

Jan Artymiuk*, Stanisław Bednarz*, Wiesław Kielbik**

ANALIZA KONSTRUKCYJNA STREF ZGRZANIA RUR PŁUCZKOWYCH***

1. WPROWADZENIE

Przewód wiertniczy jest długim wydrążonym wałem, w którego budowie występują różne elementy rurowe, w szczególności są to rury płuczkowe i obciążniki. Inne elementy specjalistyczne, jak: stabilizatory, amortyzatory, nożyce, itp. wprowadza się w celu poprawy pracy przewodu wiertniczego. Specjalne łączniki stosuje się przy zmianach średnic. Poszczególne części przewodu wiertniczego łączone są ze sobą przy pomocy stożkowych połączeń gwintowych z czołami oporowymi [4, 5]. Podstawowy element przewodu wiertniczego – rura płuczkowa o długościach od 8,5 m do 9,5 m i średnicach od $3\frac{1}{2}$ " do $6\frac{5}{8}$ " składa się z odcinka rury spęczanej na końcach w temperaturze sięgającej 1260°C , do których zgrzewane są zworniki: czop i mufa z naciętymi prawymi gwintami narzędziowymi o zaokrąglonych trójkątnych zarysach: (V-038) dla połączeń NC, (V-065) dla połączeń IF oraz (V-040.V-050) dla połączeń Reg oraz (V-040,050,065) dla połączeń FH. Przykładową technologię wykonania rury płuczkowej pokazano na rysunku 1.

2. PROCES TECHNOLOGICZNY

W czasie produkcji (rys. 1) cała długość rury jest poddana obróbce cieplnej i podlega kontroli jakości, w tym m.in. poprzez 100% kontrolę magnetyczną. Odcinek wewnętrzny rury płuczkowej stanowi rura walcowana bez szwu i spęczana na końcach.

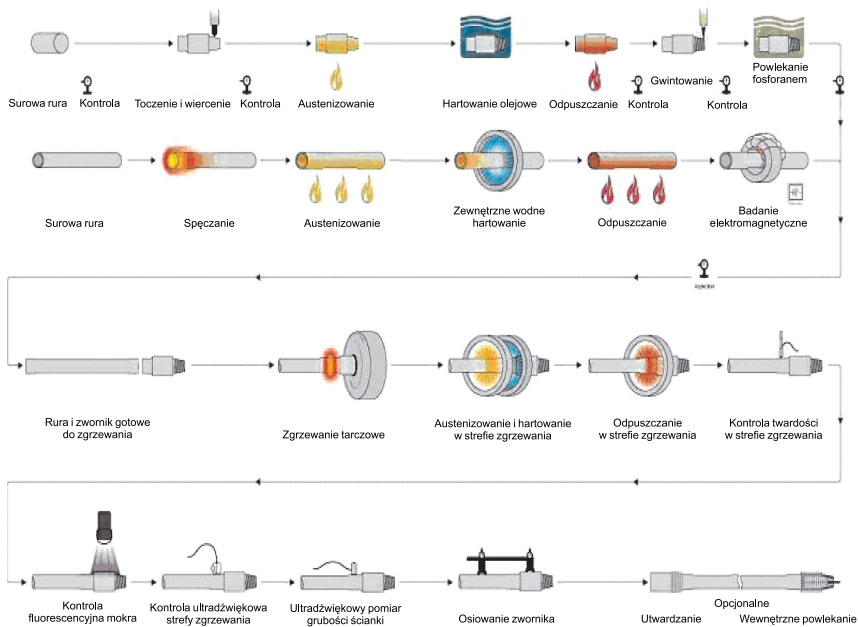
Końce rur są wykonywane jako [2]:

- spęczane wewnątrznie (*internal upset*),
- spęczane zewnątrznie (*external upset*),
- spęczane wewnątrznie i zewnątrznie (*internal end external upset*).

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Poszukiwania Nafty i Gazu Kraków Sp. z o.o., Kraków

*** Praca wykonana częściowo w ramach badań własnych



Rys. 1. Przykładowy proces technologiczny produkcji rur płuczkowych z oddzielnie wykonanymi zwornikami

Rury płuczkowe o mniejszych średnicach z reguły posiadają końce spęczone na zewnątrz i w miarę wzrostu średnicy zewnętrznej wielkość spęczenia przesuwają się w kierunku wewnętrznym aż do spęczenia tylko do wewnątrz przy gładkiej rurze na zewnątrz.

Para zworników: czop i mufa, wykonywane są oddzielnie. Następnie łączy się końce zworników z odpowiednio przygotowanymi końcami rur metodą zgrzewania tarczowego lub indukcyjnego, po czym poprzez obróbkę skrawającą wyrównuje się powierzchnie w miejscu zgrzewania. Zworniki przed połączeniem posiadają nacięte gwinty, utwardzone powierzchnie oraz są obrobione cieplnie. Strefa zgrzewania podlega obróbce skrawającej w celu usunięcia wypływek: wewnętrznej i zewnętrznej. Obróbka wyrównująca nadaje ostateczny kształt profilu zewnętrznego i wewnętrznego strefy zwornik-rura. Jest to strefa charakteryzująca się zmiennymi przekrojami poprzecznymi.

Najmniejszy przekrój poprzeczny rury przechodzi ostatecznie w największy przekrój poprzeczny zwornika. Zgrzewany koniec rury jest wcześniej spęcany w celu zwiększenia przekroju zgrzewania i jego wytrzymałości.

Połączenie gwintowe, strefa zgrzewania i obszar w jej pobliżu to miejsca, w których występują najniebezpieczniejsze koncentracje naprężeń zmniejszające niezawodność pracy przewodu wiertniczego.

3. AWARIE

Na otworze wiertniczym Odrowążek 1 wystąpiło 9 charakterystycznych pęknięć w rurach płuczkowych, (przykładowe pęknięcia pokazano na rys. 2). Wszystkie pęknięcia wystąpiły w zakresie odległości od 37,0 do 100,0 cm od czół: czopa lub mufy przy średniej

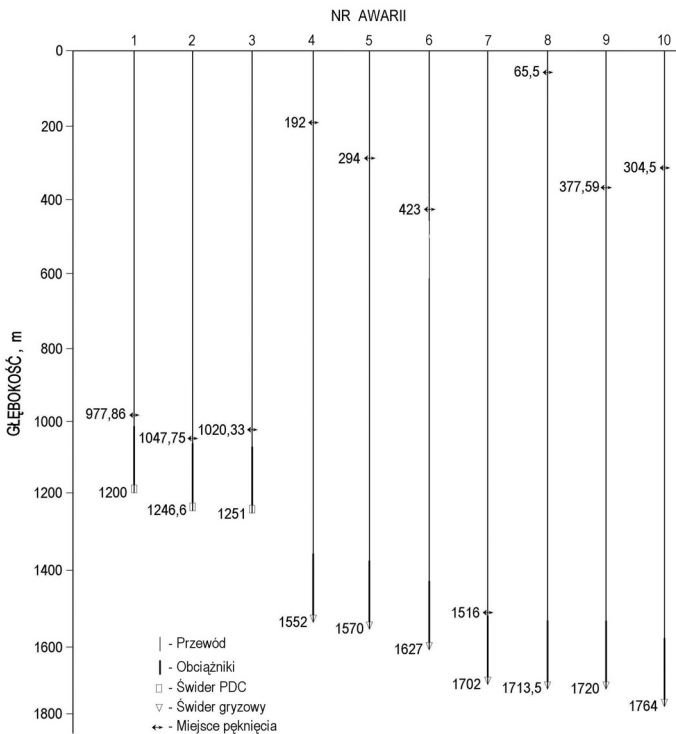
odległości wynoszącej 55,7 cm. W siedmiu przypadkach pęknięcia wystąpiły bliżej zwornika z mufą, tutaj rozrzut odległości pęknięć od czoła mufy lokalizuje się w zakresie od 41,0 do 69,0 cm przy średniej wynoszącej 52,1 cm.



Rys. 2. Pęknięcie rury 187 (a) na początku spęcznienia jej końca w odległości 47,6 cm od czoła mufy, rury 48 (b) na początku spęcznienia jej końca w odległości 46,4 cm od czoła mufy oraz rury 50 (c) w caliznie w odległości 100 cm od czoła czopa

Z powyższego zestawienia wynika, że większość pęknięć miała miejsce w tym samym obszarze lub jego pobliżu. Tym obszarem jest początek spęczniania końca rury. Głębokości pęknięć były bardziej rozrzucone. Ich miejsca pokazano na rysunku 3.

Strefy pęknięć – obszary spęczniania końców rur płuczkowych poddano analizie konstrukcyjnej.



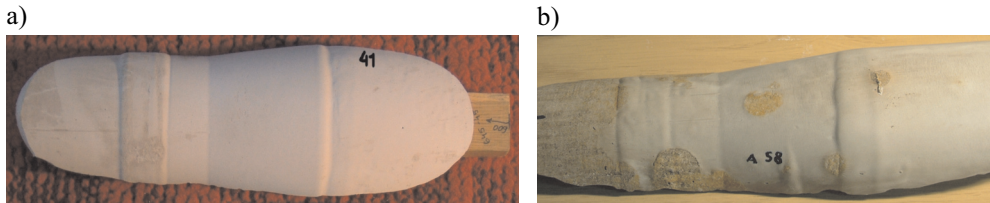
Rys. 3. Schematyczne zestawienie poszczególnych awarii oraz położenia poszczególnych pęknięć przewodu mierzone od wierzchu

4. ANALIZA KONSTRUKCYJNA STREF ZGRZANIA RUR PŁUCZKOWYCH

Analizie konstrukcyjnej poddano odcinki rur z miejscami pęknięcia – strefy spęczenia i zgrzania rur ze zwornikami – mufami [1]. Sporządzono odlewy wewnątrz tych rur.

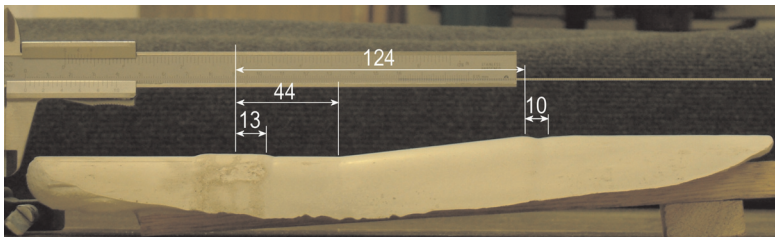
Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe odlewy.

Strefy pęknięć – obszary spęczenia końców rur płuczkowych poddano analizie konstrukcyjnej.



Rys. 4. Odlew wewnętrzny odcinka rury nr 41 (a) w strefie zgrzania i spęczenia w dowolnie wybranej płaszczyźnie oraz odcinka rury nr 58 (b) w strefie zgrzania i spęczenia w płaszczyźnie pęknięcia

Następnie wykonano pomiary geometrii profili zewnętrznych odlewów – wewnętrznych rur (rys. 5 i 6) oraz pomiary geometrii profili zewnętrznych rur.

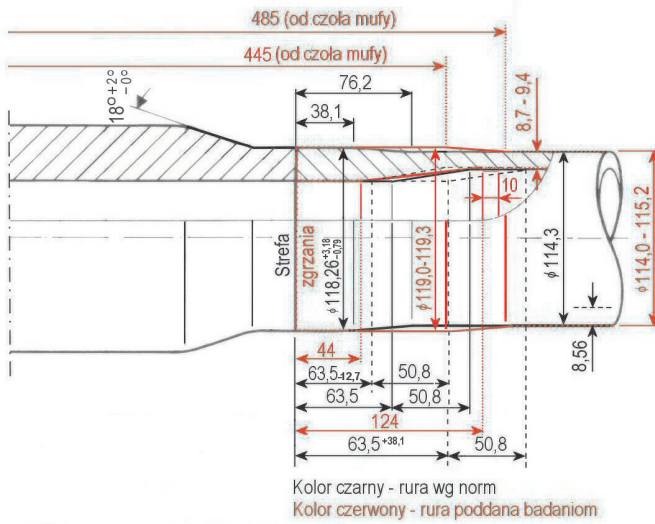


Rys. 5. Wymiary profilu wewnętrznego zdjęte z odlewu rury nr 41 w płaszczyźnie jej pęknięcia

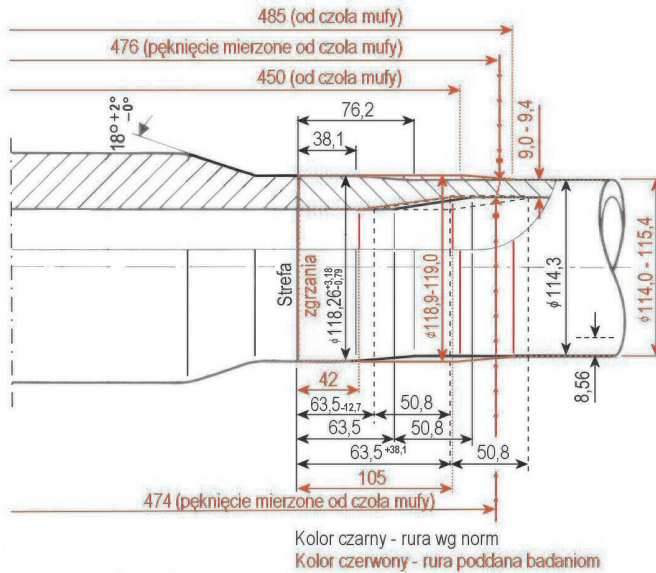


Rys. 6. Wymiary profilu wewnętrznego zdjęte z odlewu rury nr 58 w płaszczyźnie jej pęknięcia

Pomierzone odległości profili charakterystycznych przekrojów (wewnętrznych i zewnętrznych) przedstawiono graficznie (rys. 7 i 8) na zasadzie porównania wymiarów rzeczywistych z wymiarami zawartymi w normach: PN-EN ISO 11961:1996 i API Spec 5D [2, 3].



Rys. 7. Profil zewnętrzny i wewnętrzny końca spęczonego rury wykonanej według norm: [2, 3] i badanej rury nr 41

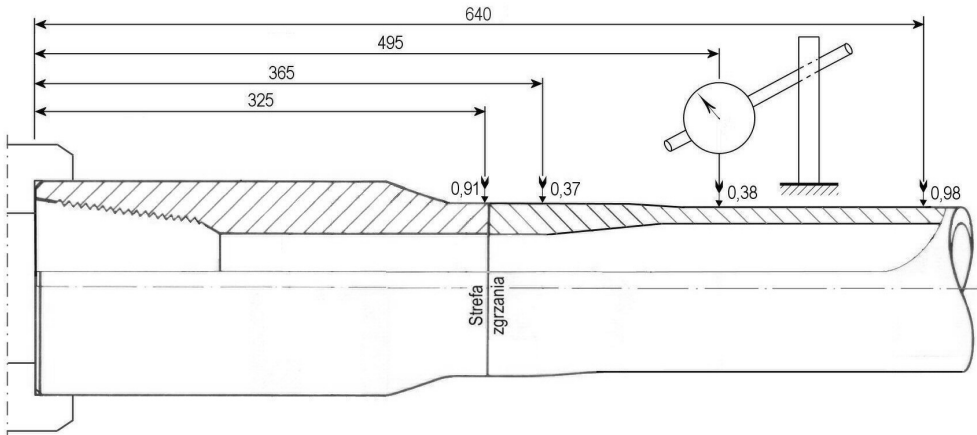


Rys. 8. Profil zewnętrzny i wewnętrzny końca spęczonego rury wykonanej według norm: [2, 3] i badanej rury nr 58

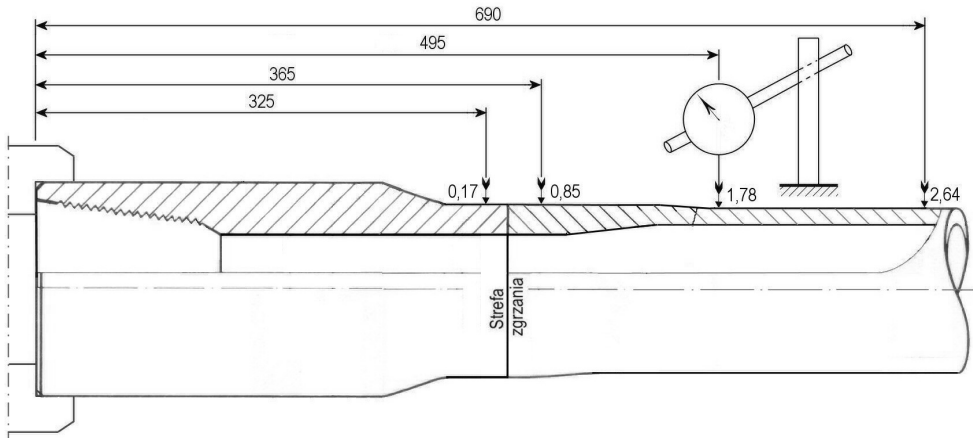
Z porównania wynika, że profile rzeczywiste odbiegają od kształtu normowego. Szczególną różnicę zauważa się w długości spęczenia zewnętrznego. W związku z tym koniec stożka spęczenia wewnętrznego bardzo zbliżył się do końca stożka spęczenia zewnętrznego.

nego. Następuje dwustronna zmiana przekroju do grubości ścianki rury w caliznie, przebiegająca w blisko siebie położonych płaszczyznach. Jest to niekorzystne z punktu widzenia rozkładu obciążeń przenoszonych przez rurę.

Istotną rolę w pracy rury płuczkowej odgrywa jej współśrodkowość. Zwornik powinien być zgrzany współśrodkowo ze spęczonym końcem rury. Jest to trudne technologicznie. Dlatego w tym przypadku norma PN-EN ISO 11961:1996 [2] dopuszcza znaczne odchylenia. Dokonano pomiarów współśrodkowości rury nr 41 i 58. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 9 i 10.



Rys. 9. Pomiar współśrodkowości odcinka rury nr 41



Rys. 10. Pomiar współśrodkowości odcinka rury nr 58

Współśrodkowość badanych odcinków rur ze zwornikami (mufami): nr 41 i nr 58 nie przekracza dopuszczalnych odchyżeń podanych w normie PN-EN ISO 11961:1996 [2] dla końców rur ze spęczeniami.

5. PODSUMOWANIE

W przeprowadzonej analizie konstrukcyjnej stwierdzono, że wymiary rzeczywiste w strefie spęczenia i zgrzania badanych rur odbiegają od kształtu wynikającego z wymiarów wg norm: [2, 3]. Szczególną różnicę zauważa się w długości spęczenia zewnętrznego. Koniec stożka spęczenia zewnętrznego znajduje się bardzo blisko końca stożka spęczenia wewnętrznego. Następuje dwustronna zmiana przekroju grubości ścianki rury w całej długości. Zmiana ta przebiega w blisko siebie położonych płaszczyznach. Jest to niekorzystne z punktu widzenia rozkładu obciążeń przenoszonych przez rurę. Obciążenia te wywołują w płaszczyznach zmian przekrojów koncentrację naprężeń potęgowaną dodatkowo wgłębieniami powstałymi w procesie spęczenia i zgrzewania. Zamieszczone na rysunku 4 nierówności (fałdy) widoczne na odlewach, wykonane zostały bez zdjęcia plastikowej wewnętrznej powłoki ochronnej, która je w pewnym stopniu niweluje. W rzeczywistości mogą one być jeszcze większe. Spowodowane tymi nierównościami występy i wgłębienia wywołują zjawiska lokalnych karbów, które występują równocześnie z koncentracją naprężeń wynikającą z dwustronnych zmian przekrojów występujących w wyniku spęczenia w blisko siebie położonych płaszczyznach. To wszystko może powodować, że naprężenia zredukowane w warunkach dynamicznych mogą przekroczyć dopuszczalne wartości naprężeń dla danego pracującego przekroju rury. Jest to jedna z przyczyn, która powodowała pękanie rur płuczkowych.

LITERATURA

- [1] Artymiuk J., Bednarz S.: *Badania przyczyn pęknięć i wypłukań rur płuczkowych 4¹/₂"*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu, LBAUWiE, Kraków, styczeń 2005 (Praca badawcza)
- [2] PN-EN ISO 11961:2001. *Przemysł naftowy i gazowniczy. Rury stalowe stosowane jako rury płuczkowe. Specyfikacja techniczna*
- [3] API Spec 5D. *Specification for Drill Pipe. Edition: 5th. 01-Oct-2001*
- [4] API RP 7G. *Recommended Practice for Drill Stem Design and Operation Limits (Includes November 2003 Addendum)*. Edition: 16th. 01-Aug-1998
- [5] API RP 7G Addendum 1. *Recommended Practice for Drill Stem Design and Operation Limits (Includes May 2000 Errata)*. 01-Nov-2003