

HYDROGEN READY SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO PARA APLICAÇÕES DE FORMAÇÃO DE JUNTAS

SIMONE ZANETTI, Engenheiro de aplicações, Henkel Itália

MIKE FEENEY, Engenheiro de aplicações, Henkel Canadá

DAVID CONDROM, Desenvolvimento de produtos, Henkel Irlanda

• **DOCUMENTO TÉCNICO**



Henkel Adhesive Technologies

ÍNDICE

RESUMO

03

INTRODUÇÃO

SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO
PARA LIGAÇÕES CRÍTICAS

04

ENSAIO

VALIDAÇÃO DOS FORMADORES
DE JUNTAS ATRAVÉS DE ENSAIOS
DE QUEDA DE PRESSÃO

06

RESULTADOS

08

CONCLUSÃO

10

REFERÊNCIAS

11



RESUMO

O hidrogénio está a estabelecer-se como uma importante fonte alternativa de energia, graças à sua abundância e ao seu potencial de reduzir as emissões com efeito de estufa. Mas a utilização de hidrogénio implica desafios significativos, especialmente no que diz respeito à gestão das ligações e uniões dos sistemas de hidrogénio. A vedação das ligações é fundamental para garantir a fiabilidade, eficiência e segurança das aplicações referidas, uma vez que o hidrogénio é um gás altamente permeável e inflamável, que requer soluções precisas para prevenir fugas e garantir a segurança do sistema.

Neste contexto, é essencial utilizar vedantes e técnicas que, além de serem compatíveis com o hidrogénio, sejam capazes de resistir às condições ambientais e de serviço. A escolha do método de vedação adequado pode fazer a diferença entre um sistema altamente fiável e eficiente e um sistema exposto a riscos significativos.



INTRODUÇÃO

SOLUÇÕES DE VEDAÇÃO PARA LIGAÇÕES CRÍTICAS

O hidrogénio, como vetor energético limpo, está a ser alvo de cada vez mais atenção no contexto da mudança para fontes de energia renováveis, devido ao seu potencial para promover a transição para uma economia com baixa emissão de carbono. No entanto, um dos desafios técnicos mais críticos é o controlo das fugas de H₂ no decurso das etapas de produção, armazenamento, distribuição e utilização final, especialmente nas ligações flangeadas.

As flanges são peças fundamentais nos sistemas de tubagens e reservatórios, bem como em bombas, compressores e válvulas, e a respetiva estanqueidade é essencial para garantir a segurança e a eficiência operacional. A molécula de H₂ é pequena e leve, o que a torna especialmente propensa a penetrar em materiais e uniões, aumentando deste modo o risco de fugas e comprometendo a eficiência, a fiabilidade e a segurança dos sistemas. Neste contexto, uma vedação eficaz das flanges desempenha um papel crucial para garantir a estanqueidade dos sistemas que trabalham com H₂ a alta pressão. A escolha dos formadores de juntas, o design do sistema de aperto e as condições de operação são fatores essenciais para prevenir fugas de hidrogénio e fenómenos de fragilização, que podem comprometer a integridade estrutural das flanges e dos elementos de vedação.

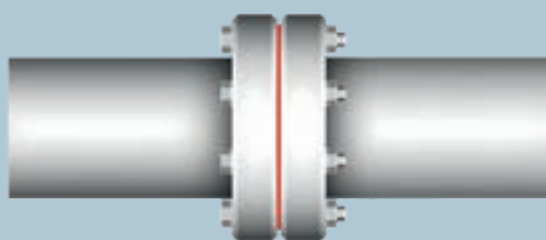
Os vedantes anaeróbicos proporcionam uma solução de vedação para o H₂ gasoso. São adesivos reativos que, em contacto com superfícies metálicas e na ausência de ar, curam formando um plástico termoendurecível.

As flanges metálicas ajustadas criam condições quase perfeitas para a cura destes formadores de juntas, o que os torna vedantes ideais que superam muitas das limitações dos métodos de vedação tradicionais. Como são aplicados em estado líquido, preenchem qualquer folga ou imperfeição superficial. Quando ficam confinados entre as superfícies metálicas, não há oxigénio suficiente para manter o material estável no seu estado líquido, pelo que a cura cria um plástico termoendurecível que proporciona uma união mecânica entre os dois componentes. Uma vez que o desempenho da vedação não depende da compressão entre as faces da flange, 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 rutura nominal da maior parte dos sistemas. No documento técnico de McGurk et al [8] pode ser encontrada uma análise mais detalhada sobre os anaeróbicos e a respetiva capacidade de oferecer uma solução de vedação para gases e líquidos.





Como é possível ver nesta imagem ampliada de duas flanges metálicas rígidas ajustadas, os formadores de juntas anaeróbicos vedam a 100%, preenchendo todo o espaço e as irregularidades superficiais entre as duas superfícies, criando uma vedação estanque e eficaz contra fugas de hidrogénio.



Os formadores de juntas anaeróbicos LOCTITE curam formando um plástico termoendurecível duradouro, adicionando rigidez estrutural e eliminando os micromovimentos da montagem flangeada. O vedante não irá deslizar, assentar nem afrouxar ao longo do tempo, mantendo assim a tensão do elemento de fixação. Além disso, distribui as tensões de maneira uniforme, evitando qualquer fissura ou rasgamento na junta curada que possa provocar fugas de hidrogénio.

ENSAIO

VALIDAÇÃO DOS FORMADORES DE JUNTAS ATRAVÉS DE ENSAIOS DE QUEDA DE PRESSÃO

Para demonstrar a compatibilidade e eficácia das soluções de vedação, a Henkel concebeu uma experiência e contratou um laboratório externo para realizar um ensaio de fuga de hidrogénio gasoso com três formadores de juntas diferentes, utilizando o método de queda de pressão.

A Henkel solicitou a um laboratório externo a avaliação do desempenho de doze montagens, incluindo dois vedantes em cada dispositivo, com hidrogénio a 100%, medindo a queda de pressão sob duas condições diferentes testadas sequencialmente. Foram selecionadas flanges em conformidade com o Código ASME B31.12-2023 para tubagens e condutas de hidrogénio. A montagem foi realizada com flanges roscadas NPT de 1/2" Classe 300 e acessórios Schedule 80 fabricados em aço inoxidável 304. As pressões e temperaturas foram selecionadas de acordo com as especificações.

Cada montagem foi testada a duas pressões e temperaturas diferentes, conforme indicado na Tabela 1.

Para realizar os ensaios de forma ideal, foi necessário preparar adequadamente as peças. Ambas as superfícies das flanges foram limpas e, em seguida, foi aplicado um cordão contínuo de formador de juntas anaeróbico numa das flanges na zona a ser unida, conforme ilustrado na figura 1. Para vedar as montagens para os ensaios, foram utilizados dois vedantes de roscas adequados para hidrogénio nas partes roscadas: LOCTITE 567 e LOCTITE 577. Estes vedantes de roscas tinham sido previamente testados para alta pressão e certificados pela Kiwa em conformidade com a norma AR 214 para contacto com hidrogénio 100%



FIGURA 1: Forma correta de aplicar o produto.



FIGURA 2: Especificação dos vedantes A e B.

puro, tal como indicado no documento técnico anterior "Soluções de vedação para hidrogénio e prevenção de fugas" [9].

Todos os produtos foram deixados em processo de cura durante pelo menos 72 horas antes de realizar os ensaios.

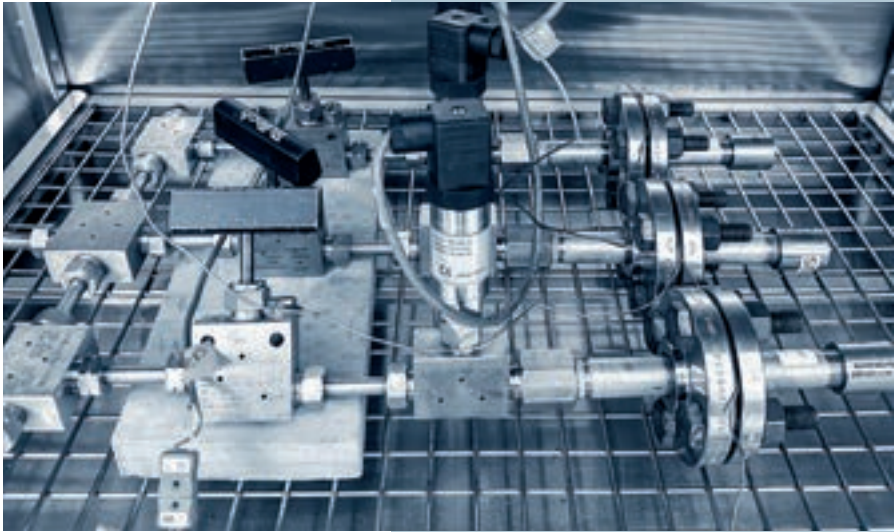


FIGURA 3: Montagem do ensaio.

TABELA 1: Pressão e duração de cada ensaio de fuga

Vedante A	Vedante B	Passo 1			Passo 2		
		Pressão	Temperatura	Duração	Pressão	Temperatura	Duração
LOCTITE 510	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						
LOCTITE 518	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						
LOCTITE 574	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						

RESULTADOS

Os seguintes gráficos mostram um exemplo dos resultados obtidos com três formadores de juntas anaeróbicos diferentes, testados sob diversas condições.

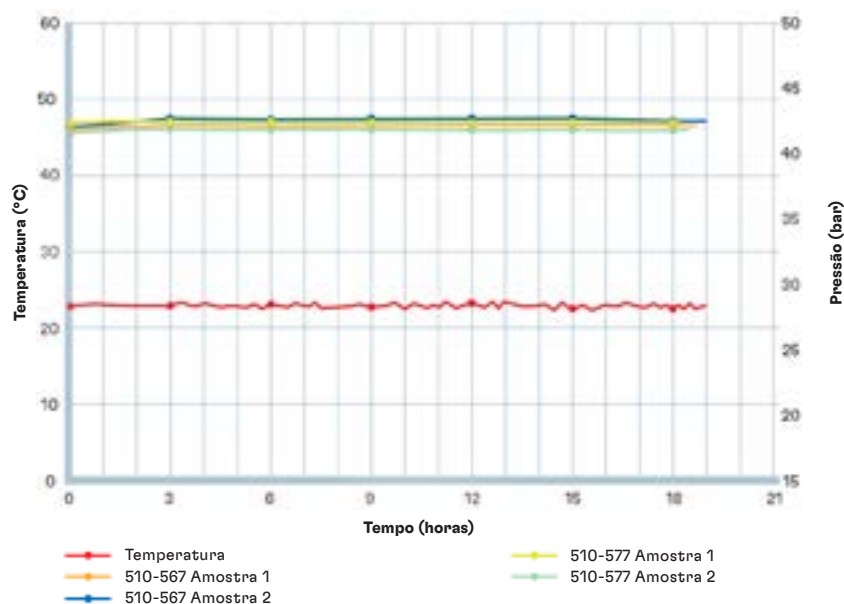
A temperatura e a pressão foram registadas ao longo de cada um dos ensaios. Os gráficos são fornecidos para ilustrar o desempenho de vedação de cada fixação e foram agrupados sob o título "Vedante A" para minimizar o número de gráficos necessários para representar os dados. O volume de gás no sistema era muito reduzido, pelo que qualquer queda de pressão seria perceptível.



LOCTITE 510

A figura 4 mostra o gráfico de pressão e temperatura em função do tempo para o ensaio de fuga de 18 horas a uma pressão de 41 bar com hidrogénio. Uma vez que não foram detetadas fugas, foi iniciado o segundo passo.

FIGURA 4: Gráfico de temperatura e pressão para LOCTITE 510 a 41 bar de pressão e à temperatura ambiente.



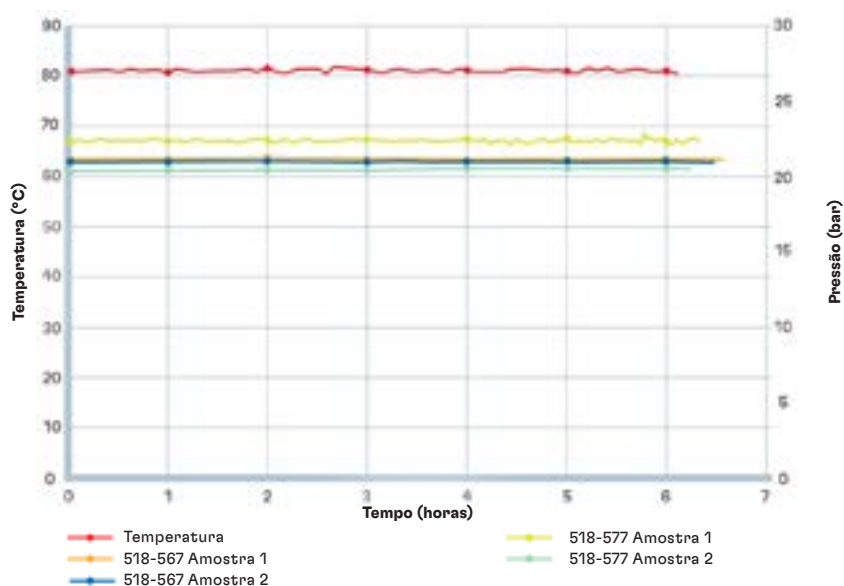


LOCTITE 518

A figura 5 mostra o gráfico de temperatura e pressão a uma pressão de 20 bar e 80 °C. Não foi observada qualquer redução de pressão, o que permite concluir que não ocorreram fugas.

A amostra 1 de LOCTITE 518-577 foi pressurizada inadvertidamente à pressão mais elevada. No entanto, manteve-se estável, pelo que foi decidido não reduzir a pressão.

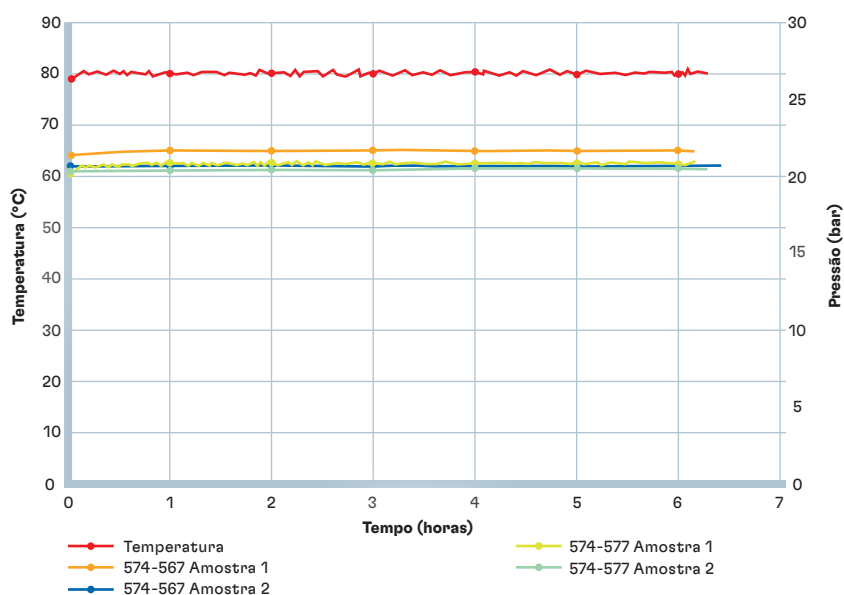
FIGURA 5: Gráfico de temperatura e pressão para LOCTITE 518 a uma pressão de 20 bar e 80 °C.



LOCTITE 574

A figura 6 mostra o gráfico de temperatura e pressão. A pressão foi ajustada para 20 bar, mantendo uma temperatura de 80 °C. Não se verificou uma redução aparente da pressão, o que permite concluir que não ocorreram fugas. Algumas amostras foram pressurizadas à pressão mais elevada. No entanto, mantiveram-se estáveis, pelo que foi decidido não reduzir a pressão.

FIGURA 6: Gráfico de temperatura e pressão para LOCTITE 574 a 20 bar de pressão e a 80 °C.



CONCLUSÃO

- › Os ensaios de fuga descritos neste documento foram realizados para demonstrar que os formadores de juntas anaeróbicos testados proporcionam uma solução de vedação eficaz para evitar fugas de hidrogénio em montagens de flanges metálicas rígidas com faces planas.
- › Foram utilizados transdutores de pressão 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. O volume interno da montagem era de aproximadamente 30 ml, pelo que qualquer formação de fuga resultaria numa queda de pressão perceptível. Não ocorreram quedas de pressão nas amostras testadas às pressões consideradas.
- › Pode concluir-se que os formadores de juntas anaeróbicos vedaram com sucesso o hidrogénio gasoso a pressões de até 41 bar (595 psi) em flanges metálicas. Dado que estes produtos curam formando um polímero termoendurecível, é expectável que consigam vedar mesmo a pressões mais elevadas, embora não tenha sido possível realizar este teste com o equipamento disponível e as resistências dos componentes utilizados.
- › Os ensaios realizados também demonstraram a capacidade dos vedantes de roscas testados de funcionar em tamanhos de conectores maiores dos que os testados previamente, proporcionando um elevado nível de flexibilidade operacional para a tecnologia em diferentes tamanhos e temperaturas. Todos os produtos testados apresentam normalmente uma resistência térmica muito mais alta, permitindo que se adaptem a diferentes aplicações e condições de funcionamento.
- › Para uma vedação adequada de hidrogénio, é importante que as superfícies estejam corretamente preparadas, que o produto seja aplicado de forma adequada e que as peças não estejam danificadas.
- › Os formadores de juntas avaliados neste relatório proporcionam um método rentável e fiável para vedar flanges metálicas rígidas com faces planas para utilização com hidrogénio gasoso. Os vedantes 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.
- › Se estiver interessado nos resultados destes ensaios 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] Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana (ARPAT) "L'idrogeno nello scenario energetico verso la decarbonizzazione", agosto de 2023.

[2] RSE report "Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization," janeiro de 2021.

[3] International Energy Agency (IEA, 2019), "The Future of Hydrogen", junho de 2019.

[4] 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.

[5] 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.

[6] European Industrial Gases Association (EIGA), "HYDROGEN PIPELINE SYSTEMS", IGC Doc 121/14, 2014.

[7] The American Society of Mechanical Engineers (ASME), "Hydrogen Piping and Pipelines", B31.12-2023.

[8] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, relatório detalhado "High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds", março de 2016.

[9] Simone Zanetti, Mike Feeney, David Condron, relatório detalhado "Hydrogen Sealing Solutions and Leak Prevention", 2024.

[10] ASME B16.20: Norma relativa a juntas metálicas para flanges de tubagens.

[11] ASME B31.12-2023: Norma relativa a tubagens e canalizações de hidrogénio.

[12] ISO 15848: Válvulas industriais — Procedimentos de medição, ensaio e classificação para emissões fugitivas.





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

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

next.henkel-adhesives.com/pt

Os dados que figuram neste documento são meramente informativos. Contacte o departamento técnico da Henkel para qualquer consulta sobre as especificações técnicas destes produtos.
Salvo indicado em contrário, todas as marcas utilizadas neste documento são marcas comerciais e/ou marcas comerciais registadas da Henkel e/ou das suas filiais nos E.U.A., Alemanha e demais países. © Henkel AG & Co. KGaA, 2025.

next.henkel-adhesives.com/pt



Henkel Adhesive Technologies