

# UNTERSUCHUNG DER FLANSCHVERBINDUNGEN VON KUNSTSTOFFFROHREN

L. VARGA und G. GÁLVÖLGYI

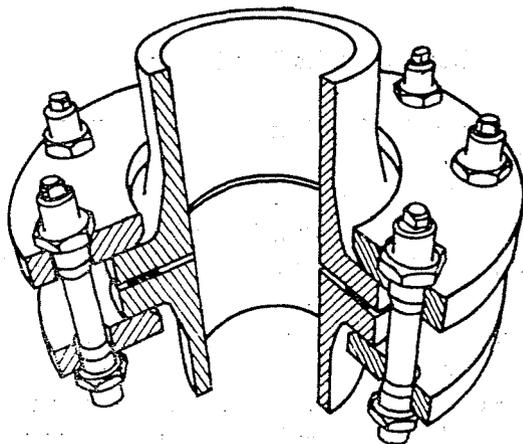
Institut für Maschinenkonstruktionslehre  
Technische Universität, H-1521, Budapest  
Eingegangen am 7 Dezember 1989

## Abstract

A method has been developed for controlling the function and loadability of the flange pair taking in consideration the time-, temperature-, and pressure dependent attributes of the plastic parts. The method can be used in habitual manner, it needs besides the usual project dates only by the method of finite elements calculable dates in the course of the planning.

## Formulierung des Problems

Lösbare Verbindungen von Kunststoffrohren werden oft durch Flanschverbindungen, wie in Bild 1 zu sehen, hergestellt. Die Flanschverbindungen (Flanschpaare) werden durch das Kunststoffrohr, den Verbindungsring und die Dichtung, sowie den aus Metall hergestellten losen Flansch und die Schrauben gebildet. Bei der Planung einer solchen Verbindung müssen natürlich die besonderen Eigenschaften



*Bild 1.* Umrißzeichnung der Flanschverbindung von Kunststoffrohren in Perspektive

ser Kunststoffe beachtet werden. Zu den Vorteilen der kunststoffartigen Konstruktionen gehört, daß sie zuverlässig arbeiten und relativ einfach herzustellen und zu montieren sind.

Die vorhergehende Kontrolle von Funktion und Belastbarkeit durch Berechnung, die Planung kann mit den für Metallkonstruktionen ausgearbeiteten und gebräuchlichen Verfahren [1, 2] auf Kunststoff—Metall—Konstruktionen leider nicht angewendet werden. Die herkömmlichen Methoden rechnen nämlich nicht mit der Wirkung der Formänderungen des aus elastischen Elementen (Rohre, Verbindungsringe, lose Flansche, Schrauben und Dichtungen) bestehenden Systems und den zeit-, temperatur- und belastungsabhängigen Eigenschaften der Kunststoffe. Infolgedessen kann das im herkömmlichen Sinne definierte Kraftspiel wesentlich von der Realität abweichen. Es ist aber zu verzeichnen, daß in der Fachliteratur immer mehr solche Berechnungsverfahren zu finden sind, mit deren Hilfe die Herausbildung des Kraftspiels unter Berücksichtigung der Formänderung des elastischen Systems untersucht werden kann (z. B. [3, 4]).

Obwohl mit diesen Verfahren die speziellen Eigenschaften von Kunststoffen noch nicht alle mit eingerechnet werden können, bilden sie die Grundlage für die darzustellende neue Betrachtungsweise und Methode, die bereits geeignet ist die zeit-, temperatur- und belastungsabhängigen Eigenschaften der Kunststoffe mit in Betracht zu ziehen.

Ansonsten war bei der Erarbeitung der Methode neben der Verlässlichkeit ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt die Anwendbarkeit der neuen Methode in herkömmlicher Weise, das heißt, sie sollte außer den gebräuchlichen Planungsdaten nur solche Angaben verlangen, die mit einer einfachen Konstruktionsuntersuchung bestimmbar bzw. kontrollierbar sind, im Stadium der Planung dagegen — unter Einbeziehung der Stoffkonstanten, die an Form — bzw. Probekörpern gemessen wurden — mit der Methode der finiten Elemente (FEM) gut schätzbar sind.

### **Die Bildung des Berechnungsmodells**

Die Funktion und die Tragfähigkeit der Kunststoff—Metall—Konstruktionen werden im Allgemeinen vom gemeinsamen Verhalten von Kunststoffrohr, Verbindungsring und Dichtung bzw. deren zeit-, temperatur- und belastungs abhängigen Eigenschaften, Stoffkonstanten bestimmt. Daher ist es sinnvoll die Aufmerksamkeit auf den Kunststoffteil der Flanschkonstruktion (im weiteren: Flansch) zu konzentrieren.

Die Wirkung der aus Metall hergestellten Verschraubung und des Flansches kann — infolge ihrer relativ großen Starrheit — mit einer an der unteren Fläche des Flansches auftretenden kreissymmetrischen Belastung ersetzt werden, welche die konstante Formänderungsbelastung des Flanschpaares bedeutet.

Im Allgemeinen kann vorausgesetzt werden, daß die den Verschluß sichernde

Flanschverbindung (Flanschpaar) über gleiche geometrische- und Stoffkonstanten verfügt und daß weiterhin auch ihre Belastung übereinstimmt. So ist es bei der Modellierung ausreichend, wenn nur der eine Flansch beachtet wird.

Der Verlauf der Belastung eines [nach den obigen Ausführungen definierten Konstruktionsmodelles] — welches die Funktion und die Belastbarkeit des Flanschpaares bestimmt — kann aufgrund von Bild 2, das die verschiedenen Kräfte zeigt, die auf den Flansch wirken, einfach verfolgt werden. Es erweist sich, wie zu sehen, als günstig die Untersuchung aus dem vorgespannten Zustand ( $F_{S0} = F_{D0}$ ) des Flansches zu beginnen und die Wirkung der im Betriebszustand charakteristischen Faktoren (Zeit, Temperatur, Überdruck) getrennt voneinander zu definieren.

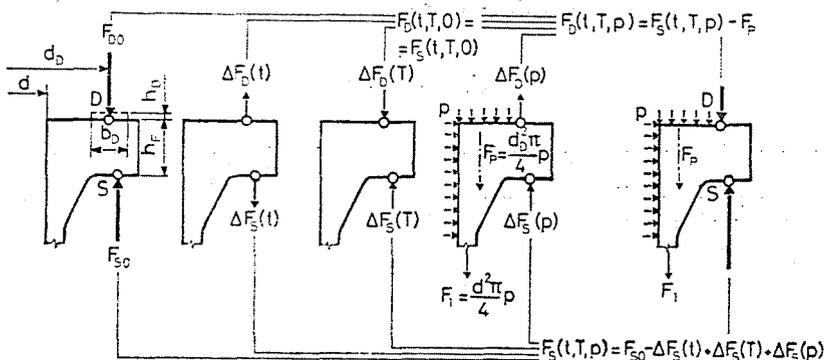


Bild 2. Berechnungsmodell und Kraftspiel des Flansches

Unter den Faktoren erscheint zunächst die Wirkung der Belastungszeit ( $t$ ), genauer gesagt, der Vorgang von Spannung-Relaxation und vom Kriechen beginnt. Die Folge davon ist die Lockerung der Verbindung, der Abfall von Schraub- und Dichtungskraft. Die Größe des Abfalls ist mit dem Zusammenhang

$$\Delta F_S(t) = \Delta F_D(t) = D_t F_{S0} \quad (1)$$

definierbar.

Da die Temperatur des Flansches im Betriebszustand im Allgemeinen anders ist ( $T$ ) als zur Zeit der Vorspannung ( $T_0$ ) entsteht infolge der behinderten Wärmeausdehnungen eine weitere Veränderung von Schraub- und Dichtungskraft. Diese Veränderung ist dann nach Zusammenhang

$$\Delta F_S(T) = \Delta F_D(T) = D_T F_T \quad (2)$$

interpretierbar, wo

$$F_T = d_D \pi b_D \alpha_e E_F (T - T_0) \quad (3)$$

und

$$\alpha_e = \frac{2h_F \alpha_F + h_D \alpha_D}{2h_F + \frac{E_F}{E_D} \alpha_D} \quad (4)$$

weiterhin gilt

$\alpha_F, \alpha_D$  — lineare Wärmeausdehnungskoeffizienten

$E_F, E_D$  — Elastizitätsmodule

Schließlich entsteht, infolge des Überdrucks ( $p$ ) und die auf seine Wirkung hin eintretenden Formänderungen, eine weitere Veränderung von Schraub- und Dichtungskraft. Die Veränderung der Letzteren entsteht im Sinne der Gleichgewichtsbedingung

$$\Delta F_S(p) + \Delta F_D(p) = F_p \quad (5)$$

gemäß dem Zusammenhang

$$\Delta F_D(p) = F_p - \Delta F_S(p) = D_p F_p \quad (6)$$

wo

$$F_p = \frac{d_D^2 \pi}{4} p \quad (7)$$

Die hier eingeführten und in den Formeln (1), (2), (6) erscheinenden Koeffizienten  $D_t, D_T$  und  $D_p$  dienen im Prinzip dem Ziel, die Wirkung der komplizierten Vorgänge, die im Kunststoff vor sich gehen in einfacher Weise mit in die Berechnung einzubeziehen. Als Konstruktionskennwerte können sie als Konstante angesehen werden, die die zeit-, temperatur- und druckabhängigen Eigenschaften der Kunststoffe mit in Betracht ziehen. Ihre Benennung ist dementsprechend — der für die Flanschkonstruktion charakteristische Zeit-, Temperatur-, Druckfaktor.

### *Das Kraftspiel der Flanschkonstruktion*

Im Sinne von Bild 2 und den Ausdrücken (1), (2), (6) entsteht das Kraftspiel der Flanschkonstruktion folgendermassen: Im vorgespannten Zustand, bei Beginn der Belastung ( $t=0$ ):

$$F_{S0} = F_{D0} \quad (8)$$

Im Betriebszustand mit den vorgeschriebenen Planungsdaten ( $t, T, p$ ) gilt dagegen:

$$F_S(t, T, p) = (1 - D_t) F_{S0} + D_T F_T + (1 - D_p) F_p \quad (9)$$

$$F_D(t, T, p) = (1 - D_t) F_{S0} + D_T F_T - D_p F_p \quad (10)$$

Wie man sieht, hängt die mechanische Beanspruchung und Sicherung der Funktion des Flansches entscheidend von der Größe der Vorspannkraft  $F_{S0}$  ab. Da es um Kunststoffe geht ist es auch wesentlich, daß der hermetische Verschuß, als gewünschte Funktion des Flanschpaares, auf dem möglichst niedrigsten Belastungsniveau verwirklicht werden soll. Es ist also wünschenswert, daß die Vorspannung mit der zur geplanten Betriebszeit gehörenden minimalen Schraubenkraft erfolgt.

Der kleinste Wert der Vorspannkraft ist, wie bekannt [1, 2] aus der Bedingung

$$S_D \cong F_D(t, T, p) \cong F_{Dm} \quad (11)$$

bestimmbar. Unter den aufgeführten Kräften bezeichnet  $S_D$  die Kraft der Vorverformung,  $F_{Dm}$  dagegen die zum hermetischen Verschluss notwendige minimale Dichtungskraft. Ihre Größe ist in Kenntnis von Material, Massen usw. des Dichtungsringes in herkömmlicher Weise [1, 2] berechenbar. Da bei den zwei Kräften im Allgemeinen  $F_{Dm}$  massgebend ist, ergibt sich die kleinste Vorspannkraft im Sinne von Bedingung (11) und Ausdruck (10) zu

$$F_{S0}^* = \frac{F_{Dm} + D_p F_p - D_T F_T}{1 - D_t} \quad (12)$$

Wenn die Vorspannung mit der aus Zusammenhang (12) errechneten Schraubenkraft erfolgt ist leicht einzusehen, daß die im Betriebszustand auf den Flansch wirkenden Kräfte gemäß den Ausdrücken

$$F_S^*(t, T, p) = F_{Dm} + F_p \quad (13)$$

$$F_D^*(t, T, p) = F_{Dm} \quad (14)$$

verlaufen.

Da zu diesen Kräften die kleinsten mechanischen Beanspruchungen gehören, arbeitet die Flanschkonstruktion auf dem gewünschten niedrigsten Belastungsniveau.

### Untersuchungen und Ergebnisse

Die Versuche, und Messungen wurden auf der in Bild 3 zu sehenden Prüfanlage, im Laboratorium der TU Budapest, Institut für Maschinenkonstruktionslehre durchgeführt. In der vorliegenden Arbeit beschränken wir uns auf die kurze Beschreibung der Methode von Langzeit-Untersuchung und auf die Veröffentlichung der an einem Flanschpaar gemessenen Ergebnisse. Unser Ziel war die Verfolgung des Zeitverhaltens des Flanschpaares und die Bestätigung der Richtigkeit des empfohlenen Berechnungsmodells, der Beweis seiner Anwendbarkeit. Deshalb veränderten wir während der Belastungszeit die Temperatur ( $T=15-30^\circ\text{C}$ ) des mit  $F_{S0}=36\text{ kN}$  vorgespannten Flanschpaares und belasteten die Rohre mit einem inneren Überdruck ( $p=10\text{ bar}$ ).

Währenddessen wurde die zeitabhängige Veränderung der Schraubenkraft mit Hilfe der auf den Schrauben befestigten Dehnungsmessstreifen registriert. Die Größe der Dichtungskraft in Funktion der Zeit ergab sich aus der Gleichgewichtsbedingung.

Die Ergebnisse der Meßreihe und die geometrischen Kennwerte der untersuchten Konstruktion sind in Bild 4 zu sehen. Das Material der Rohre war extrudiertes Polyäthylen (HHM TR 418), das des Verbindungsringes gespitztes Polyäthylen

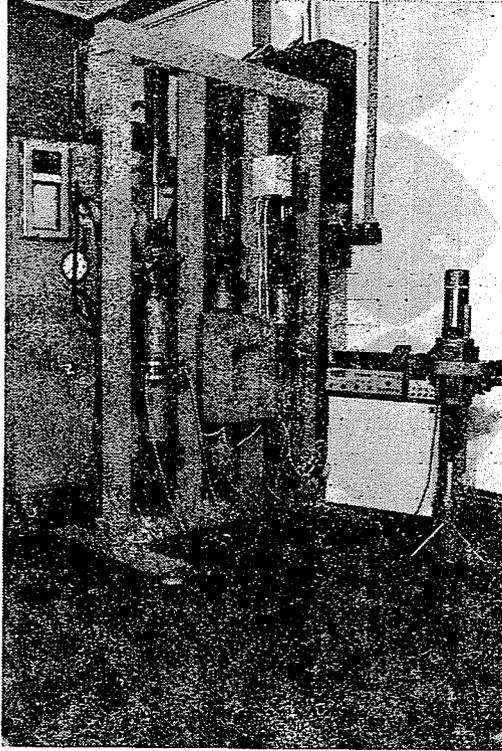


Bild 3. Fotografie der Prüfanlage

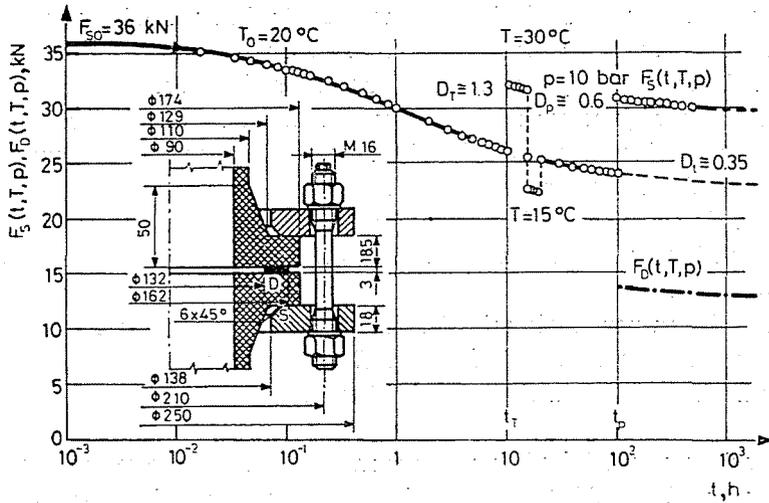


Bild 4. Veränderung von Schrauben- und Dichtungskraft anzeigende Meßergebnisse

(GM 5010 T2), der Dichtungsring wurde dagegen aus Vulkollan (Pu—V90A) angefertigt. Ihre mechanischen und physikalischen Kennwerte wurden mit den Werten  $E_F=1100 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_D=44 \text{ N/mm}^2$  und  $\alpha_F=1,7 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_D=1,9 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  in die Berechnung mit einbezogen.

Nach den messergebnissen (Bild 4) nehmen die für zeit-, temperatur- und druckabhängige Eigenschaften charakteristischen Koeffizienten folgende Werte an:

Der Zeitfaktor ( $t=1000$  Stunden) beträgt:  $D_t \cong 0,35$ .

Der Temperaturfaktor ( $F_T=0,4665 \text{ kN}$ ) beträgt:  $D_T \cong 1,3$ .

Der Druckfaktor ( $F_p=16,96 \text{ kN}$ ) beträgt:  $D_p \cong 0,6$ .

Mit diesen Faktoren, als konstante Werte angenommen, ergeben sich Schrauben- und Dichtungskraft nach 1000 Stunden nach den Zusammenhängen (9), (10) zu:

Bei  $T=T_0=20 \text{ }^\circ\text{C}$

$F_S=30,18 \text{ kN}$       und       $F_D=13,22 \text{ kN}$

Bei  $T=30 \text{ }^\circ\text{C}$

$F_S=36,24 \text{ kN}$       und       $F_D=19,28 \text{ kN}$

Bei  $T=15 \text{ }^\circ\text{C}$

$F_S=27,15 \text{ kN}$       und       $F_D=10,19 \text{ kN}$

### Schlußfolgerungen

Die hier publizierten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zeigen eindeutig die Richtigkeit und Anwendbarkeit der empfohlenen theoretischen und experimentellen Methode. Aufgrund des Berechnungsmodells kann das Zeit-, Temperatur- und druckabhängige Verhalten der Flanschkonstruktion gut verfolgt und der Verlauf des Kraftspieles, das die Funktion und Belastbarkeit des Flanschpaares bestimmt, einfach bestimmt werden. Mit Hilfe der Methode kann die Wirkung der verschiedenen Betriebsbedingungen auch im vorhinein gut geschätzt werden, die Planung ist einfacher und genauer. Dazu muß natürlich die Größe der für die konkrete Flanschkonstruktion charakteristischen Faktoren  $D_t$ ,  $D_T$  und  $D_p$  bekannt sein. Da im Stadium der Planung im Allgemeinen noch nicht die Möglichkeit der Versuchsmessungen besteht, muß man auf anderem Wege zu diesen Faktoren gelangen. Nach unseren bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen [5] sind die gefragten Planungsdaten unter Beachtung der an Form- oder Probekörpern gemessenen Stoffkonstanten mit der Methode der finiten Elemente (FEM) auch gut schätzbar. Dasselbe gilt auch für die Bestimmung des für die Belastbarkeit der Flanschkonstruktion charakteristischen Spannungszustandes.

**Literaturverzeichnis**

1. DIN V 2505 Januar 1986.
2. ASME CODE, Section VIII. Division 1, 1980.
3. VARGA, L.: Konstruktion 33 H. 9, 361 (1981).
4. VARGA, L.: Periodica Polytechnica Mech. Eng. 29. No. 4, 256 (1985).
5. VARGA, L.—GÁLVÖLGYI, G.: MK—01 számú Kutatási jelentés, Budapesti Műszaki Egyetem Gépszerkezzetani Intézet, (1986). (Forschungsbericht MK—01, Technische Universität Budapest, Institut für Maschinenkonstruktionslehre.)

Dr. László VARGA, }  
Gábor GÁLVÖLGYI, } H-1521, Budapest