

USA

Wpływ skrawania rowków na wytrzymałość końców rur

Problem

Skrawanie rowków, najstarsza technika rowkowania rur, to obróbka wąskiego kanału w materiale powierzchni rury, w którym zaczepia się rowkowany łącznik mechaniczny. Sposób ten ma już 85 lat sukcesów, ale wciąż pozostaje pytanie, czy skrawanie rowków nie wpływa źle na wytrzymałość rury. Po doświadczeniach i analizie okazało się, że to nie jest problem.

Wprowadzenie

Firma Victaulic, znana wtedy pod nazwą Victory Pipe Joint Company, była pionierem mechanicznego rowkowania rur podczas pierwszej wojny światowej, jako szybkiego i niezawodnego sposobu przesyłania paliwa i wody dla wojsk alianckich. Później łączniki Victaulic stały się preferowanym sposobem łączenia rur dzięki zwiększonej niezawodności, higienie, łatwości konserwacji i szybkości montażu w stosunku do innych sposobów łączenia, jak spawanie, gwintowanie i zaginanie kołnierza. Połączenie mechaniczne lub łącznik (rysunek 1) ma cztery elementy: rowkowana rura, uszczelka, obudowy łączników i łączniki. Końce rury są formowane na zimno (rowek walcowany) lub obrabiane (rowek skrawany), co zapewnia punkt zaczepienia dla łącznika i lokalizację powierzchni uszczelnienia. Uszczelka łączy końce rur, utrzymując ciecz w środku, otoczoną obudowami łącznika. Obudowy są mocowane śrubami i nakrętkami, dokręcanymi za pomocą klucza nasadowego lub udarowego. Obudowa łącznika obejmuje uszczelkę i zaczepia się w rowku na obwodzie rury, aby zapewnić szczelność samozabezpieczającego połączenia rurowego.



Rysunek 1

Rowek skrawany

Metoda łączenia rur rowkowanych Victaulic jest powszechnie wykorzystywana od momentu założenia firmy w 1919 roku, ale wciąż istnieją nieporozumienia, jeśli chodzi o oryginalną metodę skrawania rowków i jej wpływ na wydajność rowkowanego połączenia rurowego.

Skrawanie rowków jest zazwyczaj stosowane na rurach o standardowej grubości ścianek ANSI lub większych i w przypadku instalacji z czynnikami ściernymi, gdy wewnątrz rury musi być gładkie, aby umożliwić przepływ czynnika bez zakłóceń. Wewnętrzna powierzchnia pozostaje gładka po skrawaniu, dzięki czemu skrawanie rowków jest odpowiednie dla systemów wymagających powłoki z tworzywa sztucznego, powłoki kauczukowej, cementowej lub innych powłok zabezpieczających przed korozją lub ścieraniem. Najbardziej powszechne zastosowania rur z rowkami skrawanymi to kopalnie, elektrownie, kanalizacja i ropa naftowa. Skrawanie rowków to usuwanie około jednej trzeciej grubości ścianki rury w celu zapewnienia punktu zaczepienia dla rowkowanego łącznika mechanicznego. Podczas skrawania usuwa się mniej materiału niż podczas gwintowania rury (rysunki 2 i 3). Podczas skrawania rowków nie występują naprężenia, jakie tworzą się w gwintowanych łącznikach na grzbietach i w dnach gwintów. Skrawanie rowków można wykonywać ręcznie lub przy pomocy narzędzi silnikowych.



Rysunek 2



Rysunek 3

Ciśnienie znamionowe rowkowanego mechanicznego łącznika rur jest określane na podstawie wszystkich komponentów. Czynniki te obejmują charakterystykę łącznika rowkowanego, materiału rury i grubości ścianki rury. Innymi słowy, rowkowany łącznik mechaniczny i sama rura nie mają swojego określonego ciśnienia znamionowego, ponieważ jest ono funkcją obu. Nominalne wartości ciśnienia łączników opublikowane przez firmę Victaulic są oparte na standardowych rurach ze stali węglowej o rowkach skrawanych (lub walcowanych — zapewniających identyczną wydajność ciśnienia), jeśli nie podano inaczej. (np. łączniki typu 808 Duo-Lock™ są obliczone dla rur ze stali węglowej o podwyższonej wytrzymałości ścianek). Wartości dla naszych połączeń rurowych z rowkami skrawanymi zostały sprawdzone w obszernych testach wewnętrznych i testach hydrostatycznych wykonywanych przez firmy zewnętrzne i potwierdzone w ciągu 95 lat pracy z łącznikami o rowkach skrawanych. Bierzymy również pod uwagę materiał, który powstaje podczas rowkowania.

Naprężenie rury

Jeśli wewnętrzne ciśnienie powoduje nadmierne naprężenia, rowek skrawany Victaulic nie będzie najsłabszym punktem. Występują dwa podstawowe naprężenia z powodu ciśnienia: wzdłużne i wewnętrzne (naprężenie obwodowe). Naprężenie wzdłużne można opisać jako naprężenie „rozciągające” materiał, próbujące rozciągnąć rury wzdłuż ich osi. Uszkodzenie z powodu naprężenia wzdłużnego może spowodować pęknięcie na obwodzie rury (rysunek 4). Naprężenie obwodowe może spowodować wydęcie lub rozszerzenie się rury. Uszkodzenie z powodu naprężenia obwodowego może spowodować rozszczepienie rury wzdłuż jej osi (rysunek 5).



Rysunek 4



Rysunek 5

Wykresy ciała swobodnego i siły równoważące określają równania dla naprężeń wzdłużnego i obwodowego dla rur o cienkich ściankach. Naprężenia wzdłużne i obwodowe pochodzą z prawa Hooke'a. Przepisy ASME B31.1, 2010 edition, Power Piping Code, zawierają wzory matematyczne do obliczania naprężenia wzdłużnego (paragraf 102.3.2.A.3) oraz równanie Barlowa dla naprężenia obwodowego (z równania dla minimalnej grubości ścianki, paragraf 104.1.2.A) pokazane poniżej:

$$\begin{aligned} \text{Naprężenie wzdłużne} &= (\text{ciśnienie} \times \text{średnica zewnętrzna}) \div (4 \times \text{grubość ścianki}) \\ \text{Naprężenie obwodowe} &= (\text{ciśnienie} \times \text{średnica zewnętrzna}) \div (2 \times \text{grubość ścianki}) \end{aligned}$$

Tak więc w przypadku dowolnej średnicy rury lub dowolnego ciśnienia naprężenie obwodowe jest dwa razy większe od naprężenia wzdłużnego. Po analizie można stwierdzić, że uszkodzenia rur z powodu naprężenia będą widoczne jako pęknięcia wzdłuż długości rury, jak uszkodzenia szwów spawalniczych. Dane rzeczywiste potwierdzają to.

Skrawanie rowków zmniejsza grubość ścianki poprzez usuwanie wąskiego paska materiału z zewnętrznej powierzchni. Naprężenie obwodowe pozostaje mniej więcej takie samo, ponieważ rowek jest bardzo wąski i wzmocniony przez pełną grubość ścianki rury po obu stronach. Rowek jest także wzmocniony przez wypust łącznika wchodzący w rowek, zapobiegający rozszerzaniu. Jednak naprężenie wzdłużne będzie się proporcjonalnie zwiększać wraz ze zmniejszającą się grubością ścianki. Wyrażając to matematycznie, jeśli pod rowkiem pozostaje więcej niż połowa oryginalnej grubości ścianki, naprężenie wzdłużne rury pod rowkiem będzie większe lub równe naprężeniu obwodowemu tulei rury.

Rowek skrawany w rurach o standardowej grubości ścianek to tylko jedna trzecia grubości rury, więc naprężenie obwodowe jest większe niż naprężenie wzdłużne. Zatem jakiegokolwiek uszkodzenie spowodowane „przeciążeniem” będzie pojawiać się wzdłuż długości rury, a nie przy rowku, co oznacza, że obszar rowka jest mocniejszy niż tuleja rury.

Na poniższym zdjęciu (rysunek 6) pokazano bezszwową rurę ze stali węglowej 6" (168,3 mm) ASTM A53, gatunek B ANSI schedule 80, która została użyta w teście ciśnienia hydrostatycznego łącznika typu 808 Duo-Lock™ Victaulic. Ciśnienie wewnętrzne osiągnęło 10 000 psi; następnie zatrzymano test, zanim doszło do uszkodzenia łącznika lub rury. Na zdjęciu widać, że naprężenie obwodowe [obliczone przy ok. 75 psi (520MPa)] spowodowało odkształcenie rury w środkowej części. Średnice rury i rowka przy łączniku, wciąż wykazujące oznaki odkształcenia, są znacznie mniejsze dzięki wzmocnieniu łącznika.

Średnice rury przed testem i po teście były mierzone następująco:

	Pomiary przed testem	Pomiary po teście
Średnica zewnętrzna	6,625" (168,3 mm)	6,948" (176,5 mm)
Średnica rowka zewn. (#1)	6,340" (161,0 mm)	6,388" (162,3 mm)
Średnica rowka wew. (#2)	6,340" (161,0 mm)	6,468" (164,3 mm)



Rysunek 6

Wnioski

Rura ze skrawanymi rowkami nie zmniejsza wytrzymałości połączenia rurowego. Uszkodzenia spowodowane nadmiernym ciśnieniem będą pojawiać się wzdłuż rury, a nie przy jej końcu.