



Industrie Service

**Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.**

Finite-Elemente-Analyse einer Gasdruckfeder der Baureihe SZ 8060.095x50

Auftraggeber: Steinel Normalien AG
Winkelstr. 7
78056 Villingen-Schwenningen

Kom. Nr.: Fa. Bordignon

Zeichnungs-Nr.: Problemkolben 8060-95x50
Gehäusefragment 8060-95_Bordignon

Berechnungsprogramm: Für Finite-Elemente-Analyse:
CosmosWorks 2007
SRAC, Santa Monica

Für Lastwechsellnachweis nach AD2000-S2:
DIMy 4.19, TÜV Nord; Essen

Berechnungsgrundlage: AD 2000-Merkblatt S 2, Fassung 03.2005
„Berechnung auf Wechselbeanspruchung“

Auslegungsdaten: Befülldruck: 154 bar (bei 20 °C)

Überdruck bei ausgefahrenen Kolben: 186 bar
Überdruck bei eingefahrenem Kolben: 358 bar

Betriebstemperatur: 80 °C

Werkstoff: UNI 39NiCrMo3 (Italien)

Datum: 05.04.2007

Unsere Zeichen:
IS-DDB-MAN/Bt

Dokument:
steinel_020a.doc

Bericht Nr. IS-DDB-MAN/07/020

Das Dokument besteht aus
5 Seiten
Seite 1 von 5

Die auszugsweise Wiedergabe des
Dokumentes und die Verwendung
zu Werbezwecken bedürfen der
schriftlichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.



1. Aufgabenstellung

Bei einer sich seit 1999 in Betrieb befindlichen Gasdruckfeder der Baureihe SZ 8060.095x50 wurde bei Wartungsarbeiten beim Befüllen mit Stickstoff mit einem Befülldruck von 154 bar der kolbenseitige Anschlag komplett abgesichert, so dass der Kolben aus dem Gehäuse herausgeschossen wurde.

Bei 4 von 5 weiteren Gasdruckfedern gleichen Typs wurden bei Untersuchungen deutlich sichtbare umlaufende Anrisse im Bereich des kolbenseitigen Anschlages festgestellt /2/.

Im Rahmen der nun durchzuführenden Schadensuntersuchung soll in diesem Bericht mit Hilfe einer Finite-Elemente-Berechnung untersucht werden, ob die Gasdruckfeder für die vorgegebenen Belastungen ausreichend bemessen ist.

Berechnungsgrundlage sind die für die Berechnung von Druckbehältern in Deutschland anzuwendenden AD 2000-Merkblätter.

Der Lastwechsellnachweis wird nach AD 2000-Merkblatt S2 „Berechnung auf Wechselbeanspruchung“ geführt /6/.

2. Zitierte Unterlagen

- /1/ Werkstofftechnische Untersuchung des TÜV SÜD Industrie Service GmbH Schreiben vom 28.03.07; „Zusammenfassung“
- /2/ Technischer Bericht der Fa. Steinel Normalien AG vom 26.01.2007 „Benachrichtigung zur Produktsicherheit Gasdruckfeder der Baureihe SZ 8060.095 „Top Serie“ der Fa. Bordignon
- /3/ Technischer Bericht der Fa. Steinel Normalien AG vom 12.02.2007 „Festigkeitsuntersuchung Gasdruckfeder SZ 8060.095x50“
- /4/ Technischer Bericht 973 / 070245-A des TÜV Rheinland vom 02.04.2007 „Calculation fatigue analysis of a piston“
- /5/ Technischer Bericht des Ingenieurbüros RTM BREDA S.r.L. vom 16.02.2007 „Fatigue verification of the piston of a nitrogen die cylinder“
- /6/ AD 2000-Merkblatt S 2, Fassung 03.2005; Herausgeber: VdTÜV „Berechnung auf Wechselbeanspruchung“

3. Durchführung der Berechnung

3.1 Werkstoff

Gemäß den Angaben des Herstellers Bordignon wird für den Kolben ein Vergütungsstahl mit der italienischen Bezeichnung UNI 39NiCrMo3 eingesetzt. Von Bordignon werden für die Betriebstemperatur von 80 °C folgende Kennwerte spezifiziert /4; S. 3/:

| Werkstoff des Kolbens | Streckgrenze $R_{p0,2}$ | Bruchgrenze R_m |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| UNI 39 NiCrMo 3 | 919 N/mm ² | 995 N/mm ² |

Durch das werkstofftechnische Gutachten /1/ konnte nachgewiesen werden, dass es sich tatsächlich „um einen Vergütungsstahl mit einer Zugfestigkeit in der Größenordnung 900-1000 N/mm²“ handelt /1; Punkt 2: chemische Analyse und Punkt 3: Härteprüfung/.

Allerdings konnten nicht die tatsächlich am fertigen Bauteil vorhandenen Festigkeitskennwerte ermittelt werden, so dass für die durchzuführende Lastwechselberechnung die von der Fa. Bordignon spezifizierten Werkstoffkennwerte eingesetzt werden.

3.2 Oberflächenbeschaffenheit

Gemäß den Angaben des Herstellers Bordignon ist die Oberfläche im Bereich des kritischen Kerbradius poliert und erreicht eine Oberflächengüte von $R_z = 2 \mu\text{m}$ /5; S. 9/.

Wie Vergleichsberechnungen gezeigt haben, sinken die zulässigen Lastwechsel um den Faktor 4 - 5, wenn die Oberfläche nicht poliert sondern nur geschlichtet wäre (s. Anlage D-3).

Angaben über das Herstell- bzw. Oberflächenbehandlungsverfahren und somit über die erreichbaren Oberflächenrauigkeiten kann nur der Hersteller machen.

3.3 Belastungen

Gemäß den Vorgaben der Fa. Steinel Normalien AG sind 2 Lastzustände zu untersuchen:

- Bei unbelasteter Gasdruckfeder wird der Kolben durch den Innendruck von 186 bar mit ca. 8,5 to an den gehäuseseitigen Anschlag gedrückt (LF1, Kolben ausgefahren) /3/.
- Durch eine äußere Kraft wird der Kolben eingefahren und durch den Innendruck von maximal 358 bar im Gleichgewicht gehalten (LF2; Kolben eingefahren) /3/. Die Erhöhung des Innendruckes resultiert aus der Volumenverkeinerung durch den eingefahrenen Kolben.

Gemäß den Erfahrungen der Fa. Steinel Normalien AG werden diese extremen Lastzustände während jedes Belastungszyklus durchlaufen.

Gemäß Rücksprache mit der Fa. Steinel Normalien AG ist bei der zu untersuchenden Gasdruckfeder kein Stoßfaktor zu berücksichtigen, da diese in eine langsam laufende Hydraulikpresse mit

Taktzyklen von nur 8 pro Minute eingebaut war. Die Geschwindigkeit des Kolbens soll in diesem Fall nur 500 mm/min betragen haben.

Allerdings können die Gasdruckfedern auch in schnell laufende Exzenterpressen eingebaut werden, die Zyklenzahlen von 30 – 70 pro Minute fahren. Hier ist durchaus mit einer Zusatzbelastung aus dem stoßartigen Anprallen des Kolbens an den gehäuseseitigen Bund zu rechnen. Es konnten jedoch von der Fa. Steinel Normalien AG keine Angaben zum Stoßfaktor gemacht werden.

3.4 Geometrie und Berechnungsmodell

Die Hauptabmessungen wurden der Zeichnung 8060-95x50“ der Fa. Steinel Normalien AG entnommen /2/ (s. Anlage A-5 und A-6).

Im Rahmen der werkstofftechnischen Untersuchung /1; Punkt 1: Maßkontrolle/ wurde festgestellt, dass der Kerbradius im Bereich der Stelle A anstatt wie in der o.g. Zeichnung angegeben nicht R0,6 sondern nur R 0,4 mm beträgt /1; Bild 19 und Bild 32/.

Da sich diese Geometrieabweichung negativ auf die Lastwechselzahl auswirken wird, wurde die tatsächlich ausgeführte Geometrie im Berechnungsmodell berücksichtigt.

Das Berechnungsmodell wurde mit dem CAD-Programm Solidworks 2007 erstellt. Für die Ermittlung der Bauteilspannungen wurde das Finite-Elemente-Programm CosmosWorks2007 eingesetzt.

Zum Einsatz kamen Volumenelemente mit quadratischem Berechnungsansatz:

| Anzahl der Elemente | Anzahl der Knoten |
|---------------------|-------------------|
| 8.613 | 13.976 |

Aufgrund der Rotationssymmetrie von Geometrie und Belastung musste nur ein Segmentmodell erstellt werden. An den entstandenen Schnittufern wurden Symmetrierandbedingungen gesetzt, um das Gesamtverhalten der Struktur zu simulieren.

Im Lastfall 1 wurden im Anschlagbereich Kontaktelemente eingesetzt, um das tatsächliche Bauteilverhalten möglichst exakt zu simulieren (s. Anlage B-1). Der Innendruck beträgt 186 bar. Im Lastfall 2 wird die Verschiebung in Richtung der Kolbenachse im Bereich der Kolbendecke zu Null gesetzt. Der Innendruck erhöht sich aufgrund der Volumenverkleinerung durch den eingefahrenen Kolben auf 358 bar.

Aufgrund des zu erwartenden hohen Spannungsgradienten wird im Bereich des zu untersuchenden Kerbradius das Modell entsprechend fein vernetzt. Die Elementgröße beträgt hier 0,15 mm (s. Anlage A-2 und Anlage A-3).

4. Prüfergebnis

Die maximale Beanspruchung errechnet sich erwartungsgemäß an der Stelle A im Rundungsradius R0,4 am kolbenseitigen Anschlag.

Für den Lastzustand 1 errechnet sich eine maximale Vergleichsspannung nach v. Mises in einer Höhe von 570 N/mm² (s. Anlage B-2 und B-3) und im Lastzustand 2 ein Maximalwert von 170 N/mm² (s. Anlage C-1 und C-2).

Für den Lastwechsellnachweis nach AD 2000-S2 /6/ werden an der kritischen Stelle für die Lastfälle 1 und 2 zuerst die Differenzen der Normalspannungen und hieraus die Vergleichsspannungsschwingbreite $2\sigma_{va}$ nach v. Mises gebildet (s. Anlage B-6 und C-5).

Nach dieser Vorgehensweise errechnet sich im Bereich des Rundungsradius R0,4 eine Vergleichsspannungsschwingbreite $2\sigma_{va}$ von 476 N/mm².

Unter Berücksichtigung der in 3.1 bis 3.4 genannten Randbedingungen ergibt sich nach AD 2000-S2 /6/ eine maximal zulässige Spannungsschwingbreite von 453 N/mm² (s. Anlage D-1).

Die Gasdruckfeder ist somit für die vorgegebenen Randbedingungen nach AD 2000-S2 nicht dauerfest ($N > 2.000.000$ LW) ausgelegt.

Die maximal ertragbaren Lastwechsel betragen ca. 490.000 Lastwechsel (s. Anlage D-2).

5. Fazit

Die für die geforderte Dauerfestigkeit zu kleine Lastspielsicherheit hat in Verbindung mit dem festgestellten Fertigungsfehler (R0,4 mm anstatt R0,6 mm) und der vorliegenden Qualität des Werkstoffes („nichtmetallische, zeilenförmige Einschlüsse in Beanspruchungsrichtung /1; Punkt 4/ und die geringe gemessene Kerbschlagarbeit von nur 15 J /1; Punkt 6/) zu den in /2/ dargestellten Schäden an den von uns untersuchten Gasdruckfedern der Baureihe SZ 8060.095x50 geführt.

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Benannte Stelle 0036 nach Druckgeräte-Richtlinie 97/23/EG
Für das Prüflabor

Thomas Burkhardt