kolejno od warstwy „a” do warstwy „c”. Kierunek wzrostu twardości w poszczególnych warstwach wierzchołka garbu jest odwrotny niż kierunek w stopie garbu. Spośród trzech miejsc charakterystycznych przekroju rury, w wierzchołku garbu występuje

największe zróżnicowanie twardości w poszczególnych warstwach. Uzyskano tu, zgodnie z zamierzeniem, najwyższą twardość w wierzchołku, w warstwie przywewnętrznej „c”, co jest bardzo korzystne w przypadku przeznaczenia tej rury na zewnętrzny element teleskopu wału przegubowo–teleskopowego, gdyż ta część rury w trakcie pracy wału przenosi obciążenie i przesuwa się po rurze wewnętrznej wału.

W stopie garbu rury, wartości twardości  $HV5$  są pośrednie w porównaniu z dwoma pozostałymi miejscami charakterystycznymi przekroju, przy czym najwyższe wartości  $HV5$  występują na przekroju w warstwie „a”, a najniższe w warstwie „c”.

W środku części cylindrycznej rury wartości twardości są najniższe i praktycznie nie różnią się w poszczególnych warstwach.

Wyniki badań własności mechanicznych rur w charakterystycznych miejscach przekroju poprzecznego, określone w oparciu o statyczną próbę rozciągania, przedstawiono na rys. 7. Najwyższe wartości własności wytrzymałościowych ( $R_{0,05}$ ;  $R_{0,2}$ ;  $R_m$ ;  $R_u$ ) występują w wierzchołkach garbów, a najniższą w środku części cylindrycznej. Odpowiednio odwrotnie w poszczególnych miejscach charakterystycznych kształtują się wartości własności plastycznych ( $A_{10}$ ;  $Z$ ).



Rys. 7. Własności mechaniczne materiału w charakterystycznych miejscach przekroju poprzecznego rury trójgarbnej

### 3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

Na przekrojach poprzecznych stalowych rur trójgarbnych uzyskanych w procesie ciągnięcia występuje znacząca niejednorodność własności mechanicznych ( $R_{0,2}$ ;  $R_{0,05}$ ;  $R_m$ ;  $R_u$ ;  $A_{10}$ ;  $Z$ ;  $R_{0,2}/R_m$ ) w charakterystycznych miejscach, tj. wierzchołka garbu, stopy garbu i części cylindrycznej.

Największą wartość własności mechanicznych ( $R_{0,05}$ ;  $R_{0,2}$ ;  $R_m$ ;  $R_u$ ) występują w wierzchołkach garbu rury. Jednocześnie w miejscach tych występują najniższe wartości własności plastycznych ( $A_{10}$ ;  $Z$ ).

Najniższe wartości ww. własności wytrzymałościowych występują w częściach cylindrycznych rury. Jednocześnie w miejscach tych występują najwyższe własności plastyczne.

Pomiędzy badanymi warstwami na grubości ścianki rury, tj. przywewnętrznej (a), środkowej (b), przyzewewnętrznej (c) istnieje zróżnicowanie wartości twardości HV5. Największe zróżnicowanie twardości występuje w warstwach, w wierzchołkach garbów i wartości te rosną w kierunku od warstwy „a” do warstwy „c”, gdzie osiągają najwyższe wartości na przekroju rury. Pośrednie zróżnicowanie występuje w warstwach, w stopach garbów, a kierunek wzrostu twardości jest odwrotny niż w wierzchołkach garbów. Natomiast najniższe zróżnicowanie twardości występuje w częściach cylindrycznych rury, gdzie wartości twardości są bardzo zbliżone.

Uzyskanie, zgodnie z zamierzeniami, w procesie ciągnięcia rur trójgarbnych, najwyższych wartości własności wytrzymałościowych w wierzchołkach rury, a zwłaszcza maksymalnej twardości w warstwie przywewnętrznej (c), jest bardzo korzystne (ze względu na warunki pracy), w przypadku przeznaczenia tej rury na element zewnętrzny teleskopu wału.

Znajomość rozkładu własności mechanicznych na przekroju poprzecznym rur trójgarbnych, oprócz aspektu poznawczego posiada również aspekt użytkowy – związany z projektowaniem procesów technologicznych wytwarzania rur profilowych oczekiwanych własnościach.

Liczne zalety rur profilowych i tendencje do podwyższania ich jakości wskazują na celowość prowadzenia dalszych, ukierunkowanych badań rozkładu własności mechanicznych na przekroju poprzecznym rur o innych kształtach przekroju.

## LITERATURA

1. Oczkowicz T.: Ustalanie zasadniczych parametrów procesu ciągnięcia rur kwadratowych na trzpieniu swobodnym. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Wydział Mechaniczny Technologiczny. Gliwice 1980.
2. Oczkowicz T. Tyma A.: Opracowanie technologii wytwarzania i wykonanie serii informacyjnej rur profilowych na wały przegubowo–teleskopowe stosowane do napędu maszyn rolniczych. Sprawozdanie z pracy naukowo–badawczej nr NB–72/RMT–1/82. Instytut Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985. Zleceniodawca: Kombinat Maszyn Rolniczych „AGROMET” w Lublinie (nie publikowane).
3. Oczkowicz T. Tyma A.: Ciągnięcie precyzyjne rur prostokątnych na wały przegubowo – teleskopowe stosowane do napędu maszyn rolniczych. Materiały II Polsko – Czechosłowackiej Konferencji Hutniczej nt. ‘Postęp w technologii wytwarzania stalowych rur precyzyjnych’. Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, Vyzkumny Ustav Hutnictwi Železa, Dobra (CSSR). Ustroń–Jaszowiec, 4–6.11.1986, s.189 – 196.
4. Oczkowicz T.: Opracowanie wytycznych techniczno–technologicznych dla uruchomienia produkcji rur prostokątnych na wały przegubowo–teleskopowe do napędu maszyn rolniczych. Sprawozdanie z pracy naukowo–badawczej nr NB–523/RMT–1/86. Instytut Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej. Gliwice 1987. Zleceniodawca: Biuro Projektów Przemysłu Hutniczego „BIPROHUT” w Gliwicach (nie publikowane).
5. Oczkowicz T. Tyma A.: Technologia ciągnięcia precyzyjnych rur prostokątnych. Przegląd Mechaniczny 1988, nr 24, s. 31 – 32.
6. Oczkowicz T.: Combined rolling and drawing. Steel technology International 1995/96, p. 205 – 206.