

ROZWIĄZANIA DO USZCZELNIANIA GWINTÓW I ZAPOBIEGANIA WYCIEKOM W INSTALACJACH WODOROWYCH

SIMONE ZANETTI, Application Engineering, Henkel Włochy

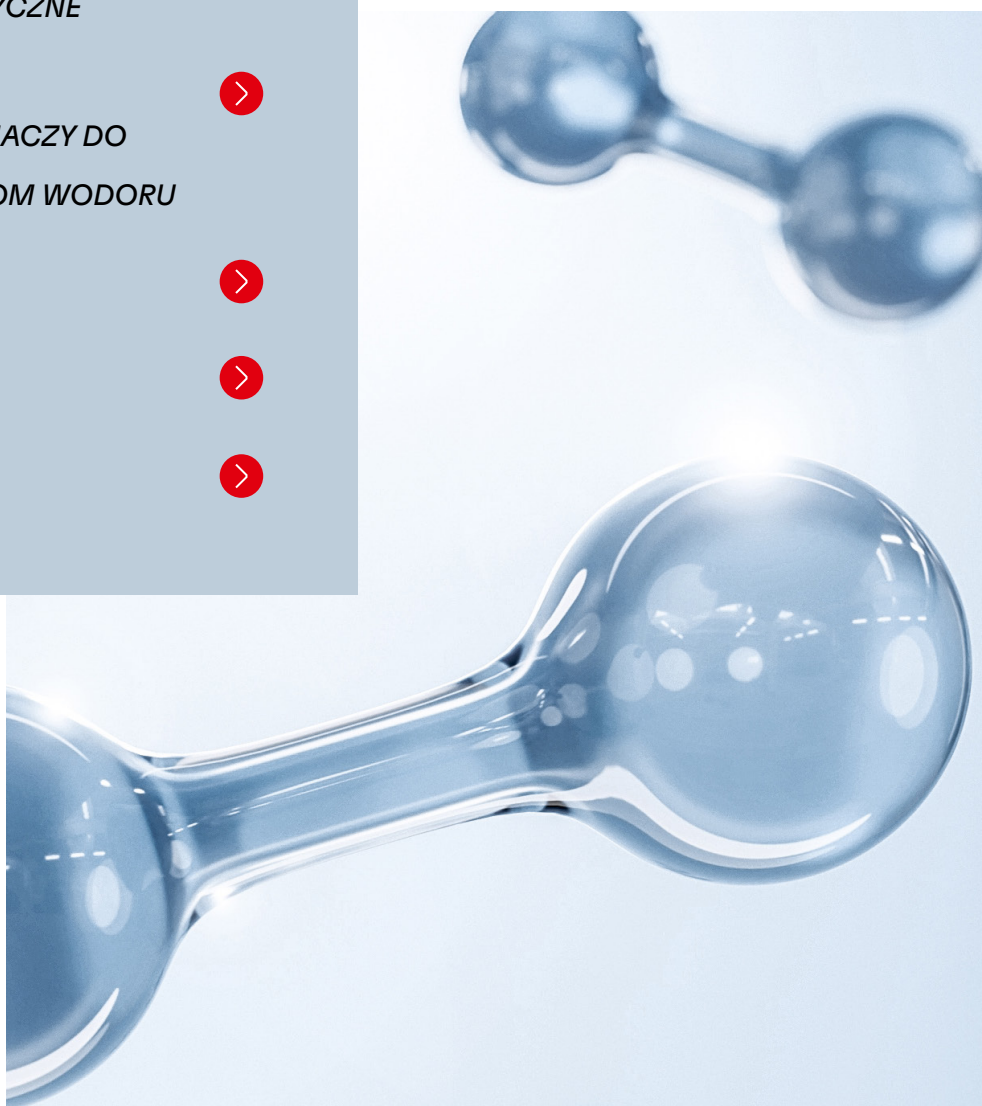
MIKE FEENEY, Application Engineering, Henkel Kanada

DAVID CONDRON, Product Development, Henkel Irlandia

• DOKUMENT INFORMACYJNY

SPIS TREŚCI

- 02** **STRESZCZENIE** >
- 03** **WSTĘP**
WODÓR: OBIECUJĄCE
ROZWIĄZANIE ENERGETYCZNE >
- 04** **METODA BADANIA**
TESTOWANIE USZCZELNIACZY DO
GWINTÓW W CELU
ZAPOBIEGANIA WYCIEKOM WODORU >
- 07** **REZULTATY** >
- 09** **WNIOSKI** >
- 10** **LITERATURA** >



STRESZCZENIE

W czasach, w których coraz większy nacisk kładzie się na zrównoważony rozwój i dążenie do alternatywnych rozwiązań w zakresie czystej energii, „zielony” wodór stanowi szczególnie atrakcyjne rozwiązanie. Jednak przez cały cykl życia, obejmujący od produkcji do dystrybucji, konieczne jest zminimalizowanie lub wyeliminowanie dużych luk związanych z wyciekami, co wiąże się z obciążeniami ekonomicznymi, a także z potencjalnymi zagrożeniami dla bezpieczeństwa.

Sprostanie wyzwaniom związanym z niewielkimi rozmiarami cząsteczek wodoru, tworzenie połączeń przy jednoczesnym zachowaniu szczelności staje się trudnym zadaniem. W urządzeniach mających kontakt z wodorem często unika się połączeń gwintowanych. Zamiast tego inżynierowie często uciekają się do kosztownych procesów montażowych, takich jak spawanie lub stosowanie droższych metod łączenia. W badaniu przedstawiamy skuteczność anaerobowych uszczelniaczy do gwintów i nici uszczelniających do gwintów jako wyjątkowych rozwiązań skutecznie zapobiegających wyciekom w połączeniach gwintowych, co ma kluczowe znaczenie w płynnej integracji „zielonego” wodoru w naszym dążeniu do zrównoważonych rozwiązań energetycznych.



WPROWADZENIE

WODÓR: OBIECUJĄCE ROZWIĄZANIE ENERGETYCZNE

Wodór stanowi praktyczny środek do magazynowania i transportu energii. Wodór w czystej postaci molekularnej (H₂) rzadko występuje na naszej planecie i dlatego musi być produkowany z wody metodą elektrolizy lub też z gazu ziemnego i węgla. Pod pewnymi warunkami, zależącymi od sposobu produkcji, wodór może stanowić zrównoważone rozwiązanie energetyczne, które uzupełni lub zastąpi źródła energii o większym wpływie na środowisko.

Zgodnie z raportem RSE „Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization” (Wodór. Nośnik energii dla osiągnięcia celów dekarbonizacji) „zielony” wodór jest jednym z głównych wariantów całkowitej dekarbonizacji systemu energetycznego do 2050 r. Komisja Europejska przewiduje, że do 2050 r. wykorzystanie „zielonego” wodoru w branży energetycznej wzrośnie do 13–14%. Międzynarodowa Agencja Energetyczna prognozuje, że do 2030 r. na całym świecie będzie jeździło około 2,5 mln samochodów zasilanych wodorem.

Rozwojowi tego sektora z pewnością sprzyjają pewne nieodłączne cechy wodoru, które można podsumować w następujący sposób:

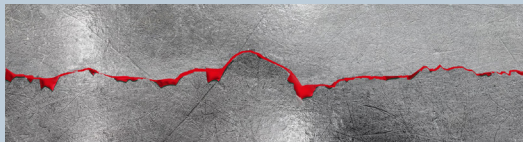
- › Jest to najobficiej występujący pierwiastek w przyrodzie (ponad 90% materii we wszechświecie składa się z wodoru), a Ziemia jest bardzo bogata w ten pierwiastek — wystarczy pomyśleć, że każda cząsteczka wody zawiera dwa atomy wodoru.
- › Jest to wysoce łatwopalny gaz, który nie emituje CO₂, a produktami jego spalania są woda i ciepło.
- › Charakteryzuje się wysoką gęstością energetyczną (120 MJ/kg, w porównaniu z 55.6 MJ/kg dla metanu, 47.3 MJ/kg dla benzyny i 44,8 MJ/kg dla oleju napędowego).
- › Istnieje możliwość przechowywania go w dużych ilościach i przez dłuższy czas.

Wodór ma ogromny potencjał zastosowań: od jego tradycyjnego wykorzystania jako materiału w przemyśle ciężkim (odlewnie, huty żelaza i stali, firmy chemiczne, petrochemiczne, nawozowe i złotnicze), po jego wykorzystanie do generowania ciepła przemysłowego w trudnych do zlikwidowania sektorach (np. w przemyśle tekstylnym lub papierniczym), generowania i magazynowania energii elektrycznej oraz napędzania transportu ciężkiego. W wyżej przedstawionym sprawozdaniu RSE przewiduje się, że do 2050 r. wodór będzie w coraz większym stopniu wprowadzany do zastosowań nietradycyjnych.

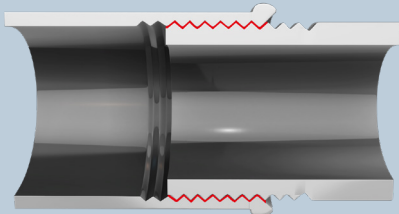
Zgodnie z danymi Międzynarodowej Agencji Energetycznej każdego roku produkuje się 70 mln ton wodoru: 76% z gazu ziemnego, 22% z węgla oraz 2% metodą elektrolizy wody (IEA, 2019). W związku z tym nie każdy wodór jest taki sam; w zależności od sposobu produkcji zwykle określany jest innym kolorem. Mówi się więc o wodorze „szarym”, jeśli jest on wytwarzany w wyniku spalania paliw kopalnych, które emituje dwutlenek węgla, o wodorze „niebieskim”, jeśli jest on wytwarzany ze źródeł kopalnych, ale z wykorzystaniem systemów wychwytywania dwutlenku węgla, które mogą w ten sposób zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych z zanieczyszczających zakładów lub eliminować je bezpośrednio z atmosfery, o wodorze „zielonym”, jeśli jest on wytwarzany z wykorzystaniem energii odnawialnej (np. słonecznej i wiatrowej) oraz o wodorze „fioletowym”, jeśli jest on wytwarzany z wykorzystaniem energii jądrowej. Dlatego nie można mówić ogólnie o wodorze, ale należy zbadać i prześledzić jego łańcuch produkcyjny.

W Europejskiej Strategii Wodorowej priorytetem dla osiągnięcia celów neutralności węglowej do 2050 r. jest rozwój „zielonego” wodoru w perspektywie długoterminowej, wspieranie zintegrowanego systemu energetycznego oraz „niebieskiego” wodoru w krótko- i średnioterminowej fazie przejściowej, która pozwoli szybko zmniejszyć emisje z produkcji wodoru oraz zapewni rozwój zrównoważonego rynku na znaczącą skalę. Oczywiście ważną rolę w tym procesie odgrywa włączenie odnawialnych źródeł do produkcji wodoru.

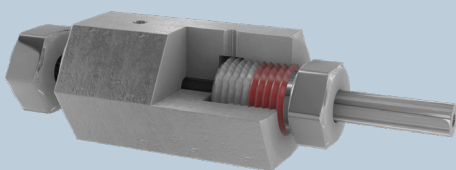




Wszystkie materiały metalowe, bez względu na to, jak dokładnie zostały obrobione, wykazują pewną chropowatość powierzchni. Dlatego nawet w przypadku precyzyjnych metod pasowania, takich jak pasowanie na wcisk, pomiędzy częściami zawsze będą występować punkty styku i puste przestrzenie. Może to tworzyć drogi wycieków, zwłaszcza dla małych cząsteczek, takich jak cząsteczki wodoru. Kleje anaerobowe po nałożeniu rozplývają się równomiernie, wypełniając wszystkie przestrzenie i tworząc niezawodne uszczelnienie pomiędzy stykającymi się częściami.



W połączeniach metalowych nigdy nie występuje całkowity styk pomiędzy częściami; ponieważ w przeciwnym razie ich montaż byłby niemożliwy. Z tego powodu konieczne jest równomierne nakładanie produktów, które wypełnią przestrzenie i utworzą pełne uszczelnienie zapobiegające wyciekom. Rozwiązania anaerobowe, a także LOCTITE 55, stanowią niezawodne rozwiązanie, które zapewni uszczelnienie nawet dla najmniejszych cząsteczek, takich jak wodór.



Po nałożeniu kleju anaerobowego na złącze gwintowane rozprowadza się on równomiernie podczas montażu, tworząc kompletny i jednolity obszar styku, który zapewnia bezpieczne i niezawodne uszczelnienie.

Energia odnawialna, zwłaszcza wiatrowa i słoneczna, nie jest przewidywalna i programowalna: na przykład panele słoneczne działają skutecznie tylko w świetle dziennym i w okresie letnim; turbiny wiatrowe działają tylko w obecności wiatru. Tak więc, w przypadku braku określonych warunków pogodowych, systemy zatrzymują się i nie produkują energii. Zdarzają się również sytuacje, w których dochodzi do nadmiernej produkcji energii i często konieczne jest ograniczenie jej produkcji ze względu na brak możliwości jej magazynowania. Dlatego wodór może być doskonałym uzupełnieniem wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, stanowiąc środek do przechowywania nadmiaru energii w celu późniejszego wykorzystania.

Aby rozwiązać problem sezonowego magazynowania energii, najczystszy i najbardziej wydajnym rozwiązaniem jest wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych do produkcji energii elektrycznej, która może być następnie wykorzystana w elektrolizerze służącym do przekształcenia wody w wodór i tlen. Wytworzony wodór może być następnie natychmiast dystrybuowany za pośrednictwem sieci gazu ziemnego lub przechowywany w zbiornikach, a następnie przekształcany z powrotem w energię elektryczną, a w razie potrzeby także w energię cieplną. Jest to zamknięta pętla z własnym zasilaniem, która może być stosowana na poziomie przemysłowym, a nawet na poziomie inteligentnego miasta.

Oprócz wyzwań związanych z magazynowaniem wodoru, jedną z kluczowych kwestii w przejściu na wodór jest również jego transport, głównie dlatego, że należy zapewnić jego zrównoważone wykorzystanie. Obecnie wodór jest transportowany w postaci sprężonego gazu w butlach, w postaci skroplonej w zbiornikach kriogenicznych, a także rurociągami wodorowymi. Transport w specjalnych rurociągach lub w mieszaninie z gazem ziemnym wydaje się być najbardziej rozsądną opcją.

Poważne wyzwanie dla rurociągów gazu ziemnego stanowią wycieki wodoru. Ponieważ wodór jeszcze łatwiej niż metan może wyciekać przez najmniejsze otwory, pęknięcia i spoiny spawów, główną przeszkodą w szerszym zastosowaniu tego gazu jako paliwa i surowca jest jego transport i ewentualne przechowywanie. Przenikanie wodoru i kruchość dodatkowo zwiększają znaczenie tego problemu.

Wskaźniki wycieku gazu ziemnego już teraz są wyższe niż wartości szacowane przez Agencję Ochrony Środowiska. Badania opublikowane w American Journal of Science wykazały, że straty w amerykańskim łańcuchu dostaw metanu w 2015 r. wynosiły 2,3% produkcji brutto, czyli były o 60% wyższe od szacunków inwentaryzacyjnych EPA (Alvarez i inni, 2018). W dokumencie „Atmospheric implications of increased hydrogen use” (Wpływ zwiększonego zużycia wodoru na atmosferę) z kwietnia 2022 r. zleconej przez rząd Wielkiej Brytanii i opracowanej przez naukowców z University of Cambridge i University of Reading stwierdzono, że wskaźniki wycieków wodoru będą prawdopodobnie wyższe, ponieważ cząsteczki H₂ są mniejsze od cząsteczek CH₄.



EKONOMICZNE ROZWIĄZANIA USZCZELNIAJĄCE DO POŁĄCZEŃ GWINTOWANYCH W INSTALACJACH WODOROWYCH

Z tych powodów często zaleca się uszczelnianie połączeń gwintowanych poprzez ich spawanie lub całkowite unikanie ich stosowania. Zwiększa to znacznie koszty instalacji ze względu na droższe komponenty stanowiące alternatywę dla połączeń gwintowanych lub też wymaga zatrudnienia wykwalifikowanych pracowników do spawania uszczelnień. Kosztów tych można uniknąć lub je obniżyć, jeśli do niezawodnego uszczelnienia znormalizowanych i łatwo dostępnych połączeń gwintowych zostanie użyty odpowiedni uszczelniacz. Wytyczne zawarte w dokumentacji ASME (American Society of Mechanical Engineers) dla rur i rurociągów wodorowych (B31.12-2023) umożliwiają stosowanie połączeń gwintowanych. Połączenia gwintowane stożkowe (NPT zgodnie z ASME B1.20.1) mogą być stosowane w systemach o ciśnieniu konstrukcyjnym poniżej 20 670 kPa (3000 psig) oraz do 48 280 kPa (7000 psig), jeśli jest to określone przez projekt inżynierski (ASME, 2023).

Kleje i uszczelniacze anaerobowe stanowią skuteczne rozwiązanie uszczelniające dla wodoru gazowego. Są to kleje reaktywne, które szybko utwardzają się do termoutwardzalnego tworzywa w wyniku kontaktu z powierzchniami metalowymi przy braku powietrza.

Ściśle przylegające metalowe gwinty tworzą niemal idealne warunki utwardzania, dzięki czemu materiały te są idealnie nadają się do uszczelniania gwintów, pokonując wiele ograniczeń tradycyjnych metod uszczelniania. Ponieważ są one nakładane na gwinty w stanie płynnym, mogą wypełnić wszelkie puste przestrzenie i niedoskonałości pomiędzy współpracującymi gwintami. Po zamknięciu pomiędzy metalowymi gwintami nie ma wystarczającej ilości tlenu, aby utrzymać stabilność materiału w stanie ciekłym — szybka polimeryzacja tworzy termoutwardzalne tworzywo sztuczne, które zapewnia mechaniczne połączenie pomiędzy dwoma komponentami. Ponieważ skuteczność uszczelnienia nie zależy od docisku pomiędzy gwintami, złącze można początkowo ustawić w dowolnej orientacji, a nadmiar materiału wyciśnięty ze złącza można usunąć. Dzięki temu połączenie ma czysty wygląd i charakteryzuje się odpornością na poluzowanie wibracyjne, temperatury do 200°C oraz ciśnienia o wartościach aż do ciśnienia rozrywającego w większości systemów. Więcej informacji na temat anaerobowych uszczelniaczy do gwintów oraz ich zdolności do uszczelniania gazów i cieczy można znaleźć w opracowaniu McGurk'a [7].



METODA BADANIA

TESTOWANIE

USZCZELNIACZY DO GWINTÓW W CELU ZAPOBIEGANIA WYCIEKOM WODORU

Aby wykazać zgodność i skuteczność rozwiązań uszczelniających, firma Henkel opracowała eksperyment i zleciła zewnętrznemu laboratorium przeprowadzenie niskociśnieniowego testu wycieku wodoru gazowego na trzech różnych uszczelniaczach do gwintów metodą spadku ciśnienia.

Dodatkowo uszczelniacze były stosowane w zespołach wykorzystujących gwinty rurowe zarówno NPT (American National Standard Taper), jak i BSPT (British Standard Taper), które są najpopularniejszymi rodzajami gwintów rurowych na świecie. Wszystkie zespoły zostały wykonane z elementów ze stali nierdzewnej 304, ponieważ stopy serii 300 są najczęściej stosowane w systemach rurociągów do przesyłu gazu (European Industrial Gases Association, 2014).

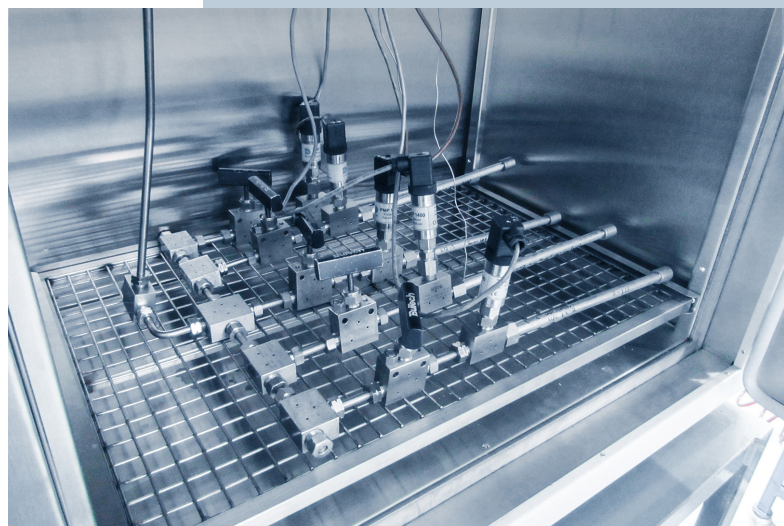
Ponieważ nie istnieją żadne normy referencyjne dotyczące testowania uszczelniaczy wodorowych, opracowaliśmy zestaw testowy oparty na dostępnych normach, takich jak ASTM D6396 (standardowa metoda testowania uszczelniaczy do gwintów rurowych na trójnikach rurowych), ASTM D1599 (standardowa metoda badania odporności na krótkotrwałe ciśnienie hydrauliczne rur, przewodów rurowych i złączek z tworzyw sztucznych), LOCTITE STM 772 (w oparciu o dwie poprzednie normy ASTM) oraz EN 751-1 (materiały uszczelniające do metalowych połączeń gwintowych mających kontakt z gazami 1, 2 i 3 rodziny oraz gorącą wodą — część 1: Anaerobowe związki uszczelniające).

W oparciu o te normy opracowaliśmy odpowiednie narzędzie i zdefiniowaliśmy parametry do testowania.

Do testów wybrano dwa rodzaje uszczelniaczy do gwintów: anaerobowe uszczelniacze do gwintów (LOCTITE 577 i LOCTITE 567) oraz nić uszczelniającą do gwintów (LOCTITE 55). LOCTITE 577 jest najczęściej stosowanym uszczelniaczem anaerobowym do gwintów BSPT i innych połączeń prostych (równoległych) ze stożkowymi, natomiast LOCTITE 567 jest najpopularniejszym uszczelniaczem anaerobowym do gwintów NPT oraz stożkowych połączeń gwintowanych.

LOCTITE 55 jest najpopularniejszą nieutwardzającą się nitką uszczelniającą, często stosowaną w połączeniach wymagających niewielkich regulacji przed użyciem. Wszystkie trzy uszczelniacze uzyskały już certyfikat zgodności z co najmniej jedną regionalną homologacją dla gazu ziemnego. Ponieważ wodór jest badany pod kątem mieszania z gazem ziemnym w istniejącej infrastrukturze gazu ziemnego, było to ważne rozważenie.

Test obejmował dwa stopnie ciśnienia. W szczególności w przypadku preparatu LOCTITE 55 ciśnienie testowe wynosiło 9 bar (131 psi) przy wzroście do 10,3 bar (150 psi), natomiast w przypadku preparatów LOCTITE 567 i 577 ciśnienie testowe wynosiło 20 bar (300 psi) przy wzroście do 31 bar (450 psi).



RYSUNEK 1: Konfiguracja testu

REZULTATY

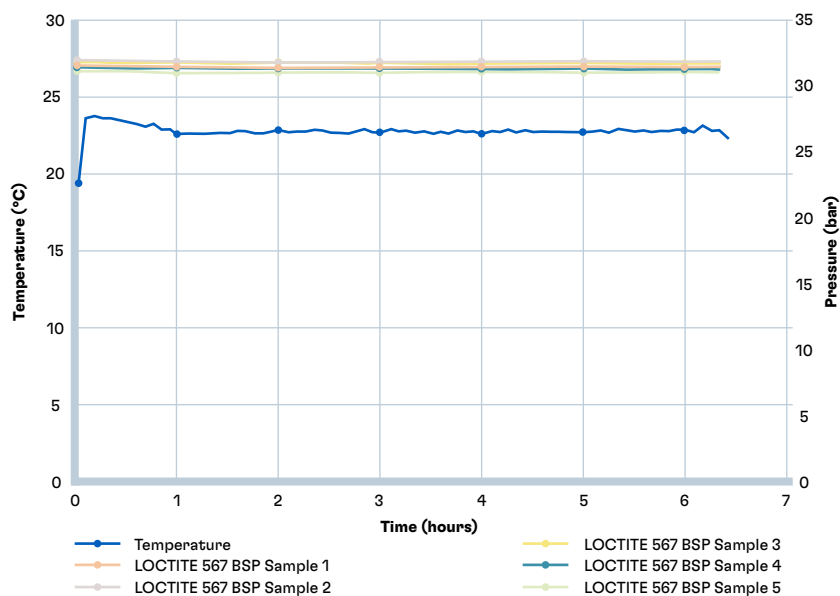
Podczas każdego z testów były rejestrowane wartości temperatury i ciśnienia. Punkty zostały wykreślone w celu zidentyfikowania wycieków dla każdego z materiałów do uszczelniania gwintów. Objętość gazu w systemie była bardzo mała, więc każdy spadek ciśnienia byłby zauważalny.



LOCTITE 567

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki uzyskane dla produktu LOCTITE 567 w jednym teście ciśnieniowym. W szczególności wykres przedstawia ciśnienie i temperaturę w porównaniu z testem szczelności dla wodoru pod ciśnieniem 31 bar dla próbek złączy BSPT. Nie zaobserwowano spadku ciśnienia, co oznacza, że nie doszło do wycieku.

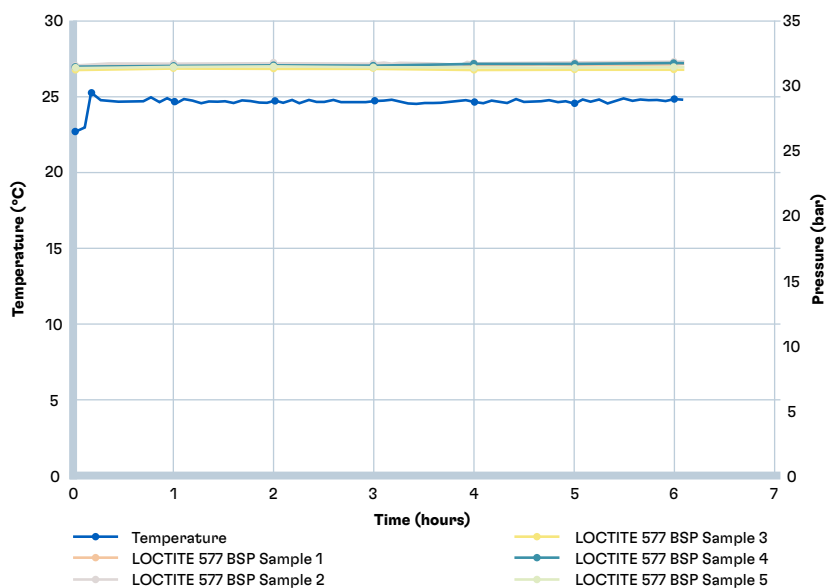
RYSUNEK 2: Wykres temperatury i ciśnienia dla złącza LOCTITE 567 BSPT przy ciśnieniu 31 bar



LOCTITE 577

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki uzyskane dla produktu LOCTITE 577 w jednym teście ciśnieniowym. W szczególności wykres przedstawia ciśnienie i temperaturę w porównaniu z testem szczelności dla wodoru pod ciśnieniem 31 bar dla próbek złączy BSPT. Nie zaobserwowano spadku ciśnienia, co oznacza, że nie doszło do wycieku.

RYSUNEK 3: Wykres temperatury i ciśnienia dla złącza LOCTITE 577 BSPT przy ciśnieniu 31 bar





LOCTITE 55

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki uzyskane dla produktu LOCTITE 55 w jednym teście ciśnieniowym. W szczególności przedstawia on wykres temperatury i ciśnienia dla drugiego warunku testowego ciśnienia 10,3 bar dla złączki NPT. Nie odnotowano widocznego spadku ciśnienia, więc można stwierdzić, że nie doszło do wycieku.

RYSUNEK 4: Wykres temperatury i ciśnienia dla złącza LOCTITE 55 NPT przy ciśnieniu 10,3 bar

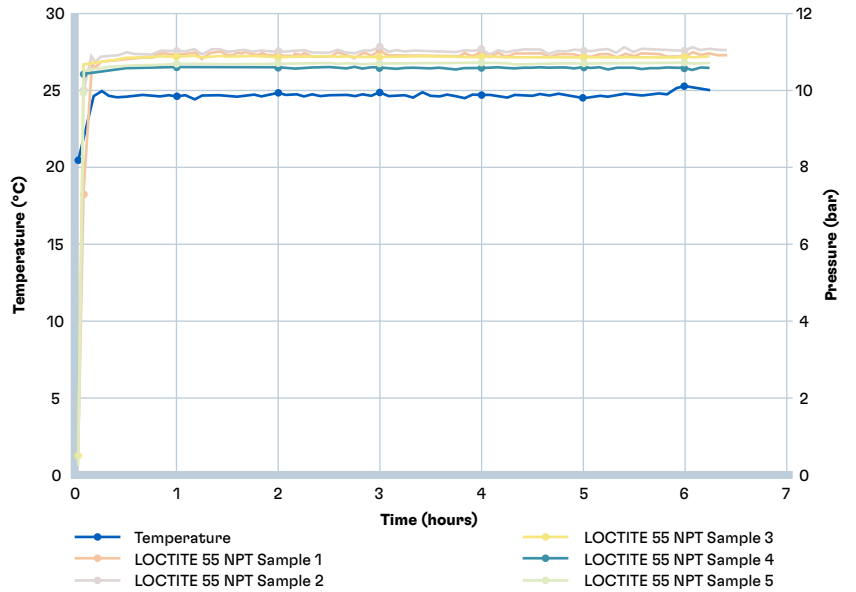


TABELA ZBIORCZA

Rysunek 5 przedstawia wszystkie wyniki uzyskane podczas testów przy różnych ciśnieniach oraz dla różnych typów złączy NPT i BSPT:

Zespół testowy	Uszczelniacz	Ciśnienie testowe (krok 1)	Wyniki testów	Ciśnienie testowe (krok 2)	Wyniki testów	Gaz testowy
¼" NPT — stal nierdzewna 304	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	Wodór
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
¼" BSPT — stal nierdzewna 304	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	

RYSUNEK 5: Tabela zbiorcza wyników testu

WNIOSKI

- › Testy uszczelnień opisane w tym artykule zostały przeprowadzone w celu wykazania, na ile skuteczne rozwiązanie zapobiegające wyciekom wodoru w złączach gwintowanych stanowią anaerobowe uszczelniacze do gwintów oraz nić do uszczelniania gwintów LOCTITE 55.
- › Do pomiaru ciśnienia zastosowano przetworniki z odpowiednio skalibrowanym wyjściem elektrycznym pozwalające uzyskać dokładność od 0,05 do 0,1 bara.
- › Wszystkie próbki zostały pomyślnie przetestowane. Dla żadnej z testowanych próbek nie wystąpiły znaczące spadki ciśnienia przy żadnym z rozważanych ciśnień.
- › Można stwierdzić, że nieutwardzająca się nić uszczelniająca do gwintów LOCTITE 55 stanowi odpowiednie rozwiązanie do uszczelniania gazowego wodoru przy niższych ciśnieniach do 10 bar (150 psi) na złączach NPT i BSPT.
- › Utwardzane anaerobowo uszczelniacze do gwintów stanowią skuteczne uszczelnienie dla wodoru gazowego pod ciśnieniem do 31 bar (450 psi) na złączach NPT i BSPT. Ponieważ produkty te utwardzają się, tworząc termoutwardzalny polimer, oczekuje się, że mogą one zapewnić uszczelnienie przy jeszcze wyższych ciśnieniach, jednak nie było to możliwe do sprawdzenia przy użyciu dostępnego sprzętu testowego.
- › Wszystkie testowane tutaj produkty, wraz z LOCTITE 570 i LOCTITE 638, zostały również przetestowane i uzyskały certyfikat Kiwa dotyczący uszczelnień instalacji wodorowych, zgodnie z AR 214. Kiwa NV jest europejską instytucją działającą na rynku badań, inspekcji i certyfikacji.
- › Uszczelniacze badane w niniejszym raporcie stanowią wygodną, niezawodną i ekonomiczną metodę uszczelniania złączy gwintowanych stosowanych w instalacjach wodorowych. Uszczelniacze anaerobowe do gwintów zapewniają również dodatkową warstwę bezpieczeństwa i uszczelnienia połączeń gwintowanych, zapobiegając samoczynnemu poluzowaniu, co jest istotne ze względu na łatwopalność gazowego wodoru.
- › Anaerobowe uszczelniacze do gwintów były również stosowane w instalacjach wodorowych wysokiego ciśnienia. Znamy klientów stosujących nasze uszczelniacze anaerobowe do uszczelniania gwintów w instalacjach wodorowych pracujących pod ciśnieniem do 1000 bar. W momencie opracowywania tego artykułu firma Henkel prowadzi testy laboratoryjne w podobnych warunkach, aby zweryfikować ogólną przydatność tych produktów do stosowania w instalacjach wodorowych pod wysokim ciśnieniem. Jeśli są Państwo zainteresowani wynikami tych testów lub chcą dowiedzieć się więcej o tych produktach do własnych zastosowań, prosimy o kontakt z autorami tego artykułu lub lokalnym przedstawicielem Henkla.



LITERATURA

- [1] Raport RSE „Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization” (Wodór. Nośnik energii dla osiągnięcia celów dekarbonizacji), styczeń 2021
- [2] Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) „The Future of Hydrogen” (Przyszłość wodoru), czerwiec 2019
- [3] Ramón A. Alvarez, Daniel Zavala-Araiza, David R. Lyon, David T. Allen, Zachary R. Barkley, Adam R. Brandt, Kenneth J. Davis, Scott C. Herndon, Daniel J. Jacob, Anna Karion, Eric A. Kort, Brian K. Lamb, Thomas Lauvaux, Joannes D. Maasackers, Anthony J. Marchese, Mark Omara, Stephen W. Pacala, Jeff Peischl, Allen L. Robinson, Paul B. Shepson, Colm Sweeney, Amy Townsend-Small, Steven C. Wofsy i Steven P. Hamburg, „Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain” (Ocena emisji metanu w amerykańskich łańcuchach dostaw ropy i gazu), American Journal of Science, czerwiec 2018
- [4] Nicola Warwick, Paul Griffiths, James Keeble, Alexander Archibald, John Pyle, University of Cambridge i NCAS oraz Keith Shine, University of Reading, „Atmospheric Implications of increased hydrogen use” (Wpływ zwiększonego zużycia wodoru na atmosferę), Rząd Wielkiej Brytanii, kwiecień 2022
- [5] Europejskie Stowarzyszenie Gazów Technicznych (EIGA), „Hydrogen Pipeline Systems” (Systemy rurociągów wodorowych), dokument IGC 121/14, 2014
- [6] Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników, „Hydrogen Piping and Pipelines” (Rury i rurociągi wodorowe), B31.12-2023
- [7] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, dokument „High pressure leak prevention — improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds” (Zapobieganie wyciekom pod wysokim ciśnieniem — lepsza wydajność i niezawodność dzięki anaerobowym masom uszczelniającym do gwintów), marzec 2016



Henkel Polska Sp. z o.o.
Adhesive Technologies
ul. Domaniewska 41
02-672 Warszawa
Tel.: 1-800-LOCTITE (562-8483)
Tel.: 860-571-5100
Faks: 860-571-5465



Dane przedstawione w niniejszej publikacji mają charakter wyłącznie informacyjny. Aby uzyskać więcej informacji oraz pomoc przy doborze właściwego rozwiązania, należy skontaktować się z przedstawicielami Henkela. O ile nie wskazano inaczej, wszystkie znaki wykorzystane w niniejszej publikacji są znakami towarowymi i/lub zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Henkel i/lub jej podmiotów powiązanych w Stanach Zjednoczonych, Niemczech oraz pozostałych krajach.
© Henkel AG & Co. KGaA, 2024

Henkel Adhesive Technologies



www.henkel-adhesives.com