

11. September 2010

Untersuchung der Möglichkeit optimaler Schraubenauslastung bei Montage von GFK-Flanschen, ähnlich der Vorgehensweise bei Stahlflanschen

1. Vorwort

In chemischen und petrochemischen Prozessanlagen werden in Bereichen mit korrosiven Medien Flanschverbindungen aus Kunststoffen, wie Reaktionsharzformstoffen (GFK) oder Thermoplasten (PP, PE, PVDF) eingesetzt (Bild 1). Die Flanschverbindungen sind in ihrer Geometrie den Stahlflanschen angepasst worden. Angepasst wurde an die Niederdruckrohrklassen, nach DIN der Nenndruckstoffe PN10 und nach ASME den Nenndruckstufen Class 150 und 300.



Bild 1: Kunststoffflanschverbindungen

Die Kunststoffe verhalten sich nicht wie Stähle, sie ertragen nur geringe Flächenpressungen um 30 N/mm^2 (MPa) und sie relaxieren, sie können die Spannung aus der Flanschblattrotation nicht dauerhaft übertragen. Um die Kunststoffflanschverbindungen händeln zu können, werden sehr



weiche Dichtungen, meist Elastomere oder PTFE, eingesetzt und für die Montage sehr niedrige Drehmomente vorgegeben. Die niedrige Schraubenauslastung soll eine hohe Flächenpressung zwischen Flansch und Mutter vermeiden. Bei den üblicherweise empfohlenen Drehmomenten werden die üblichen Schrauben zwischen 10 und 20% ihrer Streckgrenze ausgenützt. Nach der Montage und nach Abschluss der Setzprozesse werden die Schrauben weiter auf ein sehr niedriges Niveau entspannt. Die Verbindungen sind labil und fangen sehr häufig an zu lecken. Eine Flanschverbindung muss ihre Funktion unter allen betrieblichen Umständen sicher gewährleisten (Druckgeräterichtlinie, TA-Luft, Betriebssicherheitsverordnung usw.). Oft müssen die Verbindungen während des Betriebes nachgezogen werden, was ein sehr gefährlicher Vorgang ist, der nur unter besonderen Umständen, unter Einhaltung spezieller Maßnahmen, nach Erstellung einer Gefährdungsanalyse durchgeführt werden kann. Solche Arbeiten sollten vermieden werden.

Hohe Flächenpressung, unterhalb der Überpressung, sorgt für eine minimale Leckrate der Dichtung. Es gilt: je höher die Flächenpressung, umso niedriger die Leckage je höher die Betriebssicherheit, umso geringer die Prüf- und Wartungskosten, umso geringer die Gefährdung für Mensch und Umwelt.

2. Ziel

Die Untersuchung hat das Ziel nachzuweisen, dass durch Modifikation eine sehr stabile und betriebssichere Verbindung erreicht werden kann. Die Modifikation besteht aus zwei zusätzlich zur üblichen Bauweise verwendeten Stahlringen als Druckringe, zur Aufnahme der hohen Schraubenkraft in der Mutternahe und einer Dichtung, die die ganze Flanschfläche ausnutzt (Form FF), um ebenfalls die durch die Ausnutzung der Schrauben entstehenden Kräfte ertragen zu können.

3. Bauteile

Folgende Bauteile werden für die Untersuchung verwendet:

2 Stück	Ameron GFK-Flansche DN80/3" Class150 Typ HD
1 Stück	Kempchen 2-Stoff-Dichtung Typ A1\A1 aus EPDM 2,5 mm und Klingersil C4500 2 mm, Ø90 x Ø124 x Ø190 x 2,5/2 , LochkreisØ 152,5 mit 4 Löchern Ø19,1
4 Stück	Jungeblodt ConBolt Messschrauben 5/8" x 175 aus ASTM A 193 Gr. B7 mit Muttern ASTM A 194 Gr. 2H
2 Stück	Druckscheiben aus Edelstahl Ø100 x Ø190 x 15, LochkreisØ 152,5 mit 4 Löchern Ø19,1

3.1 ConBolt-Messschrauben

Die von Jungeblodt und Peter Thomsen entwickelten Messschrauben ermöglichen eine einfache Kontrolle der Montage, der Betriebsspannung und Überprüfung der Wiederverwendbarkeit bei Mehrfachmontagen. Die Gewindebolzen sind an beiden Enden mit auf genaue Länge kalibrierten Zapfen versehen, die eine Messung mit Micrometern erlauben. Aus der Längenänderung (Δl) wird die Schraubenkraft errechnet.

Schraubenlänge: Schraube 1 und 3 = 175,01 mm, Schraube 2 und 4 = 175,00 mm

3.2 Kempchen 2-Stoff-Dichtungen

Aus einem Werkstoff für das Dichtelement und einem festerem Werkstoff, üblicherweise Metall, für den Stützring werden die Kempchen 2-Stoff-Dichtungen (Bild 2) hergestellt. Durch die Geometrie wird das Dichtelement optimal im Kraftnebenschluss gepresst. Der härtere Stützring übernimmt die Übertragung der hohen Schraubenkraft.

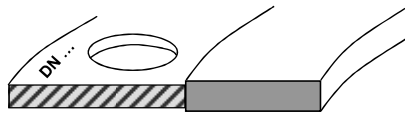


Bild 2: Kempchen 2-Stoff-Dichtung Typ A1/A1

3.3 GFK-Flansche

Die GFK-Flansche sind in der Dichtfläche und am Außenrand mit Erhebungen (Federn) versehen. Optimal wäre eine glatte Dichtfläche. Um eine Verwendung in vorhandenen Anlagen zu simulieren, wurde die gelieferte Version verspannt.

4. Versuchsbeschreibung

Zwischen die Druckscheiben werden die GFK-Flansche mit der mittig eingebrachten Dichtung verspannt (Bild 3).



Bild 3: Gesamtansicht der Verbindung, in der Mitte ist der Stützring der Dichtung zu erkennen



Bild 4 und 5: Vormontage und Montage



Die Verbindung wurde mit Maulschlüsseln leicht vormontiert (Bild 4). Die Schraubenkräfte werden mittels geeichtem Drehmomentschlüssel in Schritten von 100, 160 und 200 Nm über Kreuz aufgebracht (Bild 5). Mit 200 Nm wird als letzter Montagegang noch einmal jede Schraube im Kreis nacheinander angezogen. Um die Reibzahl 0,12 einigermaßen sicher einzuhalten, werden die Gewinde und Mutterauflageflächen mit einer Schraubenpaste versehen. Bei 200 Nm soll die Schraube mit 70% Rp0,2 ausgelastet sein, das Δl soll bei 0,32mm liegen. In den folgenden Tagen wird die Relaxation der Schrauben gemessen.

4.1 Kräfteberechnungen

Für die GFK-Flansche wird laut Montageanweisung ein Anzugsmoment für die Schrauben von 60 Nm empfohlen. Dies entspricht einer Auslastung von 21% $R_{p0,2}$ bei ASTM A193 Gr. B7. Die erreichte Kraft ist 89 kN. Eine Gummiflanchdichtung würde beim glatten Flansch mit 13,5 MPa gepresst. Für PTFE und Fasermaterialdichtungen benötigt man mindestens 30 MPa. Um diese zu erreichen, ist die Dichtfläche mit den Federn verkleinert. Die 2-Stoff-Dichtung im Versuchsaufbau erträgt 510 kN und benötigt 11 kN als Mindestflächenpressung. Die Schrauben bringen bei 70% Streckgrenzauslastung 296 kN, sie können die Dichtung nicht überpressen.

Für die Mutterauflagefläche wird bei 21% Schraubenauslastung eine Flächenpressung von 78 MPa erzeugt, dies ist für den GFK zu hoch, er erträgt um die 30 MPa, es müssten U-Scheiben verwendet werden. Bei 70% Schraubenauslastung würde eine Flächenpressung von 258 MPa entstehen, was für den Stahl der Druckscheibe kein Problem ist.

5. Messergebnisse Δl

Es wurde festgestellt, dass die Schraubenspannung nach der Montage innerhalb eines Tages stark abgefallen ist und sich dann stabilisierte (Tabelle 1). Ausgehend davon, dass es sich um Setzprozesse von der Dichtung handelt, wurde nach 5 Tagen die Spannung wieder erhöht. Diese blieb dann über 3 Tage konstant, die Verbindung ist stabil.

Tag	Schraube1	Schraube2	Schraube3	Schraube4
22.07. Montage	0,31	0,30	0,34	0,30
23.07.	0,25	0,25	0,29	0,25
26.07.	0,25	0,25	0,28	0,25
27.07.	0,23	0,25	0,27	0,25
27.07. Nachziehen mit 200 Nm	0,31	0,32	0,34	0,32
28.07.	0,31	0,31	0,33	0,32
29.07.	0,31	0,31	0,33	0,32

Tabelle 1: Schraubendehnung

6. Messergebnisse Schraubenauslastung in %

Zur Verdeutlichung sind die Messergebnisse in eine Darstellung der Schraubenauslastung umgerechnet worden. Das Setzen/Fließen der Dichtung ist sehr deutlich zu erkennen. Nach dem

Nachziehen hat sich die Schraubenkraft auf sehr hohem Niveau stabilisiert (Bild 6), aus diesem Grund wurde die Messreihe nach weiteren 2 Tagen abgebrochen.

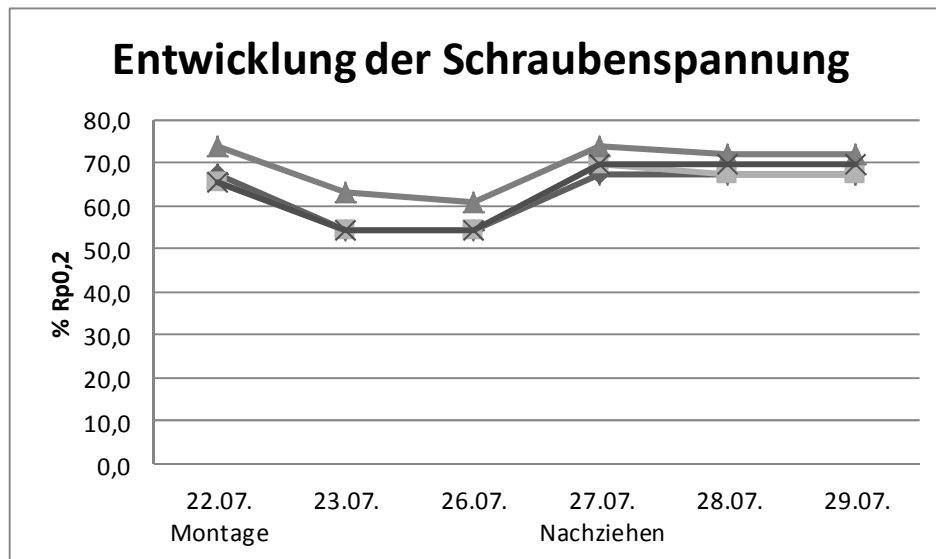


Bild 6: Darstellung der Entwicklung der Schraubenauslastung

7. Ergebnis

Die Messungen bestätigen, dass es mit sehr einfachen Mitteln möglich ist, die Kunststoffflanschverbindungen so zu modifizieren, dass die erforderlichen Schraubenkraft für die Betriebsdauer sicher eingebracht werden können. Untersucht wurden Flanschverbindungen GFK/GFK. Gleiche Ergebnisse sind bei Mischverbindungen GFK/Stahl zu erzielen, wenn der Rücksprung der Dichtfläche durch einen Ring ausgeglichen wird. Beim Stahlflansch kann selbstverständlich auf die Druckscheibe verzichtet werden.

Die modifizierte Flanschverbindung ist um den Faktor 3,5 höher verspannt als die Standardverbindung. Damit ist sie erheblich betriebssicherer als die übliche Verbindung. Sie könnte noch ca. doppelt so hoch verspannt werden, ohne eines der Bauteile zu überlasten.

8. Danksagung

Ich bedanke mich für die besondere Unterstützung mit Bauteilen bei der Heinr. Jungeblodt GmbH & Co. KG, Warstein für Schrauben/Muttern und der Kempchen Dichtungstechnik GmbH, Oberhausen für Dichtungen und Druckringe. Besonderen Dank für die persönliche Unterstützung geht an Dipl.-Ing. Rolf Hardorp, Wilhelmshaven; Dipl.-Ing. FH Joachim Lehmer, Delmenhorst und Dipl.-Ing. Stefan Rellecke, Heinr. Jungeblodt GmbH & Co. KG, Warstein.

gez. Peter Thomsen
Lannewehr + Thomsen GmbH & Co. KG