

Stanisław Bednarz*, Jan Artymiuk*

PROBLEMY EKSPLOATACJI WRZECION GŁOWIC PŁUCZKOWYCH**

1. WSTĘP

W oparciu o analizę i badania uszkodzenia wrzeciona głowicy płuczkowej Skytop 6-SX wiertnicy Skytop TR-800 przeprowadzono analizę tego węzła konstrukcyjnego. Główne parametry techniczne wiertnicy przedstawiają się następująco:

- wyciąg wiertniczy – Model – N-4610;
- maszt – Model 115-XF-410;
- wielokrążek ruchomy – z hakiem BJ Unimatic Hook-Block 6250, 5 krążków, o udźwigu 2224 kN i masie całkowitej 5391 kg;
- głowica płuczkowa – Model 6-SX, Nr fabr. 6330;
- lina wielokrążkowa – 28 WS 8×31 + Ao Z/S n 1 g 1570;
- udźwig na haku – 1824 kN przy 10 linach nośnych;
- materiał wrzeciona – AISI 4140 (40HM);
- łącznik wrzeciona – C 6 5/8 WPL x M 5" WPL;
- data produkcji/dostawy – 1980/1992 r.;
- moc napędu – 597 kW;
- nominalna głębokość wiercenia – 3000 m przewodem 4 1/2";
- głębokość odwiertów obsługiwanych – 7620 m przewodem 2 7/8";
- masa – 91 400 kg (bez układu pompowego).

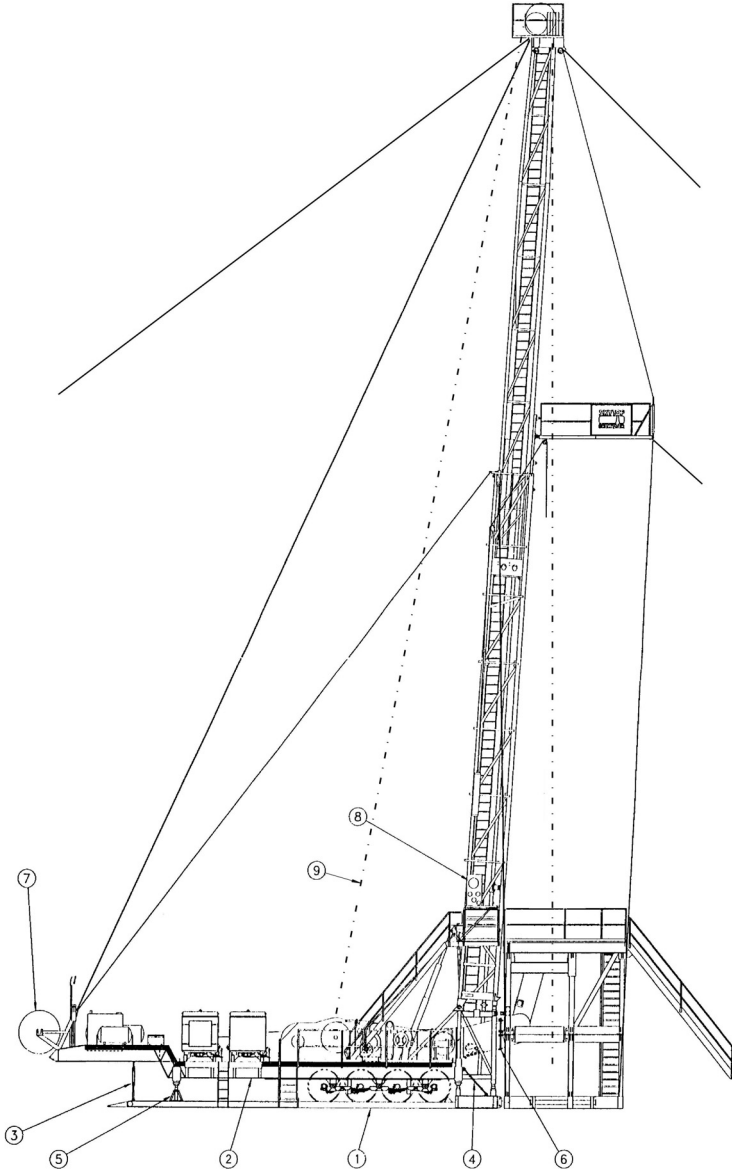
Urządzenie wiertnicze TR-800 jest urządzeniem przewoźnym zabudowanym na naczepie o 4 osiach wyprodukowanym przez Skytop Brewster, firmę przejętą wiele lat temu przez obecną National Oilwell Varco (NOV).

Maszt wiertniczy z 6 krążkami w wielokrążku koronowym jest konstrukcją kratową wykonaną głównie z rur, elementów kratownicy wykonanych z ceowników stalowych,

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych

składa się z dwóch części: dolnej i górnej wysuwanej teleskopowo po jego postawieniu (rys. 1). Podnoszenie lub opuszczanie złożonego masztu z położenia poziomego do pionowego następuje przy pomocy dwóch siłowników hydraulicznych trzypostopowych.



Rys. 1. Urządzenie wiertnicze Skytop Brewster TR-800 z masztem w pozycji roboczej.
 1 – leżnia; 2 – naczepa; 3, 4 i 6 – śruby rzymskie; 5 – podnośniki naczepy;
 7 – bęben zapasowej liny; 8 – ciężarowskaz; 9 – lina bębnowa

2. OBCIĄŻENIA UKŁADU WYCIĄGOWEGO

W układzie wyciągowym urządzenia wiertniczego TR-800 występuje wielokrążek ruchomy z hakiem o długości 3,07 m, podwiesza on w czasie wiercenia głowicę płuczkową o długości 2,28 m i tworzy wraz z nią przegubowy układ o masie 6461 kg. Jest zawieszony na 10 linach układu wielokrążkowego i napędzany jest przez wyciąg wiertniczy.

Maszt o wysokości 35,05 m jest kotwiczony do platformy naczepy czterema odciągami po dwa do korony masztu i dwa do wierzchu części dolnej tzn. węzła usztywniającego. Pozostałe odciągi są mocowane do kotwi ziemnych dwoma odciągami do tylnej części korony i dwoma odciągami do mostka wieżowego zgodnie ze specyfikacją „na krzyż”. Nachylenie masztu wynosi $2^{\circ}30'$, a odległość stóp masztu do osi otworu wynosi 1,537 m (5 stóp i 0,5 cala). Maszt wiertniczy podczas operacji wyciągowych poddany jest działaniu sił pochodzących od:

- ciężaru przewodu wiertniczego,
- dodatkowej siły przyłożonej ewentualnie dla uwolnienia przewodu z przychwycenia,
- siły w linie bębnowej,
- siły w linie martwej,
- parcia wiatru na konstrukcję masztu,
- napięcia odciągów linowych,
- ciężaru własnego.

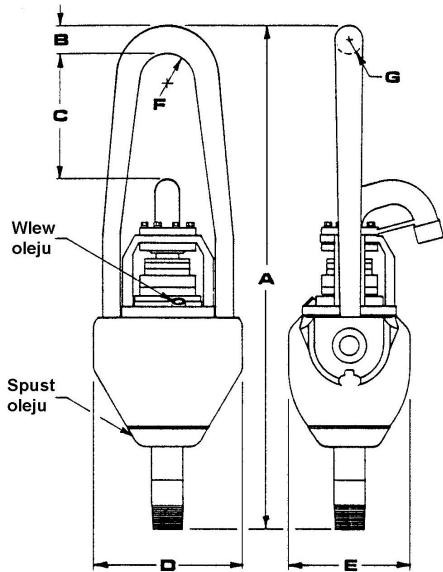
Obciążenia pochodzące od odstawionego przewodu wiertniczego przy znacznej długości zapuszczonego przewodu do otworu są małe, zależne od liczby pasów przewodu opartych o palce oporowe mostka wieżowego.

3. URWANIE WRZECIONA

Podczas próby uwolnienia przewodu z przychwycenia przy sile napinania kolumny 1524 kN doszło do zerwania połączenia gwintowego wrzeciona, złamania masztu, upadku górnej części wraz z wielokrążkiem i głowicą płuczkową (rys. 1). W otworze pozostał przewód z graniatką wystającą ok. 5 m ponad stół wraz z zaworem nadgraniatkowym (zamkniętym po złamaniu masztu), łącznikiem z urwanym czopem wrzeciona utkwionym w mufie łącznika oraz mechanizmem do skręcania graniatki. Układ wielokrążkowy jest usytuowany w płaszczyźnie poprzecznej prostopadłej do osi wzdłużnej urządzenia wiertniczego, oznacza to, że dynamiczne napinanie kolumny przewodu może wywoływać boczne ruchy wielokrążka ruchomego z hakiem zawieszonymi na maszcie przy wahającym się jego nachyleniu.

Charakterystyka techniczna głowicy płuczkowej Skytop Brewster 6-SX przedstawiona jest na rysunku 2. Głowica płuczkowa 6-SX z lat osiemdziesiątych była poddana, w tym także wrzeciono, w 2005 r. badaniom nieniszczącym ultradźwiękowym, niewykazując uszkodzeń gwintu. W 2006 r. wykonano łącznik mufa 5 1/2" WP lewy x czop 6 5/8" WP lewy. Średnica wrzeciona głowicy wynosiła 152,5 mm (6"), podczas gdy średnica czoła oporowego współpracującego łącznika (rys. 3) wynosiła 165,1 mm (6 1/2"). W przypadku wrzeciona brak było skosu czoła oporowego. Istotny dla właściwej pracy połączeń gwintowych podlegających zginaniu współczynnik wytrzymałości na zginanie BSR (*Bending*

Strength Ratio) jako iloraz wskaźnika przekroju na zginanie krytycznego mufy (w płaszczyźnie wyznaczonej przez koniec czopa) do wskaźnika przekroju na zginanie czopa w odległości 19,05 mm od czoła oporowego, jak wykazuje obliczenie, wynosi tutaj 3,44. Oznacza to, że mając wartość powyżej 3,2 tworzy on bardzo niekorzystne warunki pracy dla gwintu czopa wrzeciona, jeżeli narażony jest na zginanie.



Rys. 2. Głowica płuczkowa Skytop Brewster 6-SX



Rys. 3. Łącznik z wrzecionem

Mała szerokość czoła oporowego wynosząca 6,5 mm stwarza konieczność szczególnego zwrócenia uwagi na odpowiedni moment skręcenia połączenia gwintowego. W tym połączeniu, co prawda nie występują naprężenia skręcające spowodowane momentem obrotowym podczas wiercenia, a jedynie naprężenia rozciągające powiększane dynamicznie o naprężenia zginające wskutek zwiększonego nachylenia masztu przy dużym obciążeniu na haku, to jednak podczas uwalniania przewodu z przychwycenia naprężenia w gwincie są znaczne. Wywołane są one dużą wolnozmienną siłą rozciągającą (ciężar przewodu oraz dodatkowa siła napinająca) oraz momentem zginającym z powodu zmiennego nachylenia masztu i odchylenia od osi otworu układu wielokrążkowego wraz z głowicą podczas operacji uwalniania. Z uwagi na uszkodzenia czopa spowodowane odkształceniami przy urwaniu niemożliwe było wykonanie wiarygodnych pomiarów wszystkich parametrów geometrycznych gwintu API 5 9/16 API LH TJ.

Moment skręcenia montażowego połączenia gwintowego, jak wiadomo, jest uzależniony od geometrii gwintu, współczynnika tarcia (jakości smaru i powierzchni), wymaganego docisku na czołach, który zawsze powinien być utrzymany nawet przy dużych siłach rozciągających zmniejszających jego wartość. Niedopuszczalne jest spowodowanie zero-

wego styku czół oporowych lub też wywołanie naprężeń rozciągających w czopie sięgających granicy plastyczności materiału. Wrzeczono zostało wykonane ze stali niskostopowej AISI 4140 (zbliżonej do 40HM) o następującym składzie chemicznym (%) (tab. 1).

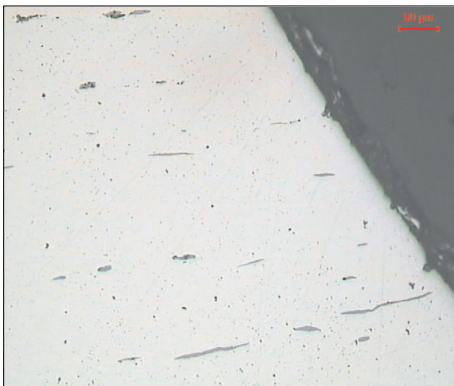
Tabela 1

Skład chemiczny stali AISI 4140

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
0,40	0,23	0,87	0,014	0,020	1,0	0,12	0,16	0,18

Własności mechaniczne określone w próbie na rozciąganie ($R_e = 738 \text{ MPa}$, $R_m = 886 \text{ MPa}$) oraz w próbie pracy łamania ($KV = 14,5 \text{ J}$) są od 3% do 12% mniejsze od współcześnie wymaganych dla tego rodzaju sprzętu. Znaczny rozrzut własności w poszczególnych próbach wytrzymałościowych był wynikiem niejednorodnej struktury i występowania wtrąceń niemetalicznych. Nośność tego połączenia gwintowego przy założeniu działania tylko siły wzdłużnej osiowej (5472 kN) jest znacznie większa od siły pionowej działającej podczas uwalniania przewodu z przychwycenia (1524 kN); ta duża różnica uległa zmniejszeniu przy działaniu momentu zginającego. Do urwania i złamania czopa przyczyniły się dynamiczne obciążenia osiowe i zginające.

Rysunki 4 i 5 przedstawiają wygląd struktury w rejonie pęknięcia. Stal była w stanie ulepszonym cieplnie. Jej struktura odpowiada własnościom wytrzymałościowym i poziomowi własności plastycznych.

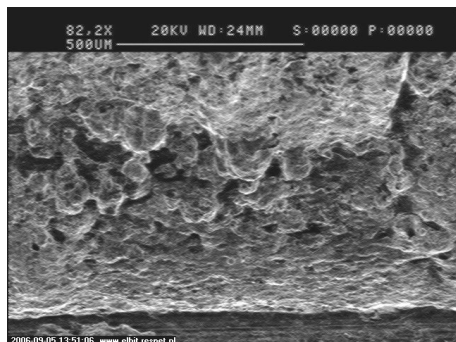


Rys. 4. Pasma wtrąceń niemetalicznych w stali

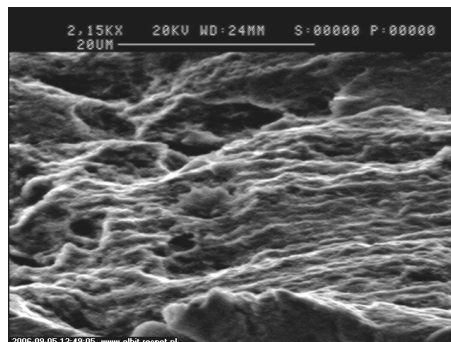


Rys. 5. Wyraźnie zniekształcony profil gwintu w pobliżu pęknięcia w czwartym rowku

Aby określić dokładnie charakter pęknięcia przeprowadzono badania przełomów w mikroskopie skaningowym. Wygląd przełomów pokazany jest na rysunkach 6 i 7. Analiza powierzchni przełomów rozwijających się od dna gwintu wskazuje na obecność prążków zmęczeniowych.



Rys. 6. Wygląd pęknięcia zmęczeniowego na dnie gwintu



Rys. 7. Prążki zmęczeniowe w pobliżu dna gwintu

4. OCENA PRZYCZYŃ URWANIA WRZECIONA GŁOWICY PŁUCZKOWEJ

Na podstawie wyników badań i analiz stwierdzono, że przyczyną urwania i złamania czopa wrzeciona głowicy płuczkowej były czynniki eksploatacyjno materiałowe. Oględziny wykręconego czopa oraz przeprowadzone badania metalograficzne pokazały, że w rowku drugiego gwintu oraz w rowku sąsiednim występowały pęknięcia zmęczeniowe. Czoło końcowe czopa wrzeciona uległo znacznej korozji powodującej wżery w powierzchni stali (rys. 8).



Rys. 8. Czoło końcowe czopa (skorodowane)

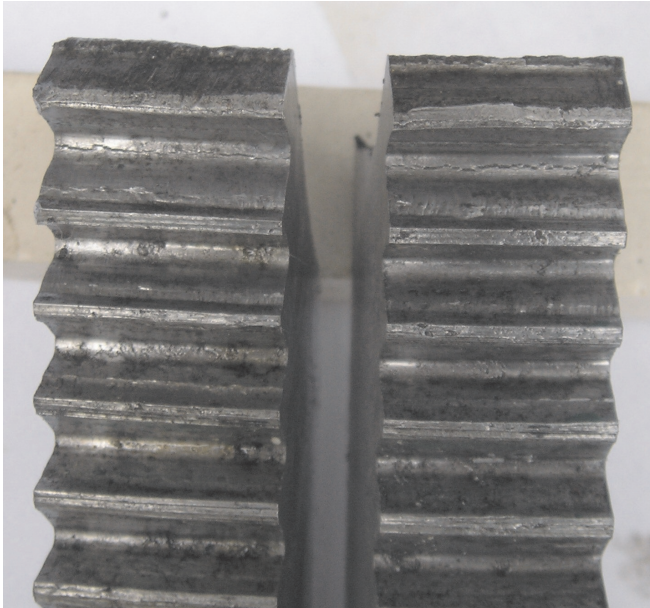


Rys. 9. Częstka stali w gwincie czopa

Przyjęto następujący mechanizm pęknięcia czopa wrzeciona.

Przy skręcaniu wrzeciona i łącznika między zwojami gwintów znajdowała się obca cząstka ze stali niskowęglowej. W wyniku tarcia została ona zgrzana z powierzchnią zwoju z utworzeniem tzw. „białej warstwy”. Pozostawiona cząstka stali w gwincie (rys. 9) była przemieszczana przy dużym tarcu powiększającym moment skręcenia montażowego połą-

czenie gwintowe wrzeciona z łącznikiem powodując w ten sposób prawdopodobne niewystarczające skręcenie. Szczelność i sztywność połączenia gwintowego poza dużymi naprężeniami stykowymi między graniami gwintu zapewnia przede wszystkim duże naprężenie stykowe między czołami oporowymi czopa i mufy. Z powodu tej części zazębienie między czopem a łącznikiem nie było właściwe. Po stronie przygrzanej cząstki obcego metalu gwint był zazębiony tylko częściowo na głębokość około 2 mm. Po przeciwnej stronie zazębienie było pełne. W efekcie, przy występowaniu momentu gnącego w połączeniu w procesie pracy układu głowica-wielokrażek z hakiem, w strefie najbardziej obciążonych gwintów (drugi i trzeci) pojawiły się pęknięcia zmęczeniowe (rys. 10). Za pierwszym zwojem gwintu nie występowały pęknięcia, gdyż gwint ten był mniej obciążony w wyniku braku styku z mufą na odcinku jej wewnętrznego odsadzenia.



Rys. 10. Pęknięcie czopa wrzeciona w rowku gwintu

Eksploatacja tak skręconego układu przy występowaniu drgań wzdłużnych i gnących spowodowała rozwijanie się pęknięcia zmęczeniowego najpierw do głębokości 1 do 2 mm, a następnie do 15 mm, gdy nastąpiło urwanie i złamanie wrzeciona głowicy i uszkodzenie masztu. Wcześniejsze pęknięcia zmęczeniowe przy zmiennym widmie tętniących naprężeń rozciągających połączonych z obrotowym zginaniem początkowo sięgające głębokości 1 mm stanowiły dużą koncentrację naprężeń. Należy równocześnie dodać, że same gwinty, tzn. dna ich rowków stanowią karby będące ogniskiem pęknięć zmęczeniowych. Nieduża powierzchnia złomu zmęczeniowego świadczy równocześnie o znacznym przeciążeniu przekroju krytycznego na skutek dynamicznych naprężeń rozciągających sumujących się z naprężeniami zginającymi. Niewysokie własności wytrzymałościowe materiału wrzeciona sprzyjają także powstaniu naprężeń krytycznych w pierwszych zwojach gwintu czopa.

5. PODSUMOWANIE

Pęknięcia zmęczeniowe powstałe we wcześniejszym okresie przy zmiennym widmie tętniących naprężeń rozciągających połączonych z obrotowym zginaniem stanowiły dużą koncentrację naprężeń, która w warunkach krytycznych obciążeń podczas uwalniania przewodu z przychwycenia przy zwiększonym wychyleniu masztu, spowodowała przekroczenie wytrzymałości przekroju wrzeciona w połączeniu gwintowym.

Ponadto stosunkowo mała średnica zewnętrzna i wewnętrzna czoła oporowego czopa wrzeciona jak również wskaźnik przekroju na zginanie wrzeciona w porównaniu do łącznika (duża zmiana sztywności w obciążonej kolumnie rurowej) tworzą bardzo trudne warunki pracy dla tego połączenia.

Biorąc pod uwagę powyższe należy stwierdzić, że pęknięcia zmęczeniowe stanowiły podstawową przyczynę w procesie zniszczenia połączenia gwintowego czopa wrzeciona głowicy płuczkowej.

Ograniczenie występowania pęknięć zmęczeniowych stanowiących o wytrzymałości obciążanego elementu jest m.in. celem badań nieniszczących sprzętu wiertniczego; jakoś ich należy stale doskonalić.

LITERATURA

- [1] Bednarz S., Artymiuk J., Tasak E.: *Analiza przyczyn uszkodzenia wrzeciona głowicy płuczkowej Skytop 6-SX*. Kraków, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH 2006 (praca niepublikowana)
- [2] PN-EN ISO 13626:2006. *Przemysł naftowy i gazowniczy. Wyposażenie do wierceń i eksploatacji. Konstrukcje wiertnicze oraz konstrukcje do obsługi odwiertów*
- [3] PN-EN ISO 13535:2002. *Przemysł naftowy i gazowniczy. Sprzęt do wierceń i eksploatacji. Osprzęt urządzeń wyciągowych*