

2/97

7000 STUTTGART 1,  
 POSTFACH 506 - HOLZGARTENSTRASSE 16  
 HAUPTINGANG: MAX-KADE-WEG  
 RUF 207 31 - FERNSCHREIBER 07 - 22450

Kulikov, N.K. (Doktor der techn. Wissenschaften, Professor, Moskauer Höhere Technische N.E. Bauman-Lehranstalt),  
Mironov, G.N. (Assistent, Volgograder mechanisches Institut):

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER QUERBEWEGUNG DES KOLBENS  
 IM ZYLINDER EINES VERBRENNUNGSMOTORS

Izvestija VUZ - Mašinstroenie. Moskva, 6 (1963), Nr 8,  
 S. 185 - 191.

[Russ.: Eksperimental'noe issledovanie radial'nogo dviženija poršnja v cilindre dvigatelja.]

(185)

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß die wartungsfreie Laufzeit von Kraftfahrzeugverbrennungsmotoren von der Verschleißfestigkeit der Berührungsfläche: 1. Kolbenring und Kolbenringnut abhängt.

Es ist allgemein bekannt, daß der Hauptgrund für den Erosionsverschleiß der Oberflächen die Einwirkung der Reibungskräfte auf die Paarungsflächen der zwei Einzelteile ist. Wenn Schleifmittel und Korrosionsbildner vorhanden sind, dann wirkt sich dies auf die Intensität des Verschleißes aus. Trotzdem wurde bis heute die Einwirkung der Reibungskräfte auf die Paarungsflächen dieser Einzelteile der Kolbeneinheit, oder die Dynamik der Einzelteile, in sehr geringem Umfange untersucht.

Die Berührung in der Laufbüchse-Kolben-Einheit wird durch einen bestimmten Spalt realisiert, und während der Motor arbeitet, geht bei Druck auf die Verbindungsoberfläche eine relative Verlagerung der Einzelteile vor sich. So wird der erste Kolbenring durch den Gasdruck an die Kolbenringnut angepresst, die sich dabei bezüglich des Rings aufgrund der Querbewegung des Kolbens verlagert. Folglich bewirken die Reibungskräfte eine Arbeit auf die Berührungsoberfläche der Einzelteile, und diese Arbeit ist bei konstanten gleichen Bedingungen (Reibungskoeffizient, Materialeigenschaften bei hoher Temperatur und bei vorhandenen Korrosionsbildnern) um so größer, je größer der Verschleiß der sich berührenden Oberflächen ist.

Die Intensität des Erosionsverschleißes wird durch den dynamischen Faktor charakterisiert, der proportional zur Arbeit der Reibungskräfte in der Zeiteinheit ist

$$\Phi = apv,$$

mit  $a$  - Proportionalitätskoeffizient,  
 $p$  - Druck auf die Berührungsfläche der zwei Einzelteile,  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  
 $v$  - Geschwindigkeit der relativen Verlagerung der sich berührenden Teile,  $\text{cm}/\text{sek}$ .

Auf analytischem Wege sind diese Werte sehr schwer zu bestimmen, und die Rechenergebnisse können von den tatsächlich erzielten Werten abweichen. Deshalb ist die experimentelle Untersuchung der Querbewegung von bestimmtem theoretischem und praktischem Interesse, weil sie es erlaubt, die Bewegung der einzelnen Kolbenpunkte im Zylinder in Abhängigkeit von der Motorlast unmittelbar zu bestimmen.

(186)

Die experimentellen Untersuchungen der Querbewegung des Kolbens im Zylinder wurden am Traktormotor DT-54A<sup>1)</sup> durchgeführt. Um die Querbewegung des Kolbens in der Schwingungsebene des Pleuels noch genauer zu untersuchen, wurden Verlagerungsfühler an zwei Punkten über die gesamte Kolbenlänge angebracht: in Höhe des oberen Verdichtungsringes und am unteren Teil des Kolbenmantels. Da dabei berücksichtigt wurde, daß der Verdichtungsring während des Betriebs ständig an die Zylinderwand gepreßt wird, haben wir die Verlagerung des oberen Kolbenteils als Verlagerung der ersten Kolbenringnut zum Ring und die des unteren Teils als Verlagerung des Kolbens zur Zylinderlaufbüchse definiert.

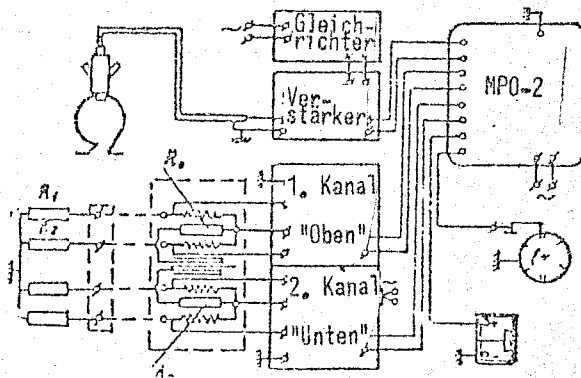


Abb. 1. Elektrisches Schema der Versuchsanlage.

Während des Versuches wurden auch die Totpunktmarken und der Drehwinkel der Kurbelwelle über  $60^\circ$ , der indizierte Druck, die Zeitmarke vom Vibrator 500 Hz festgehalten (Abb.1).

Die Meßwerte wurden mit dem Oszillographen MPO-2<sup>2)</sup> durch einen 4-Kanal-Verstärker auf Filmband aufgezeichnet, der indizierte Druck hingegen durch einen speziellen Verstärker, der nach einem Entwurf des Wissenschaftlichen Forschungsinstitutes für Automechanik gebaut wurde.

1) Dieseltraktor mit einem Motor von 54 PS. - Anm.d.Übers.

2) Magnetisch-elektrischer tragbarer Schleifen-Oszillograph mit Filmband, mit achtfacher Vibration. - Anm.d. Übers.

Die Verlagerungsfühler. Der Verlagerungsfühler ist ein bügelartiges elastisches Element, auf dessen Flansch oben und unten kleine Dehnmessstreifen ( $R_1$  und  $R_2$ ) mit einer Basis von 5mm und einem Widerstand von 115 Ohm aufgeklebt wurden (Abb.2). Die Meßstreifen eines jeden Fühlers sind an eine ohmsche Brückenschaltung angeschlossen. Die eine Halbbrücke, die auf das elastische Element geklebt wurde, befand sich im Kolben, die andere auf dem Experimentiertisch (Abb.1). Um den Einfluß der hohen Temperatur und des Kolbens auf die Funktion des Fühlers zu verringern, wurden die Messgeber an verschiedene Brückenzweige angeschlossen. Dadurch wurde totale Temperaturkompensation der Brücke erzielt.

Das elastische Element wurde aus einem Blättchen Federstahl 65 G (65 % Mn) hergestellt und wegen größerer Elastizität wärmebehandelt. Für die normale Arbeit bei hoher Temperatur bis 180-200° C wurden die Fühler, die mit dem Klebstoff BF-2 (Bakelit-Phenol-2-Klebstoff) aufgeklebt wurden, 2,5 Stunden lang bei einer Temperatur von 225-240° C getrocknet.

Bei der Querbewegung der Kolbenringnut zum Ring verlagert der Ring über einen zylindrischen Stab mit einem Durchmesser von 1mm (Bohrerschaft) den Arm des Fühlers, der sich hinter der Kolbenringnut befindet. Die Verbiegung des Arms ruft eine Verformung der aufgeklebten Meßgeber und folglich eine Veränderung ihres Widerstandes hervor. Nach der Veränderung des Widerstandes oder der Kraft des durch den Oszillographen aufgezeichneten Stromes kann man auf die Größe der Kolbenverlagerung schließen.

(187)

Die Versuchskolben-Anlage. Die Verlagerungsfühler wurden in einen speziell dafür hergestellten zerlegbaren Kolben montiert (Abb.2). Der abnehmbare Kolbenboden wurde auf den Kolben aufgeschraubt und durch eine Schraube gesichert. Um zu verhindern, daß Gase durch das Gewinde zum Fühler unter dem Boden durchdringen, wurde eine Bleidichtung eingelegt. Der obere Fühler wurde im Sitz hinter der ersten Kolbenringnut angebracht. Auf der inneren Oberfläche des Kolbenmantels wurde der Rumpf mit dem zweiten Fühler befestigt. In die Stirn der ersten Kolbenringnut wurde in der Mitte des Sitzes ein Loch gebohrt, in das der Stab eingeführt wurde, der die Bewegung vom Ring zum Fühler weiterleitete.

Um zu vermeiden, daß sich der Ring verdreht, während der Motor arbeitet, sicherten wir den Ring durch einen Stift, der im Kolbenringstoß angebracht wurde. Die von den Fühlern ausgehenden Leiter wurden mit dem Anschlußstück des konstanten Stromabnehmers verbunden. Der konstante Stromabnehmer wurde mit Hilfe einer flexiblen Leitung hergestellt, die aus den Leitern eines mehradrigen weichen Kabels zusam-

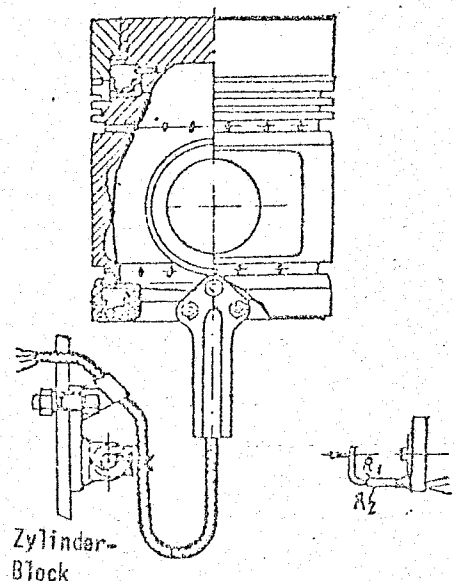


Abb. 2. Versuchskolben zum Messen der Querbewegung im Zylinder

mengeflochten und an einen Vinylchloridrohrkondensator angeschlossen wurde. Vom Kolben wurde die Leitung auf einen Ständer mit U-förmigem Querschnitt geführt. Die Länge des Ständers war derart bemessen, daß die Leitung, wenn der Kolben im oberen Totpunkt ist, über die untere Laufbüchsenchnittfläche hinausgeht. Vom Ständer hängt die Leitung frei herunter und wird an der Wand des Kurbelgehäuseblockes befestigt. Um den Durchbiegewinkel zu verringern, wurde die Leitung über Scharnierverbindungen vom Ständer abgeleitet und am Block befestigt.

Die Untersuchungsmethode. Vor der Anlage wurden die Fühler auf den Motor zusammen mit dem Kolben geeicht. Die Eichwerte stimmen bei Belastung und Entlastung zufriedenstellend überein. Der relative Fehler betrug in allen Verlagerungsbereichen maximal 5 %.

Die Länge des Verbindungsstabes, der die Bewegung auf den Fühler überträgt, wurde so gewählt, daß der Fühler bei maximaler Entfernung vom Ring nicht mehr als 0,1 - 0,15 mm verschoben wurde; dabei war der Stab ständig an den Ring gepreßt.

Nachdem die Fühler überprüft waren, wurde der Kolben in den Motor eingebaut. Vor dem Anlassen wurde der Motor aus einer externen Wärmequelle auf Kühlwassertemperatur (75-80° C) gebracht. Vor und nach dem Versuch wurde die elektrische Schaltung durch Anschluß des Meßwiderstandes  $R_0$  geeicht.

Die Querbewegung des Kolbens wurde bei optimalem Kolbenspiel (0,27 mm) und in den folgenden Betriebsarten untersucht:

- 1) Anlassen;
- 2) Dreizylinderbetrieb bei  $n=1350$  U/min (Kraftstoffzufuhr im untersuchten Zylinder ausgeschaltet);
- 3) Vierzylinderbetrieb bei Überlastung des Motors ( $N_e=57$  PS);
- 4) Vollastbetrieb ( $N_e=54$  PS);
- 5) Teillastbetrieb;
- 6) Leerlauf.

(188)

Bevor die Messungen begonnen wurden lief der Motor im gewählten Betrieb 2-3 min lang; dann wurde er hydraulisch abgebremst.

Die Ergebnisse der Untersuchung. Die Arbeit mit dem Oszillographen zeigte, daß der untersuchte Vorgang leicht zu wiederholen ist. Abb. 3 zeigt ein Oszillogramm-Beispiel der Querverlagerung des Kolbens beim "Anlassen".

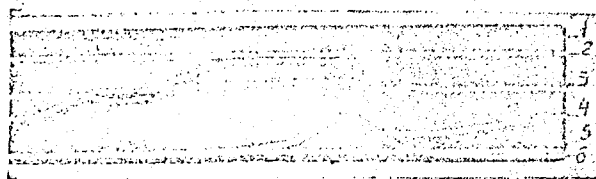


Abb. 3. Oszillogramm der Querbewegung des Kolbens im Zylinder beim "Anlassen" des Motors: 1-Zeitmarke; 2-Drehwinkelmarke der Kurbelwelle; 3-Querbewegung des Kolbenpunkts in Höhe des ersten Verdichtungsringes (oben); 4-Querbewegung des Kolbenmantels (unten); 5-Basislinie; 6-Indikator-diagramm.

Unter Einwirkung der eingepprägten Kräfte und Momente vollführt der Kolben im Zylinder eine komplexe Bewegung: eine Querbewegung und eine Drehung um die Kolbenbolzenachse. Die Amplitude der Verlagerung des Kolbenbolzens am oberen Totpunkt ist im "Arbeitstakt" aufgrund seiner Durchmesserabnahme [?] und der Kolbendrehung im Bolzenkreis größer als das optimale Kolbenspiel.

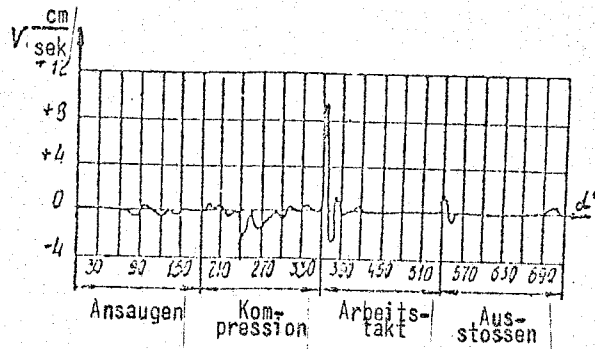


Abb. 4. Graphik der Durchgangsgeschwindigkeit des Kolbenpunktes in Höhe des ersten Verdichtungsringes (oben) pro Arbeitszyklus beim "Anlassen"

Der Kolbenboden wird auf die "Druckseite" der ersten Laubbuchse geworfen, und bei Verlagerung des Kolbens nach unten rückt er von der Laubbuchse um den Wert des halben Durchmesserunterschieds von Boden und Kolbenmantel ab. Durch tabellarische Differenzierung der Verlagerung haben wir Diagramme über die Bewegungsgeschwindigkeit des Bodens (Abb.4) und des Kolbenmantels (Abb.5) erhalten.

Mit diesen Verlagerungsdiagrammen und mittels Umrechnung bestimmen wir die Drehung des Kolbens um die Kolbenbolzenachse. Durch Differenzierung finden wir die Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung beim "Anlassen" (Abb.6).

Wenn der Motor auf vier Zylindern läuft (ohne Explosion im untersuchten Zylinder), dann entspricht die Querbewegung des Kolbens bei  $n=1350$  U/min weitgehend den Gesetzmäßigkeiten über die Veränderung der Seitenkomponente aus der Trägheitskraft des Kolbens.

Die maximale Geschwindigkeit wurde am oberen Totpunkt im "Arbeitstakt"

des Kolbenbodens - 10,75 cm/sek

des Kolbenmantels - 16,2 cm/sek erzielt.

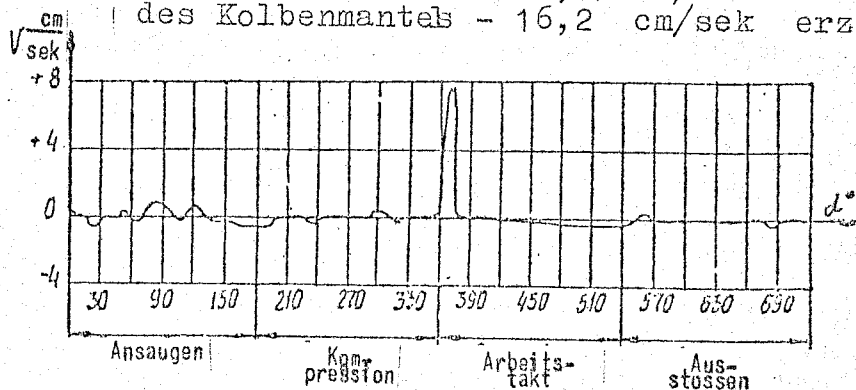


Abb. 5. Graphik der Durchgangsgeschwindigkeit des Kolbenmantels (unten) pro Arbeitszyklus beim "Anlassen"

(189)

Die Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung je Zyklus ist ebenfalls am oberen Totpunkt im "Arbeitstakt" maximal und beträgt für den besagten Lastzustand 1,91 rad/sek.

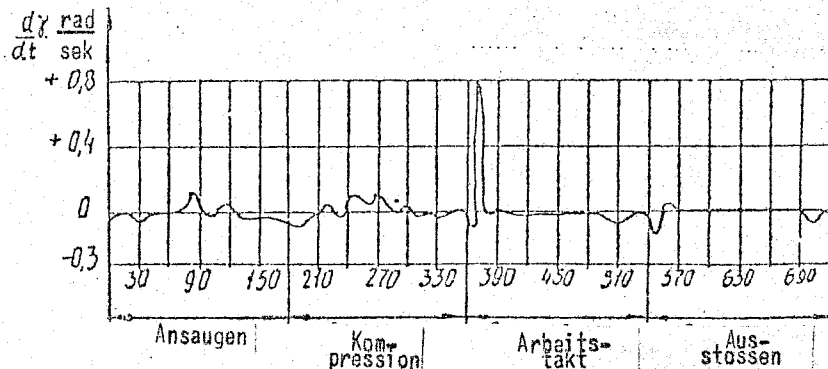


Abb. 6. Graphik der Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung pro Arbeitszyklus beim "Anlassen"

In Abb.7 ist ein Beispiel eines Oszillogramms der Querbewegung des Kolbens bei 54 PS-Belastung des Motors dargestellt.

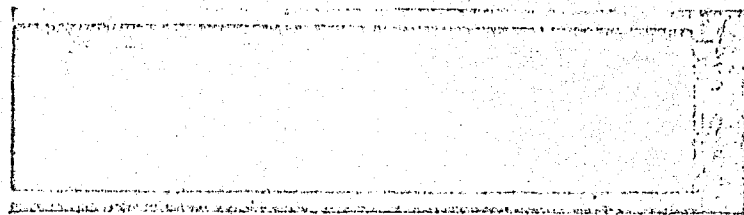


Abb. 7. Oszillogramm der Querbewegung des Kolbens im Zylinder bei Normalbetrieb des Motors ( $N_e=54$  PS,  $n=1350$  U/min): 1-Zeitmarke; 2-Drehwinkelmarke der Kurbelwelle; 3-Querbewegung des Kolbenpunkts in Höhe des ersten Verdichtungsringes (Oben); 4-Querbewegung des Kolbenmantels (unten); 5-Basislinie; 6-Indikatordiagramm.

(190)

Die Amplitude der Querverlagerung des Kolbenbodens in Form einer Wärmeausdehnung ist wesentlich kleiner als das Kolbenspiel im kalten Zustand.

Pro Arbeitszyklus verlagert sich der Kolben mehrmals von einer Wand der Laufbüchse zur anderen. Die Antriebskraft ist bei Querverlagerung des Kolbens eine Seitenkomponente aus der Summe der längs der Zylinderachse wirkenden Kräfte und das Moment aus den Reibungskräften der Ring-Nut-Paarung.

Aufgrund einer gewissen Verschiebung des Kolbenschwerpunktes beim Anbringen der Fühler tritt ein Kippmoment auf, das am oberen Totpunkt im Takt "Kompression" den Kolben nach unten drückt und den Boden etwas von der Laufbüchsenwand entfernt.

Im "Arbeitstakt" am oberen Totpunkt trifft der Kolben unter Einwirkung der Gaskräfte stark auf die "Druckseite" des Zylinders auf. Dabei verringern die Reibungskräfte der Ring-Nut-Paarung beträchtlich die maximale

Querverlagerungsgeschwindigkeit des Kolbenbodens (Abb.8) bei gleichzeitigem Passieren des Kolbenmantels (Abb.9) unter Berücksichtigung der maximalen Geschwindigkeit.

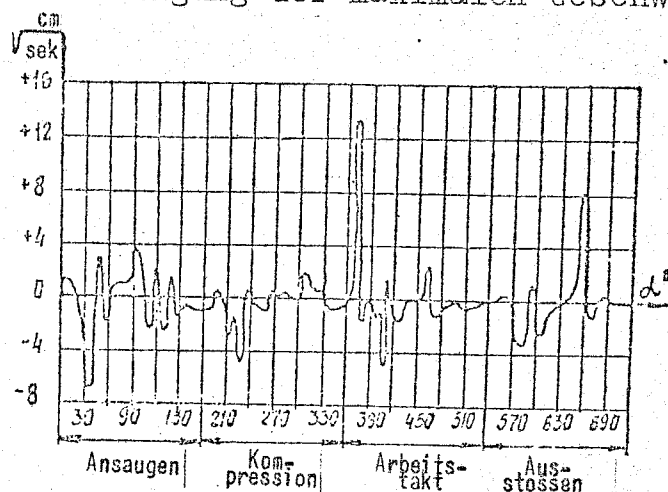


Abb. 8. Graphik der Querbewegungsgeschwindigkeit des Kolbenpunktes in Höhe des ersten Verdichtungsringes (oben) pro Arbeitszyklus bei Normalbetrieb des Motors.

Bei der Querbewegung bleibt die Kolbenachse nicht parallel zur Achse des Zylinders, der Kolben dreht sich ständig um seinen Bolzen und bewegt sich, wobei er sich verkantet. Abb. 10 zeigt ein Diagramm der Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung pro Arbeitszyklus des Motors bei Vollastbetrieb.

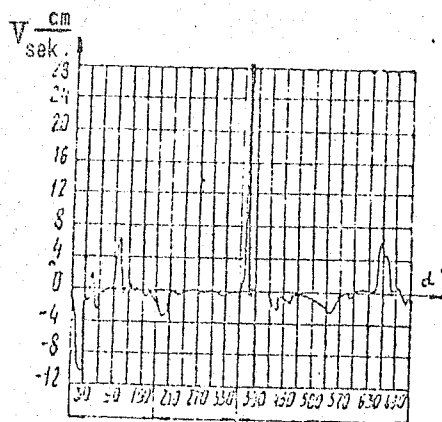
Auf Grundlage der durchgeführten Versuche kann man folgende Schlüsse ziehen.

1. Unter Einwirkung der eingepprägten Kräfte und Momente vollführt der Kolben im Zylinder eines Motors vollkommen gesetzmäßige Querverlagerungen.

2. Die Größe der Verlagerung hängt in den Takten "Ansaugen" und "Ausstoßen" bei konstanter Drehzahl nicht von der Motorbelastung ab.

3. Die Geschwindigkeit der Querverlagerung des Kolbenbodens ist bedeutend niedriger als die Kolbengeschwindigkeit (in Hubrichtung), was sich durch die Bremswirkung der Verdichtungsringe erklären läßt, aber auch dadurch, daß sich der Spalt zwischen Kolbenboden und Laufbüchse infolge der Wärmeausdehnung verringert.

Abb. 9. Graphik der Querbewegungsgeschwindigkeit des Kolbenmantels (Unten) pro Arbeitszyklus bei Normalbetrieb des Motors.



4. Wenn die Belastung des Motors zunimmt, dann wird auch die Kolbengeschwindigkeit größer. Die Kolbengeschwindigkeit und die Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung bleiben praktisch konstant (Abb.11).

(191)

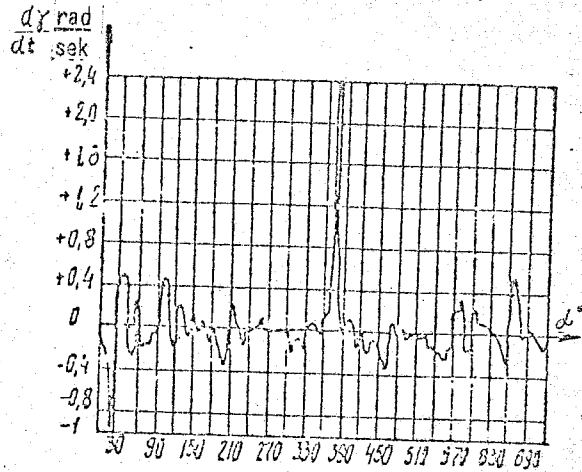


Abb. 10. Graphik der Winkelgeschwindigkeit der Kolbendrehung um den Bolzen pro Arbeitszyklus bei Normalbetrieb des Motors

5. Die Querverlagerungsgeschwindigkeit von Kolbenboden und-mantel wie auch die Winkelgeschwindigkeit der Drehung um die Bolzenachse waren in allen Lastzuständen im "Arbeitstakt" am oberen Totpunkt im Bereich der größten Drücke maximal.

#### LITERATUR

1. Povyšenie dolgovečnosti poržnevych kolec traktornych digatelej (Steigerung der Lebensdauer der Kolbenringe von Traktormotoren), [Gosudarstvennoe] O[b-edinennoe] N[aučno-] T[ekhnicheskoe] I[zdatel'stvo] - [Gosudarstvennyj sojuznyj] NA[učno-issledovatel'skij] T[raktornyj] I[nstitut] (Veräinigtter wissenschaftlich-technischer Staatsverlag - Staatliches Unionsforschungsinstitut für Traktorenbau), Vypusk (Folge) 133, 1961.
2. Uveličenie iznosostojkosti aljuminievych poržnej (Steigerung der Verschleißfestigkeit von Aluminiumkolben), [Gosudarstvennoe] O[b-edinennoe] N[aučno-] T[ekhnicheskoe] I[zdatel'stvo] - [Gosudarstvennyj sojuznyj] NA[učno-issledovatel'skij] T[raktornyj] I[nstitut] (Vereinigtter wissenschaftlich-technischer Staatsverlag - Staatliches Unions-Forschungsinstitut für Traktorenbau), Vypusk (Folge) 102, 1960.

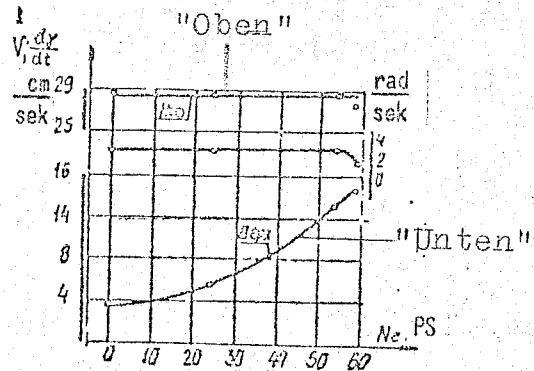


Abb. 11. Graphik der Abhängigkeit der Querbewegungsgeschwindigkeit des Kolbens von der Motorbelastung.

Stuttgart, den 23.IV.1975

Redaktionseingang  
7. Mai 1962

*P. Pertsch* (Ottmar PERTSCHI) Dipl.-Übersetzer