

Jan Artymiuk*, Stanisław Bednarz*

KIERUNKI ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH POŁĄCZEŃ GWINTOWYCH RUR DLA GÓRNICTWY OTWOROWEGO**

1. WPROWADZENIE

Ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel kamienny stanowią podstawowe źródła energii na świecie. Obecnie nieomal 40% energii wytwarzanej w krajach UE pochodzi ze spalania produktów naftowych. Przy czym zapotrzebowanie na te produkty z niewielkimi wahaniami nieustannie wzrasta i jeszcze przez najbliższe lata będą one głównymi nośnikami energii na świecie. Z wymienionych wyżej trzech nieodnawialnych nośników energii, dwa pierwsze ściśle wiążą się z wyrobami rurowymi. Bez nich niemożliwe byłyby poszukiwania, wydobycie i transport. W przemyśle naftowym wyroby rurowe i ich połączenia stanowią najbardziej znaczącą grupę wyrobów, od której zależy powodzenie i bezpieczeństwo prac poszukiwawczych i wydobywczych. Jest to grupa charakteryzująca się różnorodnością budowy, a w szczególności połączeń. W większości materiałem do budowy przewodów rurowych jest stal w różnych jej odmianach wytrzymałościowych i o różnym składzie chemicznym [1, 6].

Na świecie produkuje się bardzo wiele wyrobów rurowych. Przemysł naftowy i gazowniczy jest branżą, w której wyroby rurowe stanowią poważną część kosztów inwestycyjnych w poszukiwaniach, wydobyciu i transporcie.

Prowadzenie prac poszukiwawczych na coraz większych głębokościach, stosowanie nowych technologii wiercenia otworów kierunkowych i poziomych, prowadzenie wydobycia odwiertami o dużych krzywiznach i wysokich ciśnieniach złożowych oraz różnych

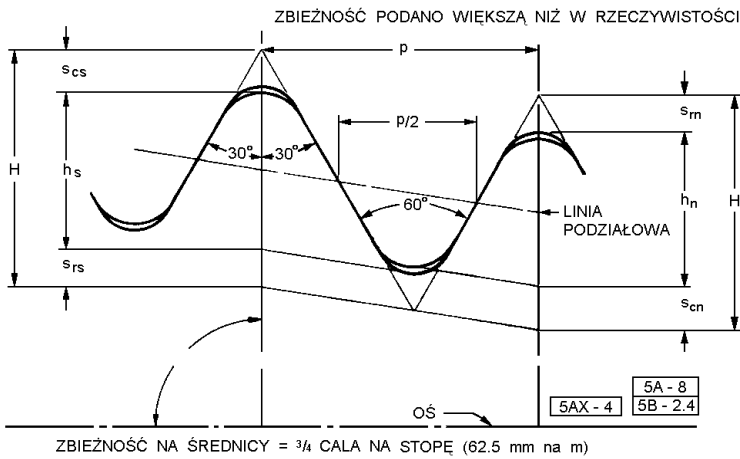
* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych

środowiskach chemicznych i temperaturowych, stawia przed konstruktorami nowe wyzwania techniczne dla konstrukcji wyrobów rurowych i ich połączeń, aby można było bezpiecznie sięgać po nowe zalegające w trudniejszych warunkach złoża węglodorów.

2. ZARYSY GWINTÓW RUR WYDOBYWCZYCH I OKŁADZINOWYCH

Większość stosowanych zarysów gwintów rur wydobywczych i okładzinowych wykonuje się w oparciu o normę ISO 10422 (API Spec 5B) [4]. Poniżej przedstawiono podstawowe parametry zarysów gwintów: zaokrąglonego API (rys. 1, tab. 1), Buttress (rys. 2) oraz Extreme-Line (rys. 3) dla przykładowo wybranych zakresów wymiarowych rur.



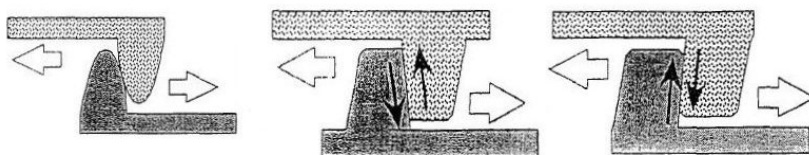
Rys. 1. Zarys gwintu zaokrąglonego API rur wydobywczych i okładzinowych [4] (wymiały, patrz tab. 1)

Tabela 1

Wysokości zaokrąglonych gwintów rur wydobywczych i okładzinowych (wymiały w mm)

1	2	3
Element gwintu	10 podziałek na cal $p = 2,540$	8 podziałek na cal $p = 3,175$
$H = 0,866p$	2,200	2,750
$h_s = h_n = 0,626p - 0,178$	1,412	1,810
$s_{rs} = s_{rn} = 0,120p + 0,051$	0,356	0,432
$s_{cs} = s_{cn} = 0,120p + 0,127$	0,432	0,508

W każdym z tych zarysów występuje zasadniczy parametr, który ma decydujący wpływ na pracę połączenia gwintowego. Jest nim kąt nachylenia boków gwintu, a szczególnie znaczenie posiada kąt nachylenia nośnego (obciążonego) boku gwintu. (*Nośne boki gwintu, a dokładniej nośne powierzchnie gwintu to tylne powierzchnie gwintu. Za przednie powierzchnie nośne gwintu uważamy powierzchnie, które dla czopa są widoczne, patrząc od cieńszego jego końca (wierzchołka), a dla mufy – patrząc od strony odsadzenia. Niewidoczne powierzchnie określamy, jako tylne powierzchnie nośne*). Kąt nachylenia boków gwintu, w tym również boku nośnego, w przypadku trójkątnego gwintu zaokrąglonego API wynosi 30° . Jest to gwint o zarysie symetrycznym o kącie wierzchołkowym wynoszącym 60° . W przypadku gwintu Buttress mamy do czynienia z zarysem trapezowym niesymetrycznym o kącie nachylenia boku nieobciążonego wynoszącym 10° i boku obciążonego 3° . W konsekwencji otrzymujemy gwint trapezowy niesymetryczny o kącie wierzchołkowym wynoszącym 13° . Przedstawione na rysunku 3 połączenie Extreme-Line oparte jest na gwincie trapezowym symetrycznym o kącie nachylenia boków gwintu wynoszącym 6° i kącie wierzchołkowym 12° . Połączenie to ze względu na swoją konstrukcję uszczelnień wewnętrznych jest trudne do wykonania i przez to drogie. Wykazuje wysoki stopień szczelności w otworach o dużych promieniach krzywizn. W rozwiązaniach firm występują różne modyfikacje przedstawionych zarysów, szczególnie dotyczy to gwintu o zarysie Buttress. Jednak wszystkie te rozwiązania nie eliminują zjawiska występującego podczas pracy połączenia gwintowego w otworach kierunkowych o małych promieniach krzywizn i dużych obciążeniach na rozciąganie. Na rysunku 4 przedstawiono w sposób schematyczny pracę poszczególnych zarysów gwintów.



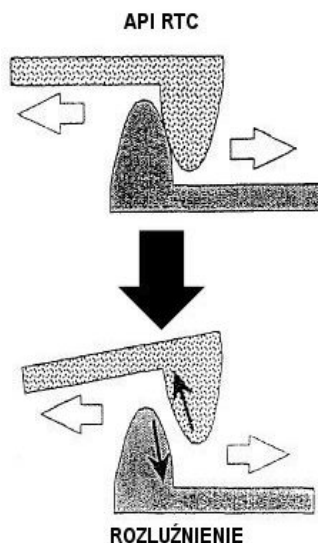
Rys. 4. Praca połączenia gwintu zaokrąglonego API (po lewej), gwintu Buttress (w środku) i gwintu hakowego (po prawej) [7]

Na rysunku 4 pojawia się konstrukcja nieomawiana wcześniej. Jest to nowy zarys gwintu zaprojektowany przez firmę Vallourec&Mannesmann Tubes OCTG Divisions (V&M), którego konstrukcja jest odmienna od wszystkich dotychczas stosowanych zarysów gwintów w wiertnictwie i eksploatacji. Zarys ten (PJ) charakteryzuje się parametrem geometrii zarysu gwintu zasadniczo różniącym go od dotychczasowych, a mianowicie, kąt nachylenia nośnego boku jest ujemny. Jego podstawowa wartość wynosi -3° (rys. 5).

Konstrukcja zarysu gwintu hakowego powoduje, że podczas rozciągania gwintu następuje jego zahaczenie, a nie rozluźnienie. Takie działanie rozluźniające może wystąpić w przypadku gwintu zaokrąglonego API (rys. 4 i 6) czy też gwintu BTC (rys. 4), co szczególnie występuje w otworach o małych promieniach krzywizn i dużych obciążeniach rozciągających.



Rys. 5. Zarys gwintu hakowego [7]

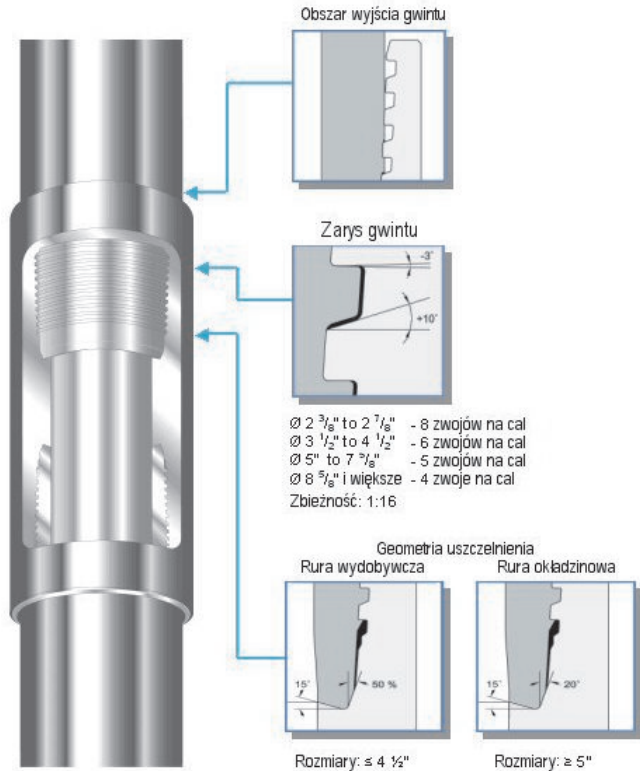


Rys. 6. Rozluźnienie połączenia w wyniku zsuwania się boków gwintu na skutek rozciągania [7]

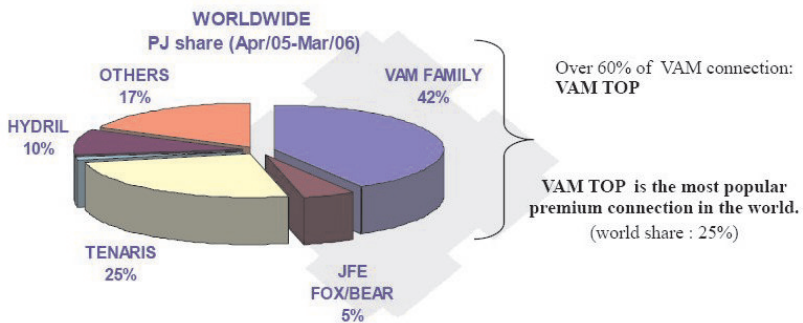
Oparte na gwincie hakowym podstawowe połączenie VAM TOP firmy Vallourec & Mannesmann zdobyło największe uznanie wśród użytkowników i jest najczęściej stosowanym połączeniem w warunkach wysokich ciśnień w otworach o małych promieniach krzywizn (rys. 7).

Połączenie VAM TOP (rys. 7) jest połączeniem gwintowym rur okładzinowych i wydobywczym zapewniającym gąszczość dla najostrejszych warunków obejmujących duże głębokości, otwory o dużej krzywiznie i agresywne środowisko. Należy do najbardziej niezawodnych połączeń w górnictwie naftowym. Obecnie na świecie udział producentów w produkcji OCTG przedstawia diagram na rysunku 8. Jak widać, połączenie VAM

TOP zajmuje znaczącą pozycję. Zaleta w pracy połączenia wynikająca z wzajemnego zahaczenia się zwojów gwintu spowodowała dalszy postęp w pracach projektowych nad opracowaniem nowych konstrukcji połączeń. W oparciu o zarys PJ zaprojektowano i produkuje się nowe połączenia gwintowe (tab. 2).



Rys. 7. Połączenie rur wydobywczych i okładzinowych VAM TOP



Rys. 8. Procentowy udział w wytwarzaniu OCTG przez największych producentów [7]

Tabela 2

Typy połączeń z gwintem hakowym firmy Vallourec&Mannesmann

Lp.	Typ połączenia	Kąt nachylenia nośnego boku gwintu	Kąt nachylenia nieobciążonego boku gwintu
	VAM TOP	-3°	+10°
1	DINO VAM	-3°	+20°
2	VAM MUST	-9°	+20°
3	VAM FJL	-15°	+45°
4	VAM SLIJ-II	-15°	+25°
5	BIG OMEGA	0°	+30°

W kolumnie 5 występuje połączenie BIG OMEGA, w którym kąt nachylenia nośnego boku gwintu wynosi 0°. Nie jest to gwint o zarysie hakowym, ale sytuuje się na jego pograniczu. Takie rozwiązania stosują drobni producenci, wprowadzając inny niż w patentach czołowych firm, kąt nachylenia nieobciążonego boku gwintu. W ten sposób poprawiają pracę i wytrzymałość połączeń, gdyż nie posiadają technologii wykonywania gwint hakowego. Każda znacząca firma wprowadza różne modyfikacje podstawowych zarysów, coraz częściej w połączeniach klasy Premium zaczyna występować hakowy zarys gwintu. Firma TenarisHydril, wprowadziła połączenia z gwintem hakowym w typach, np.: BlueTMNear Flusch, SLXTM, MACIITM, firma JFE wprowadziła połączenie z gwintem hakowym w klasie-1 wg klasyfikacji API nazwane JFEBEAR®, o kątach nachylenia boków -5° i +25°. Wyroby OCTG z gwintami o zarysach hakowych są droższe i wymagają specjalistycznych obrabiarek do nacinania gwintów, są one dostarczane przez kilku producentów wyrobów OCTG na świecie.

3. PODSUMOWANIE

W przemyśle naftowym wyroby OCTG stanowią najbardziej znaczącą grupę wyrobów, od których zależy powodzenie i bezpieczeństwo prac poszukiwawczych i wydobywczych [1, 2, 6]. Charakteryzują się one dużą różnorodnością połączeń. Oparte na powyższych zarysach gwintów połączenia rur okładzinowych i wydobywczych (rys. 1, 2 i 3) bardzo często są wykonywane też przez małych producentów i różnego rodzaju warsztaty naprawcze sprzętu wiertniczego i wydobywczego. Ponadto czasem nie w pełni spełniają one ostre warunki pracy w otworach i odwiertach o małych promieniach krzywizn. Prowadzono intensywne badania nad rozwiązaniem powyższych problemów. Pierwsze działania koncentrowały się (i są prowadzone nadal) nad modyfikacjami dotychczas stosowanych zarysów i konstrukcji połączeń. Konstruktorzy największych firm poszukiwali jednak

zarysu, któryby spełniał wysokie wymagania wynikające z wprowadzania nowych technologii wierceń i wydobywania węglowodorów. Nowy zarys – gwint hakowy, to rewolucyjna konstrukcja zarysu gwintu, która z powodzeniem spełnia ostre wymagania występujące w głębokich, kierunkowych, agresywnych otworach wiertniczych [1, 2, 5]. Gwint hakowy występuje w połączeniach rur okładzinowych i wydobywczych. Produkcja połączeń rur okładzinowych i wydobywczych z gwintami hakowymi wymaga specjalistycznych obrabiarek do nacinania gwintu oraz specjalnego sprzętu do jego kontroli. Do oceny stanu technicznego połączenia mogą przystąpić serwisy posiadające specjalistyczny sprzęt i wykwalifikowaną, odpowiednio przeszkoloną kadrę [3]. Na takie inwestycje mogą sobie pozwolić najwięksi producenci OCTG.

LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 11960:2005: Przemysł naftowy i gazowniczy. Rury stalowe stosowane jako rury okładzinowe i wydobywcze
- [2] PN-EN ISO 15156-1:2010: Przemysł naftowy i gazowniczy. Materiały stosowane przy wydobywaniu ropy i gazu w środowisku zawierającym H₂S. Część 1: Ogólne zasady doboru materiałów odpornych na pękanie
- [3] PN-EN ISO 13679:2009: Przemysł naftowy i gazowniczy. Procedury badań połączeń gwintowych rur okładzinowych i wydobywczych
- [4] ISO 10422:1993: Petroleum and natural gas industries. Threading, gauging, and thread inspection of casing, tubing and line pipe threads. Specification
- [5] API Spec 5CT: Specification for Casing and Tubing Seventh Edition; ISO 11960:2001, Supersedes
- [6] API RP 5C1: Recommended Practice for Care and Use of Casing and Tubing
- [7] Sumitomo metals OCTG products. Bulletin No.9220W, July, 2009