

HYDROGEN READY SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO DE ROSCAS E PREVENÇÃO DE FUGAS

SIMONE ZANETTI, Engenheiro de aplicações, Henkel Itália

MIKE FEENEY, Engenheiro de aplicações, Henkel Canadá

DAVID CONDRON, Desenvolvimento de produtos, Henkel Irlanda

• **DOCUMENTO TÉCNICO**



ÍNDICE

02 **RESUMO** >

03 **INTRODUÇÃO** >
HIDROGÉNIO: UMA SOLUÇÃO
ENERGÉTICA PROMISSORA

06 **MÉTODO DE TESTE** >
TESTES COM VEDANTES DE
ROSCAS PARA A PREVENÇÃO DE
FUGAS DE HIDROGÉNIO GASOSO

07 **RESULTADOS** >

09 **CONCLUSÃO** >

10 **REFERÊNCIAS** >



RESUMO

Numa era marcada pela crescente importância da sustentabilidade e a procura de alternativas de energia limpa, o hidrogénio verde surge como uma solução particularmente atrativa. No entanto, durante todo o seu ciclo de vida, desde a produção até à distribuição, a necessidade de minimizar ou eliminar as respetivas fugas é essencial, uma vez que estas geram custos económicos, além de potenciais riscos para a segurança.

Vedar as uniões roscadas de modo a impedir que as diminutas moléculas de hidrogénio escapem representa um grande desafio. Frequentemente, as ligações roscadas são evitadas em equipamentos associados ao hidrogénio. Em vez destas, os engenheiros recorrem muitas vezes a dispendiosos processos de montagem, como a soldadura de vedação ou métodos de ligação mais caros. Neste estudo, demonstramos a eficácia dos vedantes anaeróbicos e do fio vedante como excelentes soluções para prevenir fugas em uniões roscadas de forma eficiente, oferecendo uma contribuição fundamental para a integração sem problemas do hidrogénio verde na nossa procura de soluções energéticas sustentáveis.



INTRODUÇÃO

HIDROGÉNIO: UMA SOLUÇÃO ENERGÉTICA PROMISSORA

O hidrogénio representa uma forma útil de armazenar e transportar energia. O hidrogénio na sua forma molecular pura (H_2) é raro no nosso planeta e, portanto, deve ser produzido a partir da água mediante eletrólise ou a partir do gás natural e do carvão. Em determinadas condições, que dependem da forma como é produzido, o hidrogénio pode constituir uma solução energética sustentável e pode substituir fontes de energia com maior impacto ambiental.

De acordo com o relatório da RSE intitulado “Hidrogénio: Um vetor energético para a descarbonização”, o hidrogénio verde encontra-se entre as principais opções para a descarbonização completa do sistema energético até 2050. A Comissão Europeia prevê um crescimento da utilização de hidrogénio verde para 13-14 por cento da economia energética até 2050; a Agência Internacional de Energia

preveja que, até 2030, haverá cerca de 2,5 milhões de automóveis com propulsão a hidrogénio no mundo inteiro.

O desenvolvimento deste setor é favorecido por certas características intrínsecas do hidrogénio, que podem ser resumidas da seguinte forma:

- › É o elemento mais abundante na natureza (mais de 90 por cento da matéria do universo é composta por hidrogénio) e a Terra é muito rica neste elemento; basta considerar o facto de que cada molécula de água contém dois átomos de hidrogénio.
- › É um gás altamente inflamável que não emite CO_2 e cujos produtos de combustão são água e calor.
- › Possui uma elevada densidade energética (120 MJ/kg, em comparação com 55,6 MJ/kg do metano, 47,3 MJ/kg da gasolina e 44,8 MJ/kg do diesel).



- › Pode ser armazenado em grandes quantidades e durante períodos prolongados.

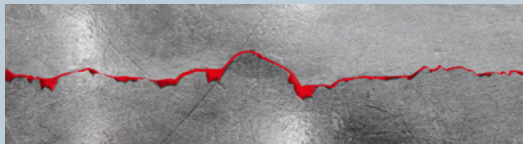
O hidrogénio possui um enorme potencial de aplicação: desde a sua utilização tradicional como reagente em indústrias pesadas (fundições, siderurgia, química, petroquímica, fertilizantes e empresas de ouro) até à sua utilização na geração de calor industrial em setores difíceis de descarbonizar (por exemplo, fábricas têxteis ou de papel), produção e armazenamento de eletricidade e alimentação de transporte pesado. Segundo os prognósticos do relatório da RSE previamente referido, até 2050, a introdução do hidrogénio para utilizações não tradicionais será cada vez mais frequente. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, são produzidos 70 milhões de toneladas de hidrogénio por ano:

76 por cento a partir do gás natural, 22 por cento a partir do carvão e 2 por cento a partir da eletrólise da água (IEA, 2019). Portanto, nem todo o hidrogénio é igual; em função da forma como é produzido, convencionalmente adquire uma cor diferente. Falamos de hidrogénio cinzento se for produzido através da combustão de fontes fósseis e, portanto, emitir dióxido de carbono; de hidrogénio azul se for produzido a partir de fontes fósseis, mas com sistemas de captura de carbono, que permitem reduzir as emissões de gases com efeito de estufa de unidades industriais poluentes ou eliminá-las diretamente da atmosfera; de hidrogénio verde se for produzido a partir de energia renovável (por exemplo, solar e eólica) e de hidrogénio púrpura se for produzido a partir de energia nuclear. Por conseguinte, não podemos falar do hidrogénio de forma genérica; é necessário estudá-lo e rastrear a sua cadeia de produção.

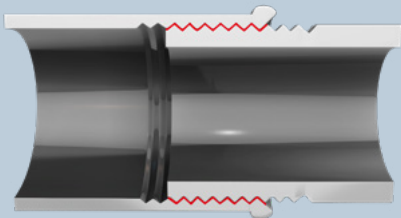
Na Estratégia Europeia para o Hidrogénio, a prioridade para alcançar os objetivos de neutralidade em termos de carbono até 2050 é desenvolver o hidrogénio verde a longo prazo, promovendo um sistema energético integrado, e o hidrogénio azul na fase de transição a curto e médio prazo, que pode reduzir rapidamente as emissões da produção de hidrogénio e prosseguir o desenvolvimento de um mercado sustentável numa escala significativa. Claramente, a integração de fontes renováveis na produção de hidrogénio desempenha um papel importante neste processo. As energias renováveis, especialmente a energia eólica e solar, não são previsíveis nem programáveis: os painéis solares, por exemplo, funcionam de forma eficaz apenas durante o dia e durante a época de verão; as turbinas eólicas funcionam apenas na presença de vento. Portanto, na ausência de determinadas condições climáticas, os sistemas param e não produzem energia. Também há momentos em que ocorre uma produção excessiva de energia e, muitas vezes, é necessário limitar a sua produção devido à falta de capacidade de armazenamento. Por conseguinte, o hidrogénio pode ser o complemento perfeito para a produção de energia renovável, fornecendo um meio de armazenamento deste excesso para utilização posterior.

Para resolver o problema do armazenamento sazonal, a solução mais limpa e eficiente é utilizar a energia de fontes renováveis para produzir eletricidade, que pode ser utilizada posteriormente num eletrolisador para transformar água em hidrogénio e oxigénio. O hidrogénio gerado pode ser distribuído imediatamente através das redes de gás natural ou armazenado em tanques e depois transformado novamente em eletricidade, mas também em energia térmica, quando necessário. Trata-se de um circuito fechado autoalimentado que pode ser aplicado a nível industrial e até mesmo ao nível de cidade inteligente.

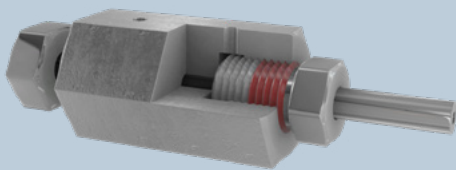




Todos os materiais metálicos, por mais finamente processados que sejam, possuem rugosidade superficial. Portanto, mesmo em ajustes precisos, como ajustes por interferência, haverá pontos de contacto e folgas entre as peças. Tal pode criar vias de fuga, especialmente para moléculas pequenas, como é o caso das moléculas de hidrogénio. Uma vez aplicados, os adesivos anaeróbicos são distribuídos de modo uniforme, preenchendo todos os espaços e criando 100% de contacto entre as peças, o que garante uma vedação completa e fiável.



Nas ligações metálicas, nunca ocorre um contacto completo entre as peças; caso contrário, seria impossível montá-las. Por este motivo, é essencial aplicar produtos que consigam preencher os espaços e vedar completamente, evitando as fugas. As soluções anaeróbicas, bem como LOCTITE 55, oferecem uma solução fiável e duradoura para vedar até mesmo as moléculas mais pequenas, como as do hidrogénio.



Quando o adesivo anaeróbico é aplicado numa ligação roscada, é distribuído uniformemente durante a montagem, criando uma área de contacto completa e uniforme, o que garante uma vedação segura e fiável.

Juntamente com os desafios associados ao armazenamento de hidrogénio, o transporte também é um dos temas críticos na transição para o hidrogénio, principalmente porque a sua sustentabilidade deve ser garantida. Hoje em dia, o hidrogénio é transportado sob a forma de gás comprimido em cilindros, sob forma líquida em tanques criogénicos e através de hidrodutos. Como é transportado nos hidrodutos? O transporte em tubagens especiais ou numa mistura com gás natural parece ser, pelo menos teoricamente, a opção mais razoável.

A fuga de hidrogénio é um sério desafio para os gasodutos de gás natural. Dado que o hidrogénio pode infiltrar-se até mais facilmente do que o metano através dos orifícios, fissuras e cordões de soldadura mais ínfimos, o transporte e o eventual armazenamento deste gás constitui um obstáculo importante para a sua adoção mais abrangente como combustível e matéria-prima. A permeação e fragilização por hidrogénio agravam ainda mais o problema.

A taxa de fuga de gás natural já é mais elevada do que a estimada pela Agência de Proteção Ambiental. Uma investigação publicada no American Journal of Science descobriu que, em 2015, as perdas na cadeia de fornecimento de metano dos E. U.A. foram de 2,3 por cento da produção bruta, cerca de 60 por cento mais elevadas do que a estimativa do inventário da EPA (Álvarez et al., 2018). O documento técnico «Implicações atmosféricas do aumento da utilização de hidrogénio» (abril de 2022), encomendado pelo governo do Reino Unido e redigido por cientistas da Universidade de Cambridge e da Universidade de Reading, afirma que é provável que as taxas de fuga de hidrogénio sejam mais elevadas, porque as moléculas de H_2 são mais pequenas do que as moléculas de CH_4 .



SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO RENTÁVEIS PARA LIGAÇÕES ROSCADAS EM TUBAGENS DE HIDROGÉNIO

Por estes motivos, recomenda-se muitas vezes que as ligações roscadas sejam soldadas hermeticamente ou totalmente evitadas. Tal introduz custos significativos, pois implica a utilização de componentes mais caros, como alternativas às ligações roscadas, ou da mão de obra qualificada necessária para realizar a soldadura hermética. Estes custos podem ser evitados ou reduzidos utilizando um vedante adequado para vedar de forma fiável as ligações roscadas padrão e disponíveis. As diretrizes disponibilizadas pelo código da Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME) em matéria de tubagens e tubos para o transporte de hidrogénio (B31.12-2023) permitem ligações roscadas. Podem ser utilizadas juntas de rosca cónica (NPT em conformidade com ASME B1.20.1) em sistemas com pressões de projeto inferiores a 20.670 kPa (3.000 psig) e até 48.280 kPa (7.000 psig) quando especificado pelo projeto de engenharia (ASME, 2023).

Os adesivos e vedantes anaeróbicos estão em boa posição para oferecer uma solução de vedação para o hidrogénio gasoso. São adesivos reativos que, em contacto com superfícies de metal e na ausência de ar, curam rapidamente, transformando-se num plástico termoestável.

As rosas metálicas ajustadas criam condições de cura quase perfeitas, portanto, estes materiais constituem vedantes de rosas ideais que superam muitas das limitações dos métodos de vedação tradicionais. Como são aplicados nas rosas em estado líquido, conseguem preencher qualquer folga ou imperfeição entre as rosas de ligação. Quando ficam confinados entre as rosas metálicas, não há oxigénio suficiente para manter o material estável no seu estado líquido: a polimerização rápida cria então um plástico termoestável que proporciona uma união mecânica entre ambas as peças. Uma vez que o desempenho da vedação não depende da compressão entre as rosas, a montagem pode ser alinhada inicialmente em qualquer orientação e qualquer excesso de material que seja expelido da união pode ser limpo. Tal confere uma aparência limpa à união e proporciona: resistência ao afrouxamento por vibração, a temperaturas de até 200 °C e a pressões até à pressão de rebentamento da maior parte dos sistemas. No relatório técnico de McGurk et al. pode ser encontrada uma explicação mais detalhada sobre os vedantes de rosas anaeróbicos e a respetiva capacidade de proporcionar uma solução de vedação para gases e líquidos. [7].



MÉTODO DE TESTE

TESTES COM VEDANTES DE ROSCAS PARA A PREVENÇÃO DE FUGAS DE HIDROGÉNIO GASOSO

Para demonstrar a compatibilidade e eficácia das soluções de vedação, a Henkel concebeu uma experiência e contratou um laboratório externo para realizar um teste de fugas de hidrogénio gasoso a baixa pressão com três vedantes de rosas diferentes utilizando o método de queda de pressão. Além disso, os vedantes foram utilizados em montagens com rosca cônica para tubagem padrão nacional americana (NPT) e rosca cônica para tubagem padrão britânica (BSPT), que são os tipos de rosca de tubagem mais comuns a nível mundial. Todas as montagens foram fabricadas com componentes de aço inoxidável 304, já que as ligas da série 300 são as mais utilizadas nos sistemas de tubagens de transmissão de gás (Associação Europeia de Gases Industriais, 2014).

Uma vez que não existem normas de referência no que diz respeito aos testes de vedantes de hidrogénio, criámos uma configuração de teste com base nas normas disponíveis, como ASTM D6396 método de teste padrão para testar vedantes de rosas de tubagens em peças em T de tubagens), ASTM D1599 (método de teste padrão para determinar a resistência à pressão hidráulica a curto prazo de tubagens, tubos e ligações de plástico), LOCTITE STM 772 (com base nos dois ASTM anteriores) e EN 751-1 (materiais vedantes para juntas roscadas metálicas em contacto com gases da 1.ª, 2.ª e 3.ª família e com água quente. Parte 1: Compostos vedantes anaeróbicos).

Com base nestas normas, criámos uma ferramenta e definimos os parâmetros para os testes.

Para os ensaios, foram selecionados dois tipos de vedantes de rosas: dois anaeróbicos (LOCTITE 577 e LOCTITE 567) e um fio vedante sem cura (LOCTITE 55).

LOCTITE 577 é o vedante anaeróbico mais comum para ligações BSPT ou outras ligações retas (paralelas) a cónicas, enquanto LOCTITE 567 é o vedante anaeróbico mais comum para ligações de rosca NPT, cónicas a cónicas.

LOCTITE 55 é o fio vedante de rosas sem cura mais utilizado, é ideal para montagens que possam requerer pequenos ajustes antes da respetiva utilização. Os três vedantes já possuem certificação de acordo com, pelo menos, uma aprovação regional para gás natural. Dado que a mistura de hidrogénio com gás natural na infraestrutura de gás natural existente está a ser explorada, esta foi uma consideração importante.

O teste incluiu duas etapas de pressão. Especificamente, para LOCTITE 55 foi testada uma pressão de 9 bar (131 psi) com um aumento para 10,3 bar (150 psi), enquanto para LOCTITE 567 e 577, a pressão testada foi de 20 bar (300 psi) com um aumento para 31 bar (450 psi).

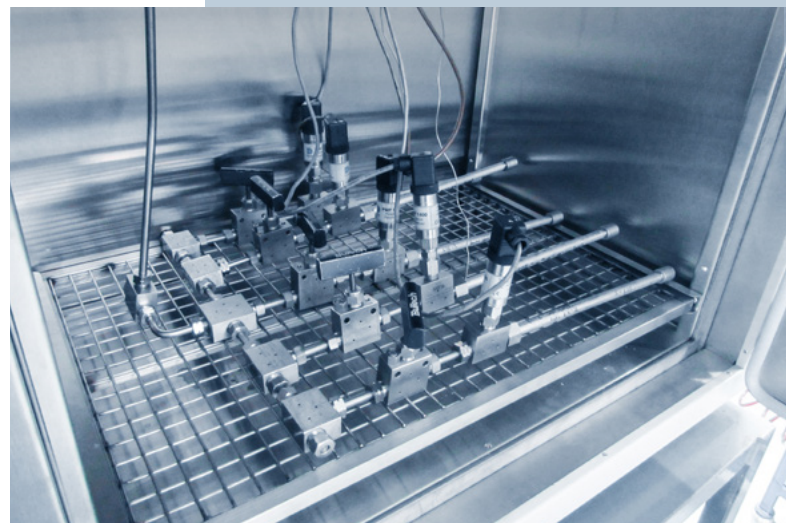


GRÁFICO 1: Teste

RESULTADOS

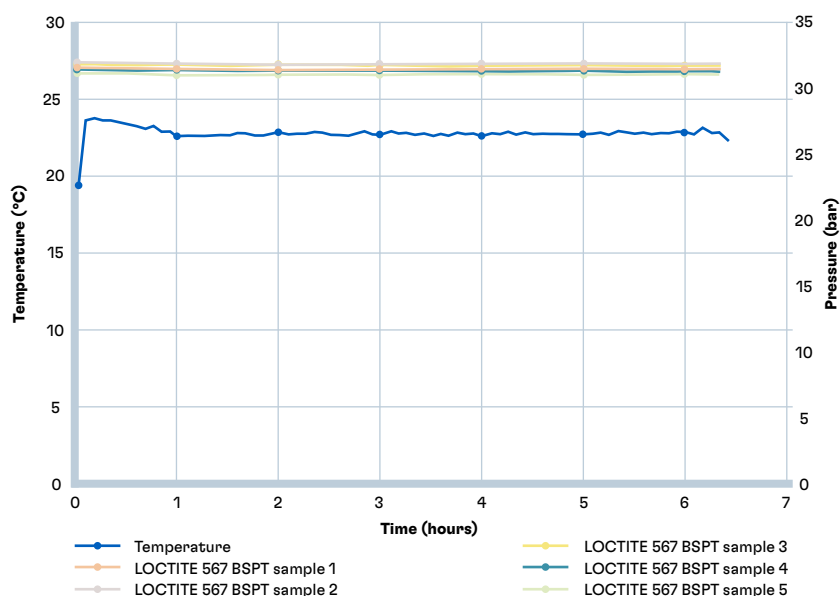
A temperatura e a pressão foram registadas ao longo de cada um dos testes. Foram traçados pontos para identificar qualquer fuga para cada um dos vedantes de rosas. O volume de gás no sistema era muito reduzido, pelo que qualquer queda de pressão seria perceptível.



LOCTITE 567

O gráfico 2 resume os resultados obtidos por LOCTITE 567 num teste de pressão. Especificamente, o gráfico mostra a pressão e a temperatura em comparação com o teste de fugas de hidrogénio a 31 bar para as ligações BSPT. Não foi observada qualquer redução de pressão, portanto, não ocorreram fugas.

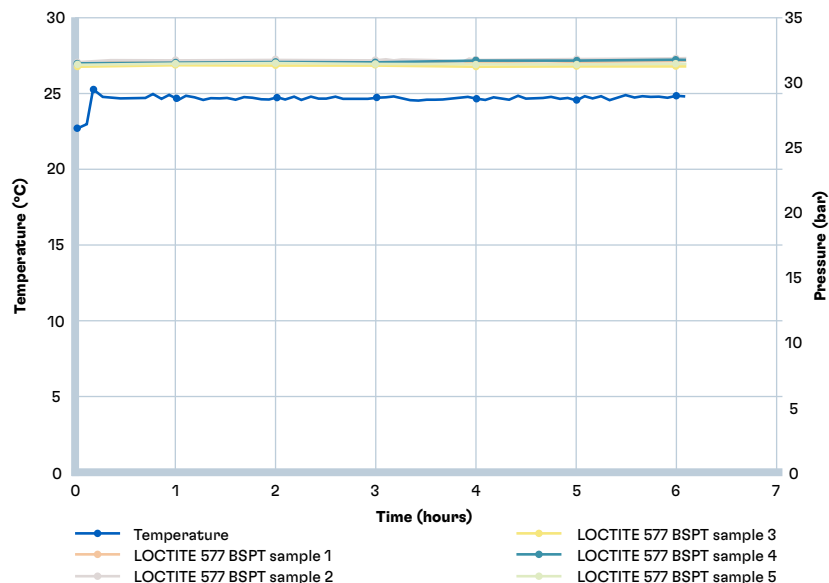
GRÁFICO 2: Temperatura e pressão para a ligação BSPT na qual foi aplicado LOCTITE 567. Pressão de 31 bar.



LOCTITE 577

O gráfico 3 resume os resultados obtidos por LOCTITE 577 num teste de pressão. Especificamente, o gráfico mostra a pressão e a temperatura em comparação com o teste de fugas de hidrogénio a 31 bar para as ligações BSPT. Não foi observada qualquer redução de pressão, portanto, não ocorreram fugas.

GRÁFICO 3: Temperatura e pressão para a ligação BSPT na qual foi aplicado LOCTITE 577. Pressão de 31 bar.

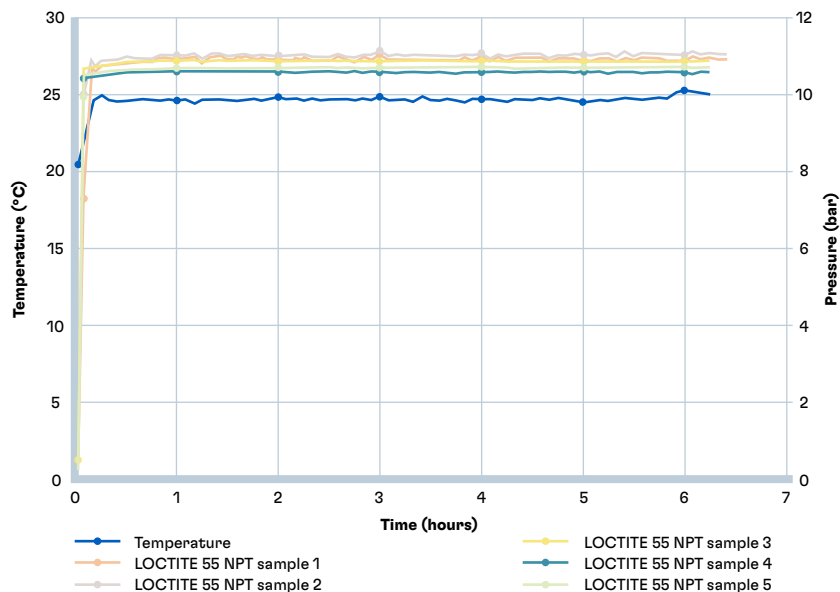




LOCTITE 55

O gráfico 4 resume os resultados obtidos por LOCTITE 55 num teste de pressão. Especificamente, mostra o gráfico de temperatura e pressão na segunda condição de teste de pressão de 10,3 bar para a ligação NPT. Não se verificou uma redução aparente da pressão, o que permite concluir que não ocorreram fugas.

GRÁFICO 4: Temperatura e pressão para a ligação NPT na qual foi aplicado LOCTITE 55. Pressão de 10,3 bar.



RESUMO

O gráfico 5 mostra todos os resultados obtidos nos testes a diversas pressões e para diferentes tipos de ligações NPT e BSPT:

Montagem de teste	Vedante	Ensaio de pressão (passo 1)	Resultado	Ensaio de pressão (passo 2)	Resultado	Gás
¼" NPT – 304, aço inoxidável • Casquilho (10" de comprimento) • Conector • Tampa	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	Hidrogénio
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
¼" BSPT – 304, aço inoxidável • Casquilho (12" de comprimento) • Conector • Tampa (aço inoxidável 316)	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)	✓	

GRÁFICO 5: Resumo dos resultados dos testes.



CONCLUSÃO

- Os testes descritos neste documento foram realizados para demonstrar que os vedantes de roscas anaeróbicos e o fio vedante de roscas LOCTITE 55 proporcionam uma solução de vedação eficaz para a prevenção de fugas de hidrogénio em ligações roscadas.
- Foram utilizados transdutores para medir a pressão, proporcionando uma saída elétrica calibrada para oferecer uma leitura de pressão com uma precisão de entre 0,05 e 0,1 bar.
- Todas as amostras foram testadas de forma satisfatória. Não ocorreram quedas de pressão significativas em nenhuma das amostras testadas a nenhuma das pressões consideradas.
- Pode concluir-se que o fio vedante de roscas LOCTITE 55 oferece uma solução para vedar hidrogénio gasoso a pressões mais baixas, de até 10 bar (150 psi) em acessórios NPT e BSPT.
- Os vedantes de roscas anaeróbicos vedaram de forma satisfatória o hidrogénio gasoso a uma pressão de 31 bar (450 psi) em acessórios NPT e BSPT. Dado que estes produtos curam formando um polímero termoestável, é expectável que consigam vedar a pressões ainda mais elevadas, embora não tenha sido possível realizar este teste com o equipamento disponível.
- Todos os produtos aqui testados, juntamente com LOCTITE 570 e LOCTITE 638, também foram testados e certificados pela Kiwa para aplicações de vedação de hidrogénio, em conformidade com o AR 214. A Kiwa é um organismo de certificação europeu que realiza testes, inspeções e certificações e oferece serviços de consultoria e formação em diversos mercados.
- Os vedantes avaliados neste relatório proporcionam um método conveniente, fiável e rentável para vedar ligações roscadas para utilização com hidrogénio gasoso. Os vedantes de roscas anaeróbicos também oferecem uma camada adicional de segurança para a vedação de ligações roscadas ao prevenir o autoafrouxamento, o que é importante tendo em conta os riscos de inflamabilidade associados ao hidrogénio gasoso.
- Os vedantes de roscas anaeróbicos também foram utilizados em aplicações de hidrogénio a alta pressão. Temos conhecimento de clientes que utilizam os nossos vedantes anaeróbicos a pressões de até 1.000 bar nas suas aplicações de vedação de roscas de hidrogénio. No momento da redação do presente documento, a Henkel estava a realizar testes laboratoriais em condições semelhantes com o objetivo de validar a aplicabilidade geral destes produtos para utilização em ambientes de hidrogénio a alta pressão. Se estiver interessado nos resultados destes testes ou em obter mais informações sobre estes produtos para a sua aplicação, não hesite em entrar em contacto com os autores deste documento ou com o seu comercial da Henkel.



REFERÊNCIAS

- [1] RSE report «Hydrogen an Energy Carrier for decarbonization», janeiro de 2021.
- [2] International Energy Agency (IEA) «The Future of Hydrogen», junho de 2019.
- [3] Ramón A. Álvarez, 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 and Steven P. Hamburg, «Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain», American Journal of Science, junho de 2018.
- [4] Nicola Warwick, Paul Griffiths, James Keeble, Alexander Archibald, John Pyle, University of Cambridge and NCAS and Keith Shine, University of Reading, «Atmospheric Implications of increased hydrogen use», UK government, abril de 2022.
- [5] European Industrial Gases Association (EIGA), «Hydrogen Pipeline Systems», IGC Doc 121/14, 2014.
- [6] American Society of Mechanical Engineers, «Hydrogen Piping and Pipelines», B31.12-2023.
- [7] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, white paper «High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds», março de 2016.



CONTACTO

Henkel Ibérica Portugal Unipessoal LDA

Rua Dom Nuno Álvares Pereira, n.º 4 e 4ª
Polígono das Actividades Económicas
Parque do Oriente, Bloco 1/2
2695-167 Bobadela, Lisboa
Portugal

next.henkel-adhesives.com/pt

Departamento técnico

Tel. +34 93 290 49 05

tecnico.industria@henkel.com

Apoio ao cliente

Tel. +351 800 600 222
(Extensão 2704 / 2706)

csxportugal@henkel.com