

1

Ocena technologii zgrzewania doczołowego grubościennych rur polietylenowych o dużych średnicach

Stephen Beech - SHB Consulting, Wielka Brytania

Christophe Salles – Stowarzyszenie PE 100+, Francja

Ulrich Schulte – Stowarzyszenie PE 100+, Niemcy

Streszczenie

W skali globalnej, do zgrzewania doczołowego rur polietylenowych stosuje się szereg sprawdzonych technologii. Najbardziej rozpowszechnione z nich to europejska technologia jednociśnieniowa, brytyjska technologia dwuciśnieniowa oraz amerykańska technologia wysokociśnieniowa. Być może w przyszłości pojawi się możliwość racjonalizacji tych technologii. Rozwój w zakresie materiałów i maszyn skutkuje coraz większym zakresem rozmiarów rur. W celu zapewnienia dobrej jakości zgrzewów, dokładnego zrozumienia właściwości zgrzewów, oraz potwierdzenia przydatności technologii zgrzewania stosowanej w odniesieniu do takich rur, wymagane jest potwierdzenie odnośnych metod testowych. Stowarzyszenie PE 100+ wprowadziło projekt mający na celu dokonanie oceny zgrzewów w rurach grubościennych o dużych średnicach. Wyniki tego programu zostały omówione, po czym wyciągnięto ostateczne wnioski.

Słowa kluczowe: polietylen, rury, zgrzewanie doczołowe, łączenie, wykonywanie prób

Wstęp

Na korzyści i łatwość zgrzewania doczołowego polietylenu zwrócono uwagę już w początkowym okresie wdrażania rurociągów polietylenowych. Zgrzewanie doczołowe zapewnia połączenie całkowicie odporne na obciążenia czołowe, czego wynikiem jest elastyczny układ rurociągów odporny nie tylko na przemieszczanie się gruntu, ale nawet na trzęsienia ziemi, Nishimura i inni (1). Wprowadzenie materiałów polietylenowych o niskim współczynniku deformacji (*ang. low sag*) pozwala produkować rury o większej grubości ścian, z dokładną kontrolą grubości. Bardzo

ważne jest potwierdzenie, że technologia zgrzewania doczołowego nadaje się do takich rur, oraz że stosowane metody testowe są odpowiednie.

W niniejszym artykule nakreślono działania, podejmowane przez Stowarzyszenie PE100+ i innych przedstawicieli branży, mające na celu dalszy rozwój i harmonizację globalnych norm regulujących technologie zgrzewania, metod wykonywania prób, badań nieniszczących (NDT), a także weryfikację ich odpowiedności dla rur grubościennych o dużych średnicach. Niniejsze artykuł przedstawia ostateczne wyniki i wnioski projektu przedstawionego na konferencji Plastics Pipes XV w Vancouver w 2010 roku, Beech i inni (2).

Stan obecny

Istnieje szereg sprawdzonych technologii (wraz z ich odmianami) stosowanych do zgrzewania doczołowego rur polietylenowych. Występują jednak wyraźne różnice pomiędzy technologiami opracowanymi w poszczególnych krajach. Powszechnie uznaje się, iż branża wymaga międzynarodowych norm dla zharmonizowanych technologii zgrzewania, metod wykonywania prób oraz zakładowych kodeksów postępowania, z uwzględnieniem technologii nieniszczących, w celu promowania stosowania układów rur polietylenowych o dużych średnicach.

Opracowana została norma ISO 21307 (3) dotycząca technologii zgrzewania doczołowego, która jako pierwsza opisuje europejską technologię jednościśnieniową, brytyjską technologię dwuciąśnieniową oraz amerykańską technologię wysokociśnieniową w ramach jednego dokumentu. Występują istotne różnice pomiędzy tymi technologiami, ale wszystkie z nich są sprawdzone i cechują się dużą skutecznością. W przyszłej wersji ISO 21307, która aktualnie jest przedmiotem analiz i ustaleń, będą one określane jako technologie zgrzewania Single Low Pressure (SLP) – metoda jednościśnieniowa prowadzona pod niskim ciśnieniem, Dual Low Pressure (DLP) – metoda dwuciąśnieniowa oraz Single High Pressure (SHP) – metoda jednościśnieniowa prowadzona pod wysokim ciśnieniem. W przypadku technologii SLP, rury są zbliżane do siebie i utrzymywane przy ciśnieniu 0,15 MPa, podczas stygnięcia. Technologia zgrzewania DLP jest wykonywana przy tym samym ciśnieniu, przy czym na etapie stygnięcia ciśnienie ulega zmniejszeniu do 0,025 MPa. Z kolei technologia SHP jest w pewnym stopniu podobna do technologii SLP, jednakże podczas zgrzewania oraz podczas stygnięcia stosowane jest znacznie wyższe ciśnienie, wynoszące 0,517 MPa.

Prawdę powiedziawszy, procedury testowe zgrzewów doczołowych są chyba bardziej zawiłe i potencjalnie bardziej mylące niż same technologie zgrzewania! Takie metody zostały opisane w normach ISO, normach europejskich, a także w normach krajowych i branżowych. Stosowane krótkotrwałe próby niszczące obejmują szereg prób rozciągania, przeprowadzanych na małych próbkach wyciętych ze zgrzewów, prób udarności, prób ciśnieniowych, a także prób rozciągania wykonywanych na kompletnych układach rurociągów. Próby długotrwałe obejmują próby pełzania na próbkach o pełnej grubości, próby pełzania z karbem oraz próby ciśnieniowe.

Program prób służący ocenie metod testowych

Kluczem do powodzenia projektu Stowarzyszenia PE 100+ jest ocena metod testowych w celu pełnego zrozumienia krótkotrwałych oraz długotrwałych właściwości zgrzewów. Niektóre z metod testowych są nieco mylące i mogą nie mieć zastosowania do wszystkich grubości ścian w obecnie stosowanych rurach. Istotnym celem niniejszego projektu jest ocena zgrzewów w rurach grubościennych o dużych średnicach, przy różnych grubościach ścian.

Rura 1200 mm SDR 17 (nominalna grubość ściany 70,6 mm) wykonana z materiału zatwierdzonego jako PE 100+ została przekazana przez Egeplast DE. Pierścienie o pełnej grubości ścian 70,6 mm oraz grubości 50 mm i 30 mm zostały obrobione skrawaniem przez Reinert Ritz. Pierścieni użyto do przygotowania zgrzewów w oparciu o metodę jednociśnieniową przy niskim ciśnieniu (SLP) (DVS 2207-1) (4), brytyjską technologię dwuciśnieniową WIS 4-32-08 (DLP) (5) oraz amerykańską technologię jednociśnieniową przy wysokim ciśnieniu (SHP) według ISO 21307 (3).

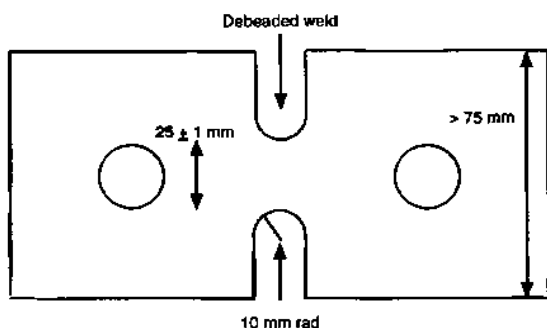
Ponadto, w celach porównawczych wykonano "zgrzew słaby" przy niższej temperaturze i krótszym czasie nagrzewania.

Próby krótkoterminowe

Grupa Nadzorująca Projekt wybrała próbę rozciągania zgodną ze specyfikacją brytyjskiej branży wodnej, opisaną w WIS 4-32-08 (5), i niemiecką technologiczną próbę zginania DVS, opisaną w DVS 2203-5 (6), a także w równoważnej normie EN 12814-1 (7).

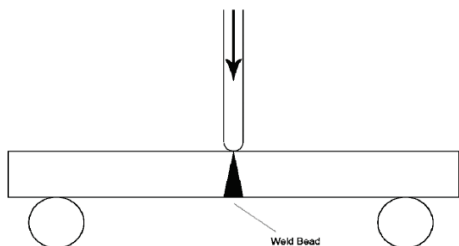
Próba WIS obejmuje pomiar energii oraz ocenę powierzchni przełomu. Na rys. 1 pokazano podstawową geometrię próbki do badań. Wyniki dla energii pochłoniętej są zależne od współczynnika szerokości przewężenia względem grubości, według

Hilla i innych (8). Oznacza to, że dane uzyskane dla energii pochłoniętej przy dowolnym współczynniku mogą być skorygowane o wpływ współczynnika poprzez podzielenie wyników dla energii pochłoniętej przez współczynnik. Tak uzyskaną wartość można następnie wykorzystać do porównywania wyników dla wszystkich rozmiarów próbek. W przypadku rury o większej grubości, ogólna szerokość obszaru chwytu zostaje zwiększona w celu uniknięcia poślizgu. Próba została przeprowadzona przy prędkości 5 mm/min. i temperaturze 23 °C.



Rys. 1. Próbkę do próby rozciągania WIS

Próby zginania są przeprowadzane zarówno dla wewnętrznych, jak i zewnętrznych ściegów spoiny. Można zastosować obniżoną temperaturę w celu dokonania oceny momentu wystąpienia zachowania kruchego. Grubość ściany próbek o mniejszej grubości (50 mm i 30 mm) sfrezowano do tej samej grubości na całej długości próbki. Odległość pomiędzy wspornikami dla grubości 70 mm, 50 mm i 30 mm wynosiła odpowiednio 375 mm, 260 mm i 160 mm, w celu zapewnienia tego samego poziomu zewnętrznych naprężeń włókien. Próbka pokazana na rys. 2 jest ugięta przy prędkości obciążania 50 mm/min., przy czym próbę przerwano po osiągnięciu maksymalnego kąta 100°, jeżeli nie doszło do zerwania. Próby przeprowadzono przy 0 °C i, w niektórych przypadkach, -10 °C w celu wywołania lub potwierdzenia zachowania kruchego.

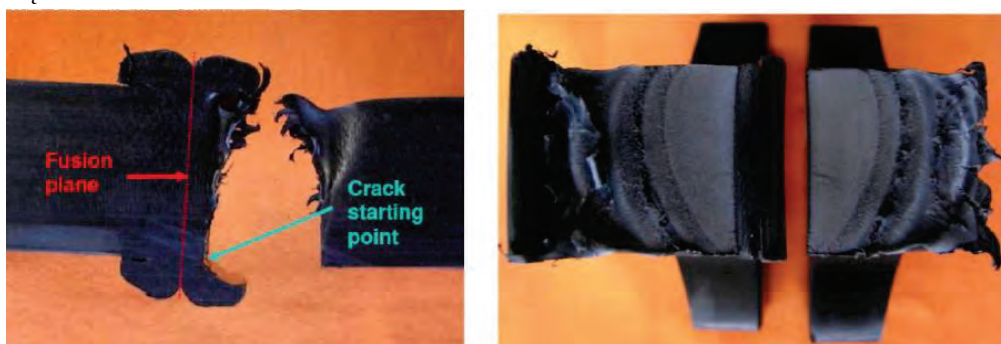


Rys. 2. Technologiczna próba zginania DVS

Próby długoterminowe

Próba pełzania i rozciągania według EN 12814-3 (9) i DVS 2203-4 (10) jest powszechnie stosowana w Niemczech i Skandynawii; została ona wybrana jako podstawowa próba w celu oceny długoterminowych właściwości zgrzewów. Ponadto, w celu ustalenia korelacji pomiędzy czasem zniszczenia w próbie pełzania i okresem trwałości użytkowej zastosowano próbę pełzania z karbem (FNCT) według ISO 16770, przeprowadzaną na prętach kwadratowych 10 mm na 10 mm z karbem znajdującym się pośrodku strefy zgrzewu poddanej oddziaływaniu ciepła. Zauważono, iż inna wersja próby FNCT, przeprowadzana na próbkach cylindrycznych wyciętych ze zgrzewów w celu oceny inicjacji pęknięć, jest opracowywana przez Dział ds. Badań i Innowacji GDF SUEZ do oceny sprawności zgrzewów doczołowych w zakresie powolnego rozwoju pęknięć, Gueugnaut i inni (11).

Próbka do próby pełzania jest poddawana stałemu obciążeniu rozciągającemu 2,5 MPa przy 90 °C, w wodnym roztworze z 2% środkiem zwilżającym w celu przyspieszenia zniszczenia, tj. mieszkanką detergentów anionowych i kationowych o nazwie "NM5". Dla przedmiotowego programu prób, próbkę sfrezowano w celu zapewnienia równoległej długości odcinka pomiarowego przy pełnej grubości ściany i identycznej szerokości, z zachowaniem ściegów obu zgrzewów. Inicjacja normalnie następuje w karbie powstałym pomiędzy ściegiem spoiny i rurą, i powinna postępować do wewnątrz materiału rury, patrz rys. 3. Jednakże w zgrzewach słabych, pęknięcie ma tendencję do postępowania w głąb strefy zgrzewu, Hessel i inni (12). Badanie sposobu propagacji pęknięć służy do oceny zgrzewu, jednakże uwzględnia się również czas do zniszczenia.



Rys. 3. Próbka do próby pełzania i rozciągania pokazująca propagację pęknięć oraz ich rozwój, rozpoczynającą się przy ściegu spoiny i przechodzącą do wnętrza materiału rury przed pęknięciem

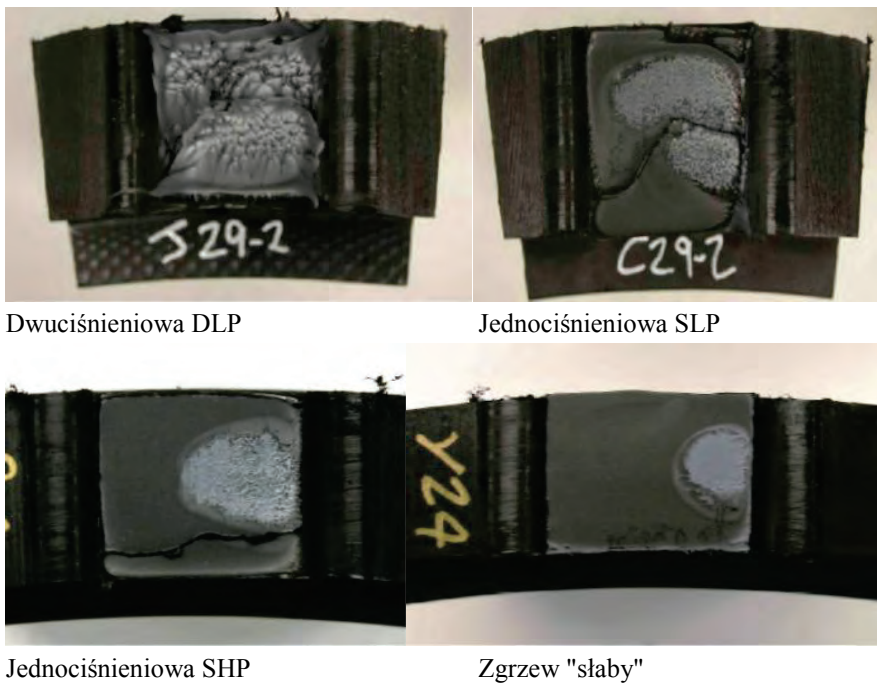
Wyniki prób

Wyniki programu, w którym posłużono się próbami rozciągania WIS oraz próbami zginania dla pełnego zakresu otrzymanych zgrzewów podano w Tabeli 1. Wartości energii dla prób WIS dotyczą średnio 5 lub 6 prób. Do prób zginania użyto 4 próbek ze ścięciem wewnętrznym oraz 4 próbek ze ścięciem zewnętrznym. W obu przypadkach próbki rozmieszczono równomiernie wokół obwodu zgrzewów. Porównanie granicy plastyczności zgrzewów z granicą plastyczności rury macierzystej, zmierzonych w oparciu o próbkę do próby rozciągania WIS, podano w Tabeli 2. Wyniki prób pełzania zamieszczono w Tabeli 3.

Tabela 1. Wyniki prób krótkoterminowych

Zgrzew	Grubość	Energia WIS (KJ/m ²)	Tryb zgięcia niszczącego (przy 0 °C)	Tryb zgięcia niszczącego (przy -10 °C)
SLP	70 mm	383 - mieszany	X 1 Wewn. – ciągliwy	
SLP	50 mm	375 - mieszany	Nie dochodzi do zniszczenia	
SLP	30 mm	329 - ciągliwy	X 1 Zewn. – ciągliwy	
DLP	70 mm	817 - ciągliwy	Nie dochodzi do zniszczenia	
DLP	50 mm	580 - ciągliwy	Nie dochodzi do zniszczenia	
DLP	30 mm	306 - ciągliwy	Nie dochodzi do zniszczenia	
SHP	70 mm	481 - mieszany	Nie dochodzi do zniszczenia (x 4)	Nie dochodzi do zniszczenia (x 4)
SHP	50 mm	366 - mieszany	Nie dochodzi do zniszczenia (x 4)	X 1 Wewn. – kruchy X 1 Zewn. – kruchy
SHP	30 mm ¹	180 - kruchy	X 1 Zewn. – kruchy X 1 Wewn. – mieszany	X 2 Zewn. – kruchy
Staby	50 mm	218 - kruchy	X 1 Wewn. – kruchy X 2 Zewn. – kruchy	
Staby	50 mm	271 - kruchy	X 1 Wewn. – mieszany	X 1 Wewn. – kruchy X 1 Wewn. – mieszany

¹ Zgrzew zanieczyszczony (patrz dyskusja dot. wyników prób)



Rys. 4. Powierzchnie przełomu w próbie rozciągania WIS dla zgrzewów 50 mm

Tabela 2. Porównanie granicy plastyczności zgrzewu z granicą plastyczności rury macierzystej

Próbka testowa	Granica plastyczności
Rura macierzysta	28,3 MPa
Jednościśnieniowa SLP	27,0 MPa
Dwuciśnieniowa DLP	26,7 MPa
Jednościśnieniowa SHP	25,9 MPa
Zgrzew słaby	26,1 MPa

Tabela 3. Tryb zniszczenia oraz czas do zniszczenia w próbie pełzania DVS

Zgrzew	Grubość		Sposób zniszczenia	Czas (h)
SLP	70 mm		Propagacja z obu ściegów, częściowo do strefy zgrzewu	7384
SLP	50 mm		Propagacja ze ściegu zewnętrznego Propagacja ze ściegu wewnętrznego ¹	2352 2855
SLP	30 mm		Propagacja ze ściegu wewnętrznego Propagacja ze ściegu wewnętrznego ¹ Propagacja z wady w płaszczyźnie zgrzewania ²	3306 4624 997
DLP	50 mm		Propagacja ze ściegu wewnętrznego Propagacja ze ściegu wewnętrznego ¹	1554 1976
DLP	30 mm		Propagacja ze ściegu wewnętrznego Propagacja z obu ściegów ¹ Propagacja ze ściegu wewnętrznego ¹	1303 2829 1817

¹ Propagacja do rury macierzystej wskazująca na dobre zgrzanie

² Z zastrzeżeniem dalszych badań

Korelacja pomiędzy FNCT i okresem trwałości użytkowej

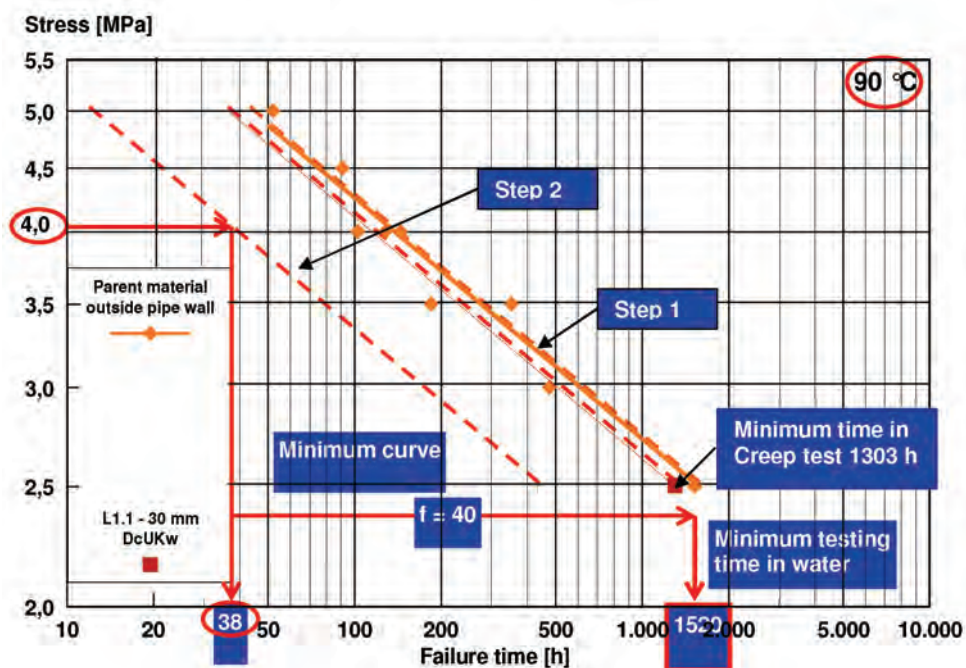
Aby osiągnąć ten cel, na próbkach wyciętych ze środka zgrzewów przeprowadzono próby FNCT, co pozwoliło osiągnąć korelację z wynikami prób pełzania oraz ocenić okres trwałości użytkowej. Tę metodę opisano w DVS 2203-4, arkusz uzupełniający 3 (13). Próby przeprowadzono na trzech próbkach FNCT z każdego zgrzewu, przy 4 MPa w detergencie NM5 przy 90 °C.

Wyniki podano w Tabeli 4, zaś na Rys. 5 przedstawiono korelację okresu trwałości użytkowej poprzez odniesienie warunków prób do warunków eksploatacyjnych.

Tabela 4. Wyniki FNCT dla całego asortymentu zgrzewów (4 MPa, 90 °C, 2% NM5)

Grubość	Czas (h)			
	SLP	DLP	SHP	Staby
30 mm	36,2	43,7	15,9	
50 mm	41,4	35,7	32,7	21,1
70 mm	57,9	47,7	32,8	

Naprężenie [MPa]



Rys. 5. Korelacja pomiędzy warunkami prób i warunkami eksploatacyjnymi

Minimalny okres trwałości użytkowej zgrzewów doczołowych został oszacowany zgodnie z ustaleniami Vogta i innych (14). Ta korelacja dotycząca okresu trwałości użytkowej opiera się na najniższym wyniku 1303 h dla próbki do próby pełzania DLP 30 mm. Krzywa naprężeń FNCT względem czasu zniszczenia dla

próbek z rury została wykreślona i przedstawiona na Rys. 5 (krok 1). Podobną krzywą przyjęto dla prób pełzania, przyjmując jako podstawę wybrany wynik. Ustalono także krzywą minimalną poprzez ostrożne obniżenie tej drugiej krzywej o współczynnik 3 w celu uwzględnienia rozrzutu według DVS 2203-4 (13), patrz Rys. 5 (krok 2).

Równanie energii aktywacji:

$$E_A = 1,9152 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\log(t_1/t_2)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

E_A – Energia aktywacji (90 kJ/mol)

t_1, t_2 – Czas zniszczenia (h)

T_1, T_2 – Temperatura absolutna (K)

Przewidywania oparto na maksymalnym naprężeniu wzdłużnym wynoszącym 4 MPa, będącym wynikiem maksymalnego projektowego naprężenia obwodowego 8 MPa dla nieusztynionego rurociągu PE 100. Przy 4 MPa, 90 °C w NM5 przewidywany czas to 38 h. Badania przeprowadzone wcześniej przez Hesseltechnik wykazały, iż dla detergentu NM5 należy zastosować współczynnik 40 w celu oszacowania odnośnego czasu w wodzie. Daje to szacunkowy czas 1520 h przy 90 °C, co odpowiada 215 latom przy 20 °C w wodzie.

W oparciu o tak obliczony okres trwałości użytkowej, możemy bezpiecznie wnioskować, iż dla zastosowań wodnych i gazowych przy 20 °C, właściwie wykonany zgrzew doczołowy PE 100 powinien zapewnić okres trwałości użytkowej powyżej 100 lat.

Dyskusja

Wyniki uzyskane podczas próby rozciągania WIS wskazują na następującą tendencję: wyższe wartości energii powiązane są z bardziej plastycznymi powierzchniami przelomu, zaś niższe wartości energii wskazują na zachowanie mieszane lub kruche. Próba ta jest dobrze opracowana i nadaje się do dokonywania oceny rur o grubszych ścianach - także w miejscu instalacji. Powyższe ustalenia zostały potwierdzone wynikami prób zginania, w trakcie których w zgrzewach obserwowano przeważnie brak zniszczeń oraz zniszczenia o charakterze kruchym.

W razie zastosowania próby zginania można zastosować próby przy niższych temperaturach w celu wykrycia zmiany zachowania.

Zarówno 30 mm zgrzewy "słabe", jak i wykonane przy użyciu technologii jednociśnieniowej przy wysokim ciśnieniu SHP zapewniły najniższe wartości energii i zniszczenia kruche w trakcie prób WIS, potwierdzone zachowaniem kruchym w niektórych próbkach podczas prób zginania. Gorsze zachowanie zgrzewu "słabego" nie było niespodzianką, gdyż jest on klasyfikowany jako zgrzew zimny, wykonywany przy niższej temperaturze i krótszym czasie nagrzewania. Jednakże zachowanie zgrzewu wykonanego w tej technologii wskazywało, iż coś było nie tak z przygotowaniem zgrzewu. W dalszej kolejności ustalono, iż pierścienie 30 mm były obrabiane skrawaniem przy użyciu płynu obróbkowego, który zanieczyścił materiał, o czym informowały pęcherzyki pojawiające się w ściegach spoiny. O dobrej jakości zgrzewów 50 mm i 70 mm wykonanych w technologii SHP informowały wartości energii oraz brak zniszczenia podczas prób zginania przy 0 °C, a nawet przy -10 °C dla zgrzewu 70 mm. Jednakże powierzchnie przełomu próbki WIS miały wygląd mieszany plastyczno/kruchy. Podobne wyniki uzyskano dla zgrzewów 50 mm i 70 mm wykonanych w technologii jednociśnieniowej przy niskim ciśnieniu SLP, jednakże zgrzew 30 mm zapewnił wyższe wartości energii i bardziej plastyczny wygląd powierzchni przełomu. Przyczyny zniszczenia plastycznego podczas próby zginania na próbce 70 mm i 30 mm wykonanej w tej technologii nie można wyjaśnić, jednakże pocieszające jest to, iż uzyskano plastyczność. Zgrzew 30 mm wykonany w technologii dwuciśnieniowej DLP zapewnił nieco niższą wartość energii, lecz wartości energii dla zgrzewów 50 mm i 70 mm były wyższe niż w przypadku zgrzewów wykonanych z zastosowaniem dwóch pozostałych technologii. Powierzchnie przełomu dla tych próbek do badań DLP miały bardziej plastyczny wygląd niż te uzyskane przy zastosowaniu pozostałych technologii, przy czym podczas prób zginania tych zgrzewów nie doszło do ich zniszczenia, por. Rys. 4. Pomiar granicy plastyczności wykazał, iż nie zauważono żadnej istotnej redukcji dla wszystkich zgrzewów w porównaniu do rury macierzystej.

Sposób zniszczenia w próbach pełzania dla próbek testowych 30 mm i 50 mm ze zgrzewów wykonanych w technologii jednociśnieniowej SLP i dwuciśnieniowej DLP potwierdza, iż przewidywany punkt inicjacji pęknięć występuje w miejscu koncentracji naprężeń pomiędzy ściegiem i materiałem macierzystym. Następnie dochodziło do propagacji pęknięć do materiału rury macierzystej, a nie do strefy zgrzewu czy do powierzchni styku pomiędzy strefą poddaną działaniu ciepła i rurą, co wskazuje na dobrą jakość (12). Wszystkie próbki wykazały zachowanie wskazujące na powolny rozwój pęknięć, przyspieszany wskutek zastosowania detergentu. Próba wykonana na jednej próbce 70 mm (technologia jednociśnieniowa pod niskim

ciśnieniem SLP) zakończyła się niepowodzeniem po znacznie dłuższym czasie zniszczenia wskutek propagacji zarówno ze ściegu wewnętrznego, jak i zewnętrznego, a także częściowo do strefy zgrzewu, przy czym czas do zniszczenia wskazuje na starzenie termiczne (13). Jednakże wynik nie może być przyjęty jako wiarygodny, gdyż wymagane obciążenie było wartością krańcową dla urządzeń użytych do prób. Jeżeli w przyszłości próba ta ma być stosowana dla ścian o takich grubościach to konieczna będzie zmiana geometrii próbek lub modyfikacja skali urządzeń do prób. Czasy do zniszczenia podczas prób pełzania próbek DLP były na ogół niższe niż w przypadku próbek testowych SLP. Próby FNCT zastosowano w celu zrozumienia, co wyniki te oznaczają dla okresów trwałości użytkowej. W Tabeli 4 podano wyniki dla pełnego zakresu zgrzewów. Ogólnie rzecz biorąc, czasy do zniszczenia w przypadku prób FNCT dla zgrzewów SLP i DLP są porównywalne, jednakże niższe wyniki prób pełzania dla zgrzewów DLP można wyjaśnić obecnością ściegów spoin na próbkach testowych. Czasy SHP FNCT dla zgrzewów 50 mm i 70 mm są niższe, chociaż różnica nie jest znaczna. Uspokaja fakt, iż nie zaobserwowano obniżenia skuteczności w przypadku grubszych zgrzewów wykonanych we wszystkich trzech wyżej wymienionych technologiach; co ciekawe, najwyższy wynik uzyskano dla zgrzewów o pełnej grubości 70 mm, wykonanych w każdej z tych technologii.

Czasy do zniszczenia FNCT dla zgrzewu SHP 30 mm oraz dla zgrzewu "słabego", wynoszące odpowiednio 15,9 h oraz 21,1 h, były zdecydowanie poniżej wyników dla pozostałych zgrzewów, > 32,7 h. Tak więc, można przyjąć, iż okres trwałości użytkowej takich zgrzewów pod względem odporności na powolny rozwój pęknięć został zagrożony i musi być uznany za niedopuszczalny. Próby krótkoterminowe wskazują, iż wystąpił problem z tymi zgrzewami, co potwierdzają powyższe wyniki FNCT. W celu zidentyfikowania takich problemów na początkowych etapach montażu oraz wyeliminowania niepełnowartościowych zgrzewów należy wykorzystywać metody zapewniania jakości w miejscu montażu. W celu potwierdzenia technologii i jakości zgrzewów należy usuwać i skręcać ściegi spoin oraz wykonywać próby krótkoterminowe na zgrzewach ćwiczebnych w miejscu montażu.

W celu oceny znaczenia prób pełzania i FNCT dla okresu trwałości użytkowej, firma Hesseltechnik przeprowadziła korelację (15). Nawet przy ostrożnym podejściu, polegającym na tym, że krzywa minimalna bazuje na najniższym czasie do zniszczenia wynoszącym 1303 h dla próby pełzania, obniżonym o współczynnik 3, przewidywany okres trwałości użytkowej zdecydowanie przekroczy okres projektowy. Prognoza 215 lat przy 20 °C w wodzie dla zgrzewu doczołowego gwarantuje możliwość bezpiecznego przyjęcia okresu trwałości użytkowej powyżej 100 lat. Ta sama korelacja w oparciu o FNCT (30 h) daje prognozę 168 lat. Tak więc przedmiotową prognozę można zastosować względem zgrzewów wykonanych prawidłowo

przy użyciu wszystkich trzech powyższych technologii, o czym świadczy fakt, iż wszystkie wyniki FNCT przekroczyły ten poziom. W rzeczywistości, połączenia w zakopanym rurociągu zostaną wzmocnione przez otaczającą ziemię, zaś naprężenia wzdłużne będą znacząco niższe.

Technologie nieniszczące (NDT) dla polietylenowych zgrzewów doczołowych

Wszystkie próby omówione w niniejszym artykule są próbami niszczącymi, w związku z czym możliwe było wykonanie prób na ograniczonej liczbie zgrzewów pobranych z miejsca montażu. Wykonawcy i użytkownicy końcowi częstokroć pytają się o dostępność technologii nieniszczących do prób zgrzewów polietylenowych. Wprowadzenie powszechnie przyjętych technologii przez branżę byłoby z korzyścią dla promowania układów rurociągów polietylenowych o dużych średnicach.

Od wielu lat, producenci ultradźwiękowych urządzeń do prób nieniszczących próbują tworzyć systemy do oceny zgrzewów w tworzywach sztucznych. Co prawda mogą one przydać się do wykrywania pustych przestrzeni w polietylenowych zgrzewach doczołowych, jednakże w codziennej praktyce nie stanowią one problemu. Istotna jest struktura i zachowanie materiału w strefie poddanej działaniu ciepła, Scholten i Jae (15). Badania i analizy ściegów spoin przeprowadzane przez specjalistów zapewniają dużo informacji. Wielkość i jednorodność ściegów spoin może wskazywać na brak prostoliniowości rury, skrzywienie lub rozerwanie ściegów może informować o zachowaniu kruchym, zaś pęcherzyki i występy w ściegach spoin mogą oznaczać obecność wilgoci lub zanieczyszczeń. Technologie analizy termicznej mogą być pomocne przy ocenie właściwości materiałowych ściegów spoin oraz występowania degradacji. Te tematy są omawiane przez Grupę Nadzorującą Projekt.

Obrazowanie mikrofalowe jawi się jako obiecująca technologia nieniszcząca do badania zgrzewów doczołowych; wypróbowano je z pewnym powodzeniem na zgrzewach wykonanych specjalnie do celów niniejszego projektu, o czym raportowali Murphy i Lowe na konferencji PPXV (16).

Wnioski

- Prognozuje się, iż okres trwałości użytkowej zgrzewów w rurociągu prawidłowo wykonanym przy użyciu każdej z trzech powyższych ocenianych technologii, zdecydowanie przekroczy 100 lat.
- Próby wykazały, iż wszystkie trzy technologie pozwalają uzyskać zgrzewy o dobrych parametrach, nieulegających pogorszeniu, dla całego zakresu grubości od 30 mm do 70 mm.
- Próbkę do badań wykonane w technologii jednociśnieniowej przy wysokim ciśnieniu SHP mają mniej plastyczny wygląd.
- Zastosowane próby krótkoterminowe pozwalają na charakteryzację zgrzewów i wykrywanie zgrzewów kruchych o niedopuszczalnej jakości.
- Niższa odporność na powolny rozwój pęknięć, zmierzona za pomocą próby FNCT, jest powiązana ze słabymi wynikami oraz zachowaniem kruchym, obserwowanym podczas prób krótkoterminowych.
- Nie nastąpiło żadne pogorszenie parametrów dla całego zakresu grubości badanych zgrzewów wykonanych w powyższych technologiach.
- Po przeprowadzeniu dalszych analiz powinna pojawić się możliwość zdefiniowania granic dopuszczalnych wyników przy użyciu opisanych metod wykonywania prób.
- Rozwój obrazowania mikrofalowego jako technologii nieniszczącej do oceny integralności zgrzewów doczołowych wydaje się być obiecujący.
- Wyniki niniejszego projektu wskazują, że racjonalizacja i pewna harmonizacja tych trzech technologii będzie możliwa, jeśli branża będzie do tego skłonna.

Podziękowania

Członkowie Stowarzyszenia PE 100⁺ (Borealis, Borouge, Ineos Polyolefins, LyondellBasell, Prime Polymer, Sabic, SCG Chemicals & Thai Polyethylene oraz Total Petrochemicals), Marcogaz, GDF Suez Research and Technical Innovation, KiwaGasTec, a także laboratoria badawcze (Becetel, Exova Polymer UK i Hessel Ingenieurtechnik GmbH). Ponadto otrzymano wsparcie od Reinert Ritz (zgrzewanie oraz przygotowanie próbek do badań), Egeplast (dostawa rur), Widos (zgrzewarka) oraz McElroy (zgrzewanie w technologii amerykańskiej).

Bibliografia

1. H. Nishimura, H. Maeba, T. Ishikawa, H. Ueda, Polyethylene Pipes Survive the Great Hanshin-Awaji Earthquake without Failures, IOM Plastics Pipes X Conference, 1998.
2. S H Beech, J Greiser, D Lowe, P Vanspeybroeck, Harmonisation of polyethylene pipe buttfusion procedures and test methods, Plastics Pipes XV Conference, Vancouver 2010.
3. ISO 21307:2009 Plastics pipes and fittings — Butt fusion jointing procedures for polyethylene (PE) pipes and fittings used in the construction of gas and water distribution systems.
4. DVS 2207-1, Heated tool welding of pipes, pipeline components and sheets made of PE.
5. WIS 4-32-08, Specification for the fusion jointing of polyethylene pressure pipeline systems using PE 80 and PE 100 materials, published by WRc plc, UK.
6. DVS 2203-5, Testing of welded joints of thermoplastics plates and tubes: Technological bend test.
7. EN 12814-1:1999 Testing of welded joints of thermoplastics semi-finished products –Part 1 Bend test.
8. Hill D, Wilson K, Headford A, Butt fusion welding of large diameter thick walled PE pipes, Plastics Pipes XI, Munich, 2001.
9. EN 12814-3:2005 Testing of welded joints of thermoplastics semi-finished products – Part 3, Tensile creep test.
10. DVS 2203-4 Testing of welded joints of thermoplastics plates and tubes - Part 4 Tensile creep test.
11. Gueugnaut D, Berthier F, Lopitiaux A, Constantinescu A, Dang Van K, Predicting the Slow Crack Growth Resistance of PE Resins by Means of Full Notch Creep Testing in Air : Confrontation between Experiments and Modelization, , 17th International Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, pp.38, San Francisco (CA), USA, October 20-23, 2002.
12. J Hessel, A Lueghamer, M Tsunaga Welding of large diameter heavy wall polyolefine pipes and long term performance, Plastics Pipes XII International Conference, Baveno, 2003.
13. DVS 2203-4, Supplement 5, Service life temperature time limits due to thermal ageing.

14. H Vogt, H Enderle, U Schulte, J Hessel, Thermal ageing of PE 100 pipes for accelerated lifetime prediction under service conditions, *Plastics Pipes XIV* Budapest, Hungary, 2008.
15. F Scholten, H Jae, Non-Destructive Ultrasonic Inspection to Detect Flaws in Plastic Pipe Walls and Joints Correlation with Lab Testing, *Kiwa Gastec Technology, Plastics Pipes XIII*, Washington, 2006.
16. K Murphy, D Lowe, Evaluation of a novel microwave based NDT inspection method for polyethylene joints, *Plastics Pipes XV*, Vancouver, 2010.