



PRÜFBERICHT

Untersuchung eines nichtmetallischen Materials auf Reaktionsfähigkeit mit Sauerstoff

Aktenzeichen	23026672
Ausfertigung	1. Ausfertigung von 2
Auftraggeber	TEADIT International Produktions GmbH Europastraße 12 6322 Kirchbichl Österreich
Auftrag vom	30. August 2023
Zeichen	BAM TF 1590
Eingegangen am	12. September 2023
Prüfgegenstand/ Untersuchungsmaterial	PTFE-basiertes Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7
Eingegangen am	12. September 2023
Prüfzeitraum	12. September 2023 bis 30. November 2023
Prüfort	BAM, Fachbereich 2.1 „Sicherheit von Energieträgern“ (Haus 41) Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
Prüfung gemäß	DIN EN 1797 und ISO 21010 „Cryogenic Vessels - Gas/Material Compatibility“ Anhang des Merkblatts M034-1 (BGI 617-1) „Liste der nichtmetallischen Materialien“, Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie TRGS 407 Technische Regeln für Gefahrstoffe „Tätigkeiten mit Gasen - Gefährdungsbeurteilung“ Kapitel 3 „Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung“ und Kapitel 4 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gasen“

Dieser Prüfbericht besteht aus Seite 1 bis 10 und den Anlagen 1 bis 4.

Dieser Prüfbericht darf nur in vollem Wortlaut und ohne Zusätze veröffentlicht werden. Für veränderte Wiedergabe und für Auszüge ist vorher die widerrufliche, schriftliche Einwilligung der BAM einzuholen. Der Inhalt des Prüfberichts bezieht sich ausschließlich auf die untersuchten Gegenstände/Materialien.

1 Unterlagen und Prüfmuster

Die Firma hat folgende Unterlagen und Prüfmuster eingereicht:

- 1 Prüfauftrag
Sicherheitstechnische Untersuchung des PTFE-basierten Dichtungsmaterials TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, für den Einsatz in gasförmigem Sauerstoff bei Temperaturen bis 250 °C und bei Drücken bis 50 bar sowie für den Einsatz in flüssigem Sauerstoff.
Sollte das Material die Untersuchung für den Einsatz in gasförmigem Sauerstoff bei den o. a. Werten nicht bestehen, soll die Untersuchung für den Einsatz in gasförmigem Sauerstoff bei einer Temperatur bis 200 °C und bei Drücken bis 40 bar wiederholt werden.
- 1 Compliance Statement REACH REGULATION and SVHC
(3 Seiten, Fa. TEADIT International Produktions GmbH, 21.06.2023)
- 1 Sicherheitshinweise TF 1590
(4 Seiten, TEADIT International Produktions GmbH, Rev.: 05/30112020)
- 1 Kundendatenerfassungsbogen (CMDS) (21.07.2023)
- 20 Ronden des PTFE-basierten Dichtungsmaterials TEADIT TEALON TF 1590,
Charge 202303240046/7
Abmaße: Ø 140 mm, Dicke: 2 mm
Farbe: Beige



2 Angewandte Prüfverfahren

Das PTFE-basierte Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, soll als Flanschdichtungsmaterial in gasförmigem Sauerstoff bei Temperaturen bis 250 °C und bei Drücken bis 50 bar sowie in flüssigem Sauerstoff eingesetzt werden. Auf die Prüfung des Reaktionsverhaltens bei Einwirkung von Sauerstoffdruckstößen konnte verzichtet werden, da nach Angaben des Auftraggebers im angedachten Anwendungsfall keine Druckstöße am Material auftreten können.

Folgende Prüfverfahren wurden angewandt:

2.1 Bestimmung der Zündtemperatur in verdichtetem Sauerstoff

Die Bestimmung der Zündtemperatur ist immer dann erforderlich, wenn das Material bei Temperaturen oberhalb von 60 °C eingesetzt werden soll.

Die Zündtemperatur ist eine sicherheitstechnische Kenngröße und gibt die Temperatur an, bei der sich das Material in Gegenwart von Sauerstoff ohne eine zusätzliche Zündquelle von selbst entzündet. Sie ist daher maßgebend für die maximale Betriebstemperatur, die im Regelfall bei Flanschdichtungsmaterialien 50 °C unter der Zündtemperatur festgelegt wird.

2.2 Prüfung der Alterungsbeständigkeit in verdichtetem Sauerstoff

Die Prüfung wird immer dann durchgeführt, wenn das Material bei Temperaturen oberhalb von 60 °C eingesetzt werden soll. Dabei wird der Einsatz des Materials in der Praxis simuliert und untersucht, ob sich die Zündtemperatur oder Eigenschaften des Materials durch Alterung verändern.

2.3 Prüfung von Flanschdichtungen in verdichtetem Sauerstoff

Diese Untersuchung simuliert den in der Praxis nicht auszuschließenden fehlerhaften Einbau einer Dichtung in eine Flanschverbindung, wobei das Dichtungsmaterial in die lichte Weite des Rohres hineinragt. Bei dieser Prüfung wird das Brandverhalten einer Dichtung nach künstlich eingeleiteter Zündung in einem Standardflansch untersucht. Es soll festgestellt werden, ob der Brand der Dichtung auf das Metall der Flanschverbindung übertragen wird oder ob die Flanschverbindung undicht wird.

2.4 Prüfung des Reaktionsverhaltens mit flüssigem Sauerstoff bei mechanischer Einwirkung

Diese Prüfung ist immer dann erforderlich, wenn im praktischen Einsatz der direkte Kontakt des Materials mit flüssigem Sauerstoff und mechanische Einwirkungen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können.

3 Probennahme

Die für die Untersuchung verwendete Materialprobe wurde vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

3.1 Probenvorbereitung

Für die Prüfungen nach 2.1 und 2.4 wurde PTFE-basierte Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, in Teile mit einer Kantenlänge von ca. 1 mm bis 2 mm zerschnitten und in dieser Form verwendet.

Für die Prüfungen nach Punkt 2.2 wurde das PTFE-basierte Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, in Teile mit einer Kantenlänge von ca. 10 mm bis 20 mm zerschnitten und in dieser Form verwendet.

Für die Prüfungen nach Punkt 2.3 wurde das PTFE-basierte Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, gemäß der Mustervorlage in Bild 1 vorbereitet.

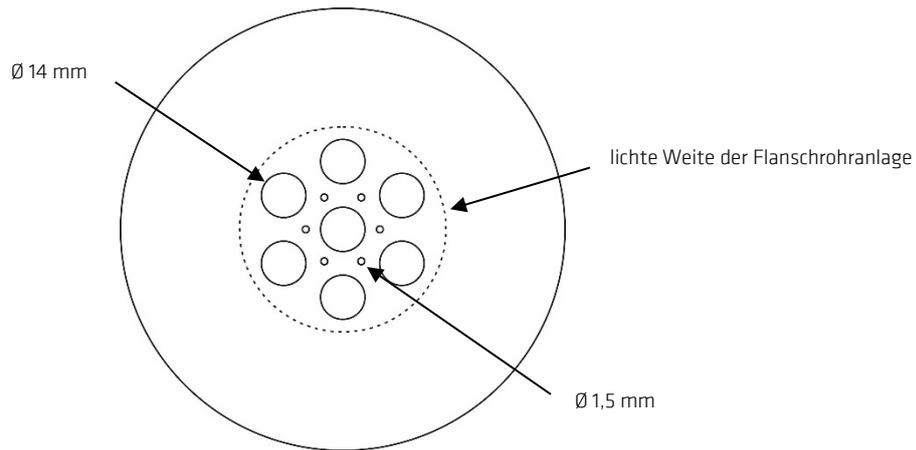


Bild 1: Mustervorlage für elektrisch nichtleitende Flachdichtungsmaterialien

4 Prüfungen

4.1 Bestimmung der Zündtemperatur in verdichtetem Sauerstoff

Das Prüfverfahren wird in Anlage 1 beschrieben.

Auf Grund des vom Auftraggeber genannten angedachten maximalen Betriebsdrucks wurde die Bestimmung der Zündtemperatur bei einem Sauerstoffenddruck von etwa 50 bar durchgeführt.

4.1.1 Beurteilungskriterium

Das Kriterium für eine eindeutige Reaktion des Probenmaterials mit Sauerstoff ist ein plötzlicher Druckanstieg und ein mehr oder weniger steiler Temperaturanstieg.

4.1.2 Ergebnisse

Versuch Nr.	Sauerstoffenddruck p_e [bar]	Zündtemperatur [°C]
1	51	456
2	51	458
3	50	457
4	52	462
5	51	460

Bei fünf Versuchen konnte für die Probe folgende mittlere Zündtemperatur festgestellt werden:

Mittlerer Sauerstoffenddruck p_e [bar]	Mittlere Zündtemperatur [°C]	Standardabweichung [°C]
51	459	± 2

4.2 Prüfung der Alterungsbeständigkeit in verdichtetem Sauerstoff

Das Prüfverfahren wird in Anlage 2 beschrieben.

Üblicherweise wird das Verhalten bei künstlicher Alterung beim maximalen Betriebsdruck sowie bei erhöhter Temperatur, in der Regel 25 °C oberhalb der vorgesehenen maximalen Betriebstemperatur untersucht. In diesem Fall betrug die Prüftemperatur daher 275 °C. Auf Grund des vom Auftraggeber genannten maximalen Betriebsdrucks wurde die Bestimmung der Alterungsbeständigkeit bei einem Sauerstoffenddruck von 50 bar durchgeführt.

4.2.1 Beurteilungskriterium

Für die sicherheitstechnische Beurteilung des Alterungsverhaltens werden drei Kriterien berücksichtigt:

Bei einer Massenänderung $\Delta m \leq 1\%$ gilt die Probe als alterungsbeständig, bei $\Delta m > 1\%$ und $\Delta m \leq 2\%$ gilt die Probe als ausreichend alterungsbeständig, bei $\Delta m > 2\%$ gilt die Probe als nicht alterungsbeständig.

Weist die Probe nach der Prüfung Veränderungen der Farbe, der Konsistenz, der Form oder der Oberflächenbeschaffenheit auf oder werden Ausgasungen festgestellt, wird dies aus sicherheitstechnischer Sicht bei der Beurteilung von der BAM auch berücksichtigt.

Die Zündtemperatur der gealterten Probe wird bestimmt und mit der der nichtgealterten Probe verglichen. Für den Fall, dass sich die beiden Zündtemperaturen unterscheiden, wird aus sicherheitstechnischer Sicht der niedrigere Wert berücksichtigt.

4.2.2 Ergebnisse

4.2.2.1 Prüfung auf Änderung der Masse bzw. der äußeren Beschaffenheit

Zeitdauer [h]	Prüftemperatur [°C]	Sauerstoffprüfdruck [bar]	Massenänderung Δm [%]
100	275	50	$\pm 0,0$

Die Probe war nach der Alterung augenscheinlich unverändert. Die Probenmasse veränderte sich nicht.

4.2.2.2 Bestimmung der Zündtemperatur des gealterten Materials in verdichtetem Sauerstoff

Das Prüfverfahren wird in Anlage 1 beschrieben. Die Bestimmung der Zündtemperatur des gealterten Materials wurde bei gleichen Prüfbedingungen wie unter 4.1 beschrieben durchgeführt.

Versuch Nr.	Sauerstoffenddruck p_e [bar]	Zündtemperatur [°C]
1	51	461
2	51	463
3	51	461
4	51	462
5	51	463

Bei fünf Versuchen konnte für die gealterte Probe folgende mittlere Zündtemperatur festgestellt werden:

Mittlerer Sauerstoffenddruck p_e [bar]	Mittlere Zündtemperatur [°C]	Standardabweichung [°C]
51	462	± 1

4.3 Prüfung von Flanschdichtungen in verdichtetem Sauerstoff

Das Prüfverfahren wird in Anlage 3 beschrieben.

Auf Grund der vom Auftraggeber genannten maximalen Betriebsbedingungen wurde die Prüfung von Flanschdichtungen in verdichtetem Sauerstoff bei einem Druck von 50 bar und bei einer Temperatur von 250 °C durchgeführt.

Vor Beginn der Prüfung wurden die Schrauben der Flanschverbindung gemäß des vom Auftraggeber vorgegebenen Montageprotokolls angezogen:

- Mit 30 % des Soll-Drehmoments über Kreuz anziehen
- Mit 60 % des Soll-Drehmoments über Kreuz anziehen
- Mit 100 % des Soll-Drehmoments über Kreuz anziehen
- Mit 100 % des Soll-Drehmoments im Uhrzeigersinn anziehen
- Nochmals mit 100 % des Soll-Drehmoments im Uhrzeigersinn anziehen

Das Soll-Drehmoment beträgt 300 Nm. Dieses Drehmoment ist erforderlich, um die erforderliche Mindestflächenpressung unter Last zu gewährleisten.

4.3.1 Beurteilungskriterium

Verbrennen nach der künstlich eingeleiteten Zündung des Prüfmusters bei fünf Einzelversuchen nur die ins Rohrinne hineintragenden Teile des Dichtungsmaterials, ohne dass sich der Brand mehr als 2 mm zwischen den Flanschflächen fortsetzt, und bleibt die Verbindung gasdicht, hat das Prüfmuster die Prüfung bestanden. Dieses positive Ergebnis muss durch vier weitere Prüfungen bestätigt werden.

Zeigen die Versuche hingegen, dass sich der Brand des Prüfmusters zwischen den Flanschflächen fortsetzt oder dass die Flanschverbindung undicht wird, hat das Material die Prüfung nicht bestanden. In diesem Fall kann die Prüfung nach Rücksprache mit dem Antragsteller gegebenenfalls bei niedrigeren Temperaturen und/oder Sauerstoffdrücken fortgesetzt werden.

4.3.2 Ergebnisse

Versuch Nr.	Temperatur [°C]	Sauerstoffdruck [bar]	Bemerkungen
1	250	50	Das Prüfmuster reagierte innerhalb der lichten Weite vollständig. Die Flanschflächen waren unbeschädigt. Es traten keine Undichtigkeiten auf.
2	250	50	Das Prüfmuster reagierte innerhalb der lichten Weite vollständig und brannte zum Teil bis zu 7 mm zwischen den Flanschflächen. Die Flanschflächen waren unbeschädigt. Es traten keine Undichtigkeiten auf. <u>Die Prüfung wurde nicht bestanden.</u>

Wie vom Auftraggeber gewünscht wurde die Prüfung bei einem Druck von 40 bar und bei einer Temperatur von 200 °C wiederholt.

Versuch Nr.	Temperatur [°C]	Sauerstoffdruck [bar]	Bemerkungen
1	200	40	Das Prüfmuster reagierte innerhalb der lichten Weite vollständig. Die Flanschdichtflächen waren unbeschädigt. Es traten keine Undichtigkeiten auf.
2	200	40	Probe reagiert wie bei Versuch Nr. 1
3	200	40	Probe reagiert wie bei Versuch Nr. 1
4	200	40	Probe reagiert wie bei Versuch Nr. 1
5	200	40	Probe reagiert wie bei Versuch Nr. 1

Bei fünf Versuchen mit einer Temperatur von 200 °C und bei einem Sauerstoffenddruck von 40 bar verbrannten nur die ins Rohrinne hineinragenden Teile des Prüfmusters innerhalb der lichten Weite des Flansches. Die Flanschverbindung blieb gasdicht. Nach der Prüfung hatten die Prüfmuster eine Dicke von 1,9 mm

4.4 Reaktionsverhalten mit flüssigem Sauerstoff bei mechanischer Einwirkung

Das Prüfverfahren wird in Anlage 4 beschrieben.

4.4.1 Beurteilungskriterium

Gemäß dem BAM-Standard "Prüfung auf Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung" gilt ein nichtmetallisches Material grundsätzlich als ungeeignet für den Einsatz in flüssigem Sauerstoff, wenn bei einer Fallhöhe von 0,17 m (Schlagenergie 125 Nm) oder weniger Reaktionen mit dem flüssigen Sauerstoff beobachtet werden.

4.4.2 Ergebnis

Versuchsreihe Nr.	Fallhöhe [m]	Schlagenergie [Nm]	Verhalten bei mechanischer Einwirkung
1	0,67	500	Reaktion beim 1. Einzeltest
2	0,50	375	Reaktion beim 4. Einzeltest
3	0,33	250	Reaktion beim 6. Einzeltest
4	0,17	125	Reaktion beim 7. Einzeltest

* innerhalb einer Serie von zehn Einzeltests

Bei Fallhöhen von 0,67 m, 0,50 m, 0,33 m und 0,17 m (Schlagenergie 500 Nm, 375 Nm, 250 Nm und 125 Nm) wurden Reaktionen der Probe mit flüssigem Sauerstoff festgestellt.

5 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Das Prüfmuster hat bei einem Sauerstoffenddruck p_e von etwa 51 bar eine mittlere Zündtemperatur von 459 °C mit einer Standardabweichung von ± 2 °C.

Bei einer Temperatur von 275 °C und bei einem Sauerstoffdruck von 50 bar erwies sich das Material als alterungsbeständig.

Die Untersuchung des Brandverhaltes von Rundscheiben des Materials in einem Standardflansch hat ergeben, dass bei einer Temperatur von 250 °C und einem Sauerstoffdruck von 50 bar nicht nur die ins Rohrinne hineintragenden Teile des Prüfmusters innerhalb der lichten Weite des Flansches brannten. Die Prüfmuster brannten mehr als 2 mm zwischen den Flanschdichtflächen. In allen Fällen blieb die Flanschverbindung gasdicht.

Die Untersuchung des Brandverhaltes von Rundscheiben des Materials in einem Standardflansch hat ergeben, dass bei einer Temperatur von 200 °C und einem Sauerstoffdruck von 40 bar nur die ins Rohrinne hineintragenden Teile des Prüfmusters innerhalb der lichten Weite des Flansches brennen. Die Prüfmuster brannten in diesem Fall auch nicht mehr als 2 mm zwischen den Flanschdichtflächen. In allen Fällen blieb die Flanschverbindung gasdicht.

Bei der Prüfung des Materials auf Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung wurde bei einer Schlagenergie von 125 Nm eine Reaktion festgestellt.

6 Messunsicherheit

Die Prüfungen werden in Anlehnung an die auf dem Deckblatt dieses Berichts genannten Normen, Richtlinien bzw. Standards durchgeführt. Danach soll die Temperaturmessung eine maximale Abweichung von ± 2 K und die Druckmessung eine maximale Abweichung von ± 2 bar haben.

Für die Prüfung in Kapitel 4.1 hat die verwendete Temperatur-Messkette (gemäß Kalibrierprotokoll vom 23.01.2023) eine Messunsicherheit von 0,7 K, und die verwendete Druck-Messkette hat (gemäß Kalibrierprotokoll vom 25.01.2023) eine Messunsicherheit von 0,3 bar.

Für die Prüfung in Kapitel 4.2 hat die verwendete Temperatur-Messkette (gemäß Kalibrierprotokoll vom 13.03.2023) eine erweiterte Messunsicherheit von 1 K, und die verwendete Druck-Messkette hat (gemäß Kalibrierprotokoll vom 13.02.2023) eine Messunsicherheit von 0,3 bar.

Für die Prüfung in Kapitel 4.3 hat die verwendete Temperatur-Messkette (gemäß Kalibrierprotokoll vom 12.08.2023) eine erweiterte Messunsicherheit von 2,7 K, und die verwendete Druck-Messkette hat (gemäß Kalibrierprotokoll vom 14.08.2023) eine Messunsicherheit von 0,6 bar.

Die Messunsicherheit bei der Bestimmung der Fallhöhe während des Tests in Kapitel 4.4 beträgt etwa $\pm 0,01$ m. Die Erfahrung hat gezeigt, dass diese Messunsicherheit keinen Einfluss auf das Testergebnis hat.

7 Aussagen zur Konformität

Die Prüfungen werden in Anlehnung an die auf dem Deckblatt dieses Berichts genannten Normen, Richtlinien bzw. Standards durchgeführt. Abweichende oder ergänzende Prüfkriterien werden im jeweiligen Unterkapitel „Beurteilungskriterium“ im Kapitel 4 „Prüfungen“ beschrieben.

8 Meinung und Interpretation

Es war vorgesehen, das PTFE-basierte Dichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, in gasförmigem Sauerstoff bei Temperaturen bis 250 °C und bei Drücken bis 50 bar sowie in flüssigem Sauerstoff einzusetzen.

Wegen der nicht bestandenen Flanschprüfung bei einer Temperatur von 250 °C und bei einem Druck von 50 bar mussten diese ursprünglich angedachten Einsatzbedingungen verworfen werden. Die Prüfung wurde auf Wunsch des Auftraggebers bei einer Temperatur von 200 °C und bei einem Druck von 40 bar wiederholt.

Unter Berücksichtigung aller Prüfergebnisse sowie unter Berücksichtigung der Anforderungen an Flanschdichtungsmaterialien, beschrieben im Merkblatt M034, sowie des Anhanges 2 des Merkblattes M034-1, der Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 407 sowie den im Merkblatt M034-1 und in diesem Bericht zu Grunde gelegten Beurteilungskriterien bestehen in sicherheitstechnischer Hinsicht keine Bedenken gegen eine Verwendung des PTFE-basierten Flanschdichtungsmaterials TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, in gasförmigem Sauerstoff bei folgenden Betriebsbedingungen:

maximale Temperatur [°C]	maximaler Sauerstoffdruck [bar]
200	40

Basierend auf den Testergebnissen und gemäß dem BAM-Standard „Prüfung der Reaktivität mit flüssigem Sauerstoff bei mechanischer Einwirkung“ ist das PTFE-basierte Flanschdichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7, nicht für den Einsatz mit flüssigem Sauerstoff geeignet.

9 Hinweise

Die Untersuchungen berücksichtigen, dass einerseits beim praktischen Einsatz des Materials schnelle Sauerstoff-Druckänderungen - sogenannte Sauerstoffdruckstöße - am Material mit Sicherheit ausgeschlossen werden können, und dass andererseits der direkte Kontakt des Materials mit flüssigem Sauerstoff und mechanische Einwirkungen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können. Außerdem berücksichtigen die Untersuchungen, dass das Material bei Temperaturen größer als 60 °C in Sauerstoff eingesetzt werden soll.

Der Inhalt des Prüfberichtes bezieht sich ausschließlich auf die geprüfte Probe des PTFE-basierten Flanschdichtungsmaterial TEADIT TEALON TF 1590, Charge 202303240046/7.

Die vorliegende Erfahrung zeigt, dass die sicherheitstechnischen Kenngrößen eines Produkts auch von der Produktionscharge eines Herstellers abhängen können. Daher werden heute chargenbezogene Prüfungen von Produkten, die für den Einsatz in Sauerstoff bestimmt sind, empfohlen. In diesem Zusammenhang wird auf die Veröffentlichung aus dem September 2009 verwiesen: „The Importance of Quality Assurance and Batch Testing on Nonmetallic Materials Used for Oxygen Service“, Journal of ASTM International, Vol. 6, No. 8; Paper ID JA1102309. Diese Veröffentlichung kann unter www.astm.org kostenpflichtig erworben werden.

Falls bei einem in den Handel gebrachten Produkt der Hinweis auf eine BAM-Prüfung erfolgt, muss ersichtlich sein, dass nur die Probe einer Charge auf Eignung für den Einsatz in Sauerstoff durch die BAM geprüft und sicherheitstechnisch beurteilt worden ist. Der Hinweis darf keine Vermutungswirkung erzeugen, dass es sich hierbei um eine Zertifizierung handelt, die zum Beispiel eine regelmäßige Überwachung der Produktion beinhaltet.

Das Produkt ist für den genannten Verwendungszweck nur in gasförmigem Sauerstoff einsetzbar. Maximal zulässiger Sauerstoffdruck, maximale Betriebstemperatur sowie eventuell andere Einschränkungen beim Gebrauch müssen deutlich angegeben sein.

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

12200 Berlin

7. Dezember 2023

Fachbereich 2.1 „Sicherheit von Energieträgern“

Im Auftrag

Dr. Thomas Kasch
Prüfleiter

Dr. Martin Schmidt
Stellv. Fachbereichsleiter

Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Verteiler: 1. Ausfertigung: TEADIT International Produktions GmbH
2. Ausfertigung: BAM - Fachbereich 2.1

Anlagen

Anlage 1

Bestimmung der Zündtemperatur nichtmetallischer Materialien in verdichtetem Sauerstoff (V 2023-01)

0,2 g bis 0,5 g des pastenartigen, zerkleinerten festen oder auf Keramikfaser aufgetragenen flüssigen Materials werden in Autoklaven mit einem Volumen von 34 cm³ gegeben. Nach dem gasdichten Verschließen wird der Autoklav mit Sauerstoff bis zum Anfangsdruck p_a gefüllt und induktiv aufgeheizt, wobei die Temperatur fast linear um etwa 110 K/min ansteigt.

Der Temperatur- und Druckverlauf werden über ein PC-System erfasst und aufgezeichnet. Mit steigender Temperatur erhöht sich kontinuierlich der Sauerstoffdruck im Autoklav. Die Entzündung des Materials ist an einem plötzlichen Temperaturanstieg und einem mehr oder weniger steilen Druckanstieg erkennbar.

Auf diese Art wird die Zündtemperatur bei einem bestimmten Sauerstoffenddruck p_e ermittelt. Grundsätzlich ist die Zündtemperatur eines Materials druckabhängig. Die Zündtemperatur sinkt mit steigendem Sauerstoffenddruck.

Bei dieser Prüfung beträgt der maximale Prüfdruck 250 bar, die maximale Prüftemperatur beträgt 500 °C.

Anlage 2

Prüfung auf Alterungsbeständigkeit nichtmetallischer Materialien in verdichtetem Sauerstoff (V 2023-01)

Eine Probe des festen Materials wird in einem Autoklaven 100 Stunden der Einwirkung von verdichtetem Sauerstoff und erhöhter Temperatur ausgesetzt. Vor der Prüfung wird die Probenmasse bestimmt.

Diese Prüfung soll den Einsatz des Materials in der Praxis simulieren und aufzeigen, ob sich die Materialeigenschaften wie zum Beispiel Farbe, Konsistenz, Oberflächenbeschaffenheit oder die Zündtemperatur des Materials durch den Alterungsprozess ändern.

Bei dieser Prüfeinrichtung beträgt der maximale Prüfdruck 250 bar, die maximale Prüftemperatur beträgt 325 °C.

Anlage 3

Prüfung nichtmetallischer Flanschdichtungen für Sauerstoff-Stahlrohrleitungen (V 2023-01)

Die Prüfapparatur besteht aus zwei je etwa 2 m langen Stahlrohren DN 65 PN 160, an die entsprechende Normflansche angeschweißt sind. Das zu untersuchende Flanschdichtungsmaterial wird in Rondenform zur Verfügung gestellt. Damit werden die Normflansche gasdicht geflanscht.

Die Prüfapparatur wird auf die vom Antragsteller vorgegebene maximale Betriebstemperatur erwärmt und bis zum vorgegebenen maximalen Betriebsdruck mit Sauerstoff gefüllt. Anschließend wird der ins Rohrinne hineintragende Teil des Flanschdichtungsmaterials gezündet.

Die Prüfung gilt nur als bestanden, wenn das Flanschdichtungsmaterial nur innerhalb der lichten Weite reagiert, sich der Brand nicht mehr als 2 mm zwischen den Dichtflächen fortsetzt und die Flanschdichtung gasdicht bleibt. Die Prüfung wird beendet, wenn keine Reaktion des Materials in fünf Einzelversuchen festgestellt wurde.

Wird dagegen eine Reaktion festgestellt, so kann die Prüfung des Flanschdichtungsmaterials nach Rücksprache mit dem Antragsteller für den Einsatz bei niedrigeren Betriebsbedingungen fortgesetzt werden.

Bei dieser Prüfung beträgt der maximale Prüfdruck 160 bar, die maximale Prüftemperatur beträgt 300 °C.

Anlage 4

Prüfung auf Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung (V 2023-01)

Jeweils etwa 0,5 g des pastenartigen, zerkleinerten festen oder auf Keramikfaser aufgetragenen flüssigen Materials werden in einen schalenförmigen Probenbehälter von 10 mm Höhe und 30 mm Durchmesser aus 0,01 mm dickem Kupferblech gegeben. Der Probenbehälter wird mit flüssigem Sauerstoff gefüllt und anschließend der Schlagwirkung eines Fallhammers mit einer Masse von 76,5 kg ausgesetzt.

Eine Reaktion des Materials ist an einer Flammenbildung zu erkennen. Gleichzeitig tritt ein mehr oder weniger heftiger Explosionsknall auf. Durch Variation der Fallhöhe des Hammers wird jene Schlagenergie ermittelt, bei der gerade noch keine Reaktion eintritt. Dieses Ergebnis muss durch zehn Einzelversuche unter gleichen Bedingungen bestätigt werden, dann wird die Prüfung beendet. Die Prüfung wird abgebrochen, wenn bei einer Schlagenergie von 125 Nm, dies entspricht einer Fallhöhe des Hammers von 0,17 m, eine Reaktion festgestellt wird. In diesem Fall gilt der Werkstoff sicherheitstechnisch als ungeeignet für den Einsatz in flüssigem Sauerstoff.