

Miščenko, A.I.

Institut für Kraftfahrwesen, Char'kov

DIE QUERBEWEGUNG DES KOLBENS MIT EINER AUS DER MITTE GELEGENEN
KOLBENBOLZENACHSE

Übersetzung aus:

Avtomobil'naja promyšlennost'. Moskva, 36 (1970), Nr 5,
S. 17 - 18.

Russ.: **Радиальное перемещение поршня с дезаксиальной осью поршневого пальца**

Radial'noe peremeščenie poršnja s dezaksial'noj os'ju poršneвого pal'ca.

Einer der Gründe für höheren Geräuschpegel von Verbrennungsmotoren sind Kolbensschläge an die Zylinderwand, die durch Kräfte hervorgerufen werden, welche im Kurbelgetriebe wirken. Besonders stark treten diese Schläge bei nicht voller Belastung und im Leerlauf auf, wenn das mit den gasdynamischen Erscheinungen und der Verbrennung zusammenhängende Verbrennungsgeräusch noch gering ist, und das diametrale "Spiel" zwischen Kolbenmantel und Zylinder relativ groß ist [1 und 2].

Die Kolbensschläge an der Zylinderwand hängen mit der Veränderung des Vorzeichens der Seitennormalkraft N zusammen, die den Kolben an die Zylinderwand anpreßt, und damit, daß zwischen diesen beiden ein Spalt vorhanden ist. Während einer Umdrehung der Kurbelwelle ändert sich das Vorzeichen der Kraft N mehrmals, und dies ruft eine Querbewegung des Kolbens hervor. Die größte Schlagstärke wird im o.T. vor dem Arbeitstakt erreicht [3 und 4].

Um das Kolbenspiel zu verringern und den Geräuschpegel von Verbrennungsmotoren zu senken verwendet man sogenannte Autothermikkolben aus einer Aluminiumlegierung mit Stahleinsätzen im Kolbenmantel, durch die die Verformung infolge Wärme eingeschränkt wird, sowie Kolben aus der übereutektischen Legierung Al-Si mit einem geringen Wärmeausdehnungsgrad. In letzter Zeit werden in beinahe allen in- und ausländischen Verbrennungsmotoren Kolben mit einer verlagerten Kolbenbolzenachse zu der Seite, auf welche die Seitenkraft N beim Arbeitstakt des Kolbens wirkt, verwendet, um die Schlagstärke zu verringern [2 und 5].

In diesem Fall sieht die Querbewegung des Kolbens so aus, daß er sich um die Achse, die parallel ist zur Kolbenbolzenachse und tangential verläuft (um den oberen Rand des Kolbenmantels), dreht, wobei sich die Querbewegung etwas früher abspielt als der Kolben seinen o.T. erreicht.

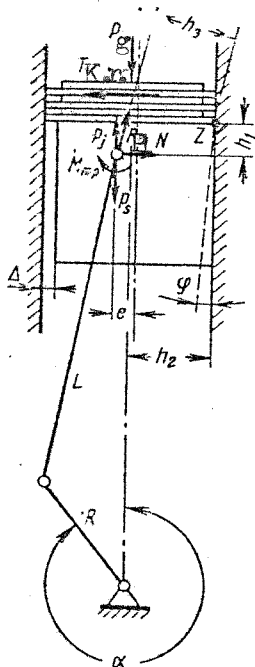


Abbildung 1. Schematische Darstellung der auf den Kolben bei Querbewegung wirkenden Kräfte

Die Gleichung der Kolbenbewegung bei seiner Drehung um die Achse Z (Abb. 1) hat die Gestalt

$$J_z \ddot{\varphi} = M, \quad (1)$$

wobei I_z das Trägheitsmoment der Massen bezeichnet, die an der Drehbewegung um die Achse Z beteiligt sind;
 φ den Drehwinkel des Kolbens um die Achse Z ;
 M das resultierende Moment aller äußeren Kräfte um die Achse Z .

Die äußeren Kräfte, die bezüglich der Kolbendrehachse ein Moment erzeugen, sind die Kräfte des Gasdrucks P_g , die Trägheitskraft der sich bewegenden Massen P_j , die Normalkraft N , die Reaktion der Pleuelstange auf den Kolben R_{Pl} , die Reibungskräfte der Kolbenringe $T_{K.r.}$ und des Kolbenbolzens M_{mp} . Da die Reibungskräfte der Kolbenringe und des Kolbenbolzens um eine Größenordnung niedriger sind als die übrigen Kräfte, die durch die Bewegung des Kolbens hervorgerufen werden [2], werden sie im weiteren Verlauf nicht berücksichtigt. Die übrigen Kräfte sind Funktionen des Kurbelwellendrehwinkels α , und da $\alpha = \omega t$ ist, kann man sie als Funktionen der Zeit t bei $\omega = \text{const}$ ansehen. Die Kräfte N und R_{Pl} sind außerdem Funktionen von der Größe der Kolbenbolzenverschiebung ξ ($\xi = \frac{e}{R}$, wobei e die Größe der Bolzenverschiebung und R den Radius der Kurbel bezeichnen).

Die Gleichung für die Kolbenbewegung um die Achse Z unter Berücksichtigung der einwirkenden Kräfte ist

$$J_z \ddot{\varphi} = R_{Pl} h_3 - N h_1 - P_g h_2 + P_f (h_2 + e). \quad (2)$$

Die Kräfte N und R_{Pl} können für die gewählte Größe der Kolbenbolzenverschiebung mit bis zu 3 % Genauigkeit durch die Gleichungen

$$N = P_s \lambda (\sin \alpha \pm \xi)$$

und

$$R_{Pl} = P_s \lambda (\cos \alpha \pm \xi).$$

ausgedrückt werden.

Nach einigen mathematischen Umwandlungen nimmt die Gleichung (2) die Gestalt

$$J_z \ddot{\varphi} = P_s [e - 2h_1 \lambda (\sin \alpha - \xi)]. \quad (3)$$

an.

Wir ersetzen den Ausdruck in den eckigen Klammern durch den Koeffizienten K , lösen die Gleichung nach φ auf und erhalten die Abhängigkeit für die Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung

$$\dot{\varphi} = 1,65 \sqrt[3]{\frac{KP_s \varphi^2}{J_z}}. \quad (4)$$

Da der zur Geschwindigkeitsgleichung gehörende Koeffizient K von der Größe der Verschiebung e abhängt, können wir, wenn wir diese Größe variieren, die kleinst mögliche Geschwindigkeit des unteren Kolbenmantels zum Zeitpunkt des Schlages erhalten.

Die Bewegung des Kolbens nach dem o.T. kann analog beschrieben werden, und sie dauert so lange an, bis der Kolben mit der gesamten Mantellänge mit der Zylinderwand in Kontakt gekommen ist. Dieser Teil der Querbewegung des Kolbens wird jedoch von keinem Schlag begleitet, und zwar aufgrund der Dämpfungswirkung der Kolbenringe und durch die Wirkung der aus dem Spalt dringenden Ölschicht [6].

Die experimentellen Untersuchungen der Querbewegung des Kolbens im Zylinder wurden an einem Einzylindermotor durchgeführt; dieser wurde von einem Gleichstromgenerator angetrieben, der zusammen mit dem Motor auf ein Gestell montiert war. Der Generator diente bei der Regelung der Belastung auf die Motorwelle als Bremse. Zur Messung der Querbewegung des Kolbens wurden Verlagerungsfühler verwendet, die so in die Schwingebene der Pleuelstange eingebracht wurden, daß der eine die Veränderung der Stellung des oberen Kolbenmantelrandes und der andere des unteren Mantelrandes festhielt. Während des Versuchs wurden auch die Totpunktmarken, der induzierte Druck im Zylinder und die Zeitmarke vom Vibrator mit 500 Hz festgehalten. Die ermittelten Werte wurden über den Niederfrequenzverstärker UTČ-1 mit dem Oszillographen MPO-2 auf Film aufgezeichnet. Der induzierte Druck wurde über denselben Verstärker mit speziell dafür konstruierten Fühlern gemessen und mit dem Oszillographen auf Film aufgezeichnet.

Die Verlagerungsfühler 1 (Abb. 2) stellen einen kleinen elastischen Tragarm dar, auf den unten und oben kleine Folien-Widerstandsgeber (R und R_1) geklebt waren (Grundlinie 10 mm; Widerstand 200 Ohm).

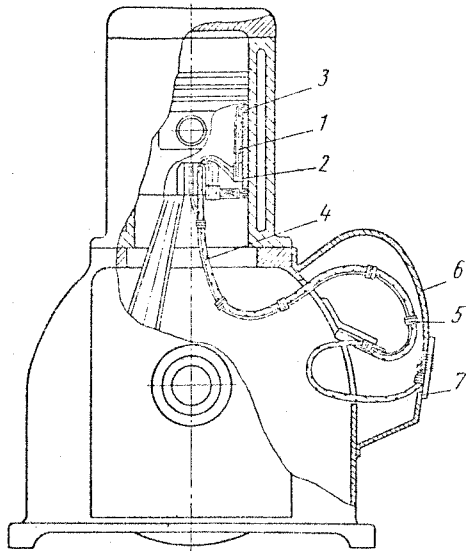


Abbildung 2. Konstruktions-
skizze der Versuchsanlage

Durch die Verwendung von zwei Gebern wurde die Temperaturkompensation und Empfindlichkeit verdoppelt. Die Widerstände der Geber wurden in einer Halbbrücke vereinigt. Die andere Halbbrücke ist Teil der Verstärkerschaltung und dient zur Abgleichung der gesamten Meßbrücke.

Das elastische Element wurde aus einer Platte Federstahl 65 G (0,62 - 0,70 % C; 0,17 - 0,37 Si; 0,90 - 1,20 % Mn; 0,040 % P; 0,040 % S; $\leq 0,25$ % Cr; $\leq 0,25$ % Ni)¹⁾ hergestellt und zum Zwecke hoher Elastizität wärmebehandelt. Die Folien-Widerstandsgeber wurden mit BF-2-Kleber auf diese Platte geklebt und 3 Stunden lang bei einer Temperatur von 180 - 200° getrocknet.

Das elastische Element mit den daraufgeklebten Dehnungsmessern wurde auf den Spezialkonsolen 2 innerhalb des Versuchskolbens in Form eines Tragarms angebracht, der den Verlagerungsfühler darstellte. Das freie Ende des Tragbalkens hatte durch den zylindrischen Stift 3, der in die Öffnung des Kolbenmantels hineinragte, ständigen Kontakt mit der Zylinderwand. Auf den Konsolen des Verlagerungstragarms wurden Schaltklötze angebracht, zu denen die Leitung der Gleichstromabnahme 4 hingeführt wurde.

¹⁾Angaben lt. Stahlschüssel (Anm. d. Übers.)

Die Gleichstromabnahme stellt eine flache Feder mit 7 mm Breite und 0,4 mm Dicke dar. Das eine Ende der Feder war mit Hilfe einer Spezialkonsole am Kobenmantel beim Kolbenbolzenauge befestigt. Das andere, durch den Schlitz des Zylinderblockes verlaufende Ende wurde ebenfalls mit einer Spezialkonsole an seiner Außenwand befestigt. Die aus flexiblem Litzendraht zu einer Schnur geflochtenen Verbindungsleitungen wurden in einem Vinylchloridrohr untergebracht, das mit Hilfe der elastischen Ringe 5 an der Feder befestigt wurde. Der Schlitz im Zylinderblock wurde durch die Spezialabdeckung 6 verschlossen, auf der der Schaltklotz 7 angebracht wurde.

Vor Einbau in den Motor wurden die Geber zusammen mit den Kolben geeicht. Die Eichcharakteristiken des Gebers zeigten bei Be- und Entlastung ausreichend gute Übereinstimmung. Die relative Fehlergröße lag im gesamten Meßbereich innerhalb 5 %.

Die Länge des Verbindungsstiftes, der die Bewegung auf den Verlagerungsfühler übertrug, wurde so gewählt, daß das freie Ende des Fühlers bei maximalem Rückgang des Kolbens innerhalb des Spalts ein Übermaß von 0,2 - 0,25 mm hatte. Nach Überprüfung der Fühler wurde der Kolben in den Motor einigebaut.

Die Querbewegung des Kolbens wurde untersucht an Kolben mit unterschiedlicher Verschiebungsgröße der Kolbenbolzenachse (um jeweils 0,5 mm von 0 bis 2,5 mm) und bei unterschiedlichen Arbeitsweisen des Verbrennungsmotors.

Die Auswertung der Oszillogramme zeigte, daß der untersuchte Vorgang gut zu wiederholen ist.

Durch Lösen der Kolbenbewegungsgleichung (3) bezüglich $\ddot{\varphi}$ konnten die Winkelbeschleunigungswerte des Kolbens für verschiedene Verschiebungswerte des Kolbenbolzens im Bereich der angenommenen Verschiebung innerhalb $660 - 720^\circ$ der Kurbelwellenumdrehung ermittelt werden.

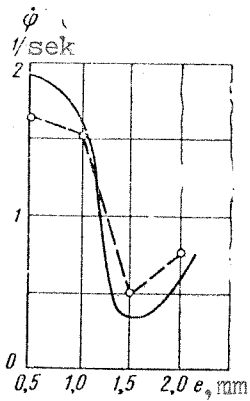


Abbildung 3. Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit des Kolbens im Augenblick der Begegnung von der Größe der Bolzenverlagerung

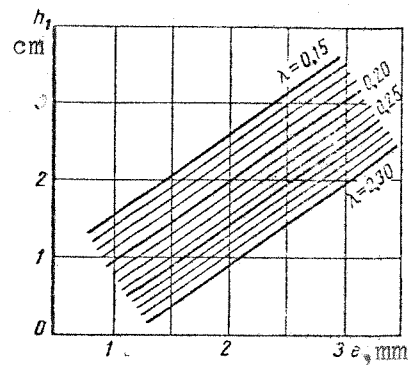


Abbildung 4. Nomogramm zur Bestimmung des optimalen Verschiebungswertes des Kolbenbolzens

Die Abhängigkeit der Endgeschwindigkeit der Verschiebung vom Verlagerungswert ist in Abb. 3 dargestellt. Die Werte dieser Geschwindigkeit werden durch die Lösung von Gleichung (4) bestimmt. Somit ist die Verlagerung der Kolbenbolzenachse um 1,5 mm bei der vorliegenden Kolbenkonstruktion der optimale Wert, der eine minimale Verschiebungsgeschwindigkeit garantiert. Die Versuchskurve der Abhängigkeit der Verschiebungsgeschwindigkeit von der Verlagerungsgröße stimmt ausreichend gut mit dem Verlauf der theoretischen Kurve überein, und auch der optimale Wert fällt mit dem theoretischen zusammen.

Da die Winkelgeschwindigkeit der Verschiebung des Kolbens vom Koeffizienten K abhängt [Gleichung (4)], d.h. von den Konstruktionskennwerten des Kolbens und dem Verhältnis λ für den jeweiligen Motor, kann man nach diesen Werten die optimale Verlagerungsgröße des Kolbenbolzens bestimmen.

Nach dem Nomogramm (Abb. 4) kann man den optimalen Verlagerungswert des Kolbenbolzens aus den Bedingungen der minimalen Verschiebungsgeschwindigkeit nach dem Wert λ und dem Abstand zwischen der Ebene, die durch den oberen Rand des Kolbenmantels verläuft und parallel ist zur Kolbenbolzenachse, und der Kolbenbolzenachse (h_1) bestimmen.

Literatur

1. Зинченко В. И. Шум судовых двигателей. Судпромгиз, 1957.
Zinčenko, V.I.:
Šum sudovych dvigatelej.
Moskva: Verlag "Sudpromgiz", 1957.
<Das Schiffsmotorengeräusch>
2. Скобцов Е. А., Изотов А. Д. и Тузов Л. В. Методы снижения вибраций и шума дизелей. Машгиз, 1962.
Skobcov, E.A., Izotov, A.D., Tuzov, L.V.:
Metody sniženija vibracij i šuma dizelej.
Moskva: Verlag "Mašgiz", 1962.
<Methoden zur Schwingungs- und Geräuschdämpfung von Dieselmotoren>
3. Куликов Н. К. и Миронов Г. П. «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», 1963, № 8.
Kulikov, N.K., Mironov, G.N.: Eksperimental'noe issledovanie radial'nogo dviženija poršnja v cilindre dvigatelja.
In: Izvestija. Vyssie učebnye zavedenija. Mašinostroenie. Moskva, 6 (1963), Nr 8, S. 185 - 191.
Übersetzung Nr 97 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart: "Experimentelle Untersuchung der Querbewegung des Kolbens im Zylinder eines Verbrennungsmotors", 8 Seiten.
4. Мищенко А. И. и Подшеколкин М. И. О радиальном перемещении поршня в цилиндре двигателя. Межведомственный республиканский научно-технический сборник, 1968, № 4, г. Киев.
Miščenko, A.I., Podšekoldin, M.I.: O radial'nom peremeščenii poršnja v cilindre dvigatelja.
In: Mežvedomstvennyj respublikanskij naučno-techničeskij sbornik. Kiev, 1968, Nr 4.
<Über die Querbewegung des Kolbens im Zylinder eines Verbrennungsmotors>
5. «Auto Service», 1962, 17, № 1.
6. Курнатов В. Д. «Тракторы и сельхозмашины», 1964, № 11.
Kurnatov, V.D.: Sniženie vibracii dizelej, vzyvaemoj udarami poršnej.
In: Traktory i sel'chozmašiny. Moskva, 1964, Nr 11, S. 1 - 2.
Übersetzung Nr. 93 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart: "Herabsetzung der Vibration von Dieselmotoren, die durch Kolbenschläge hervorgerufen wird", 6 Seiten o. Abb.

Stuttgart, den 7.6.1978

übersetzt von

Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)

Dipl.-Übersetzer