

Verfahren zur experimentellen Lösung von Kontaktproblemen an gekrümmten Flächen

Günter Blodig

1. Einleitung

Bei hochbelasteten Bauteilen im Maschinenbau gewinnt neben der Analyse der Spannungen und Verformungen die Analyse der Pressungen an den Kontaktflächen eine zunehmende Bedeutung. Während für die Pressungsanalyse an ebenen Flächen hinreichend genaue experimentelle Verfahren zur Verfügung stehen (Bleiklotzchenverfahren, Kugeldruckverfahren und Farbübertragungsverfahren [1] bis [6]), mangelte es bisher an geeigneten Verfahren für gekrümmte Flächen [7].

Die Kenntnis der Kontaktflächenbeanspruchung ist insbesondere bei solchen Bauteilen notwendig, deren Kontaktfläche sich gegenüber der Partnerkontaktfläche bewegt und somit dem Verschleiß ausgesetzt ist. Zu diesen Bauteilen zählt auch der Kolben von Verbrennungsmotoren.

Bereits bei der Auslegung derartiger Bauteile wird gefordert, daß die Kontaktfläche frei von extremen Pressungsspitzen ist, die zu Schmierfilmdurchbrüchen führen können.

Da hochbelastete Bauteile zunehmend mit Hilfe experimenteller Modellverfahren ausgelegt werden, galt es, für die Entwicklung eines Meßverfahrens ebenfalls ein Modellverfahren zu schaffen. Hierbei wurde für die Bestimmung der Pressungen an der Kontaktfläche das plastische Verformungsvermögen von Kunststoffen genutzt, das bei hohen Temperaturen besonders ausgeprägt ist (Bild 1) [8], [9].

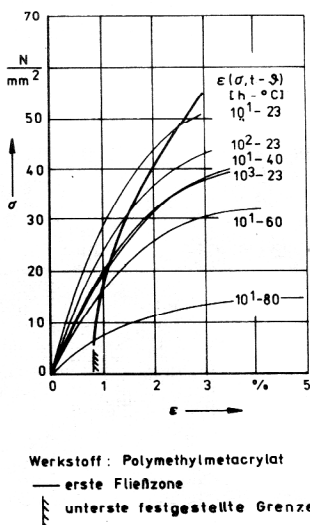


Bild 1
Spannungs-Dehnungs-Verläufe eines Kunststoffes bei verschiedenen Belastungszeiten und Temperaturen nach [8] und [9]

2. Meßprinzip

Das Meßprinzip des neuen Verfahrens beruht darauf, daß ein Partner der Kontaktpaarung, im allgemeinen der auf das Pressungsverhalten einflußreichere, aus einem Plastwerkstoff gefertigt und mit seiner Kontaktfläche auf die mit Bohrungen versehene Kontaktfläche des Kontaktpartners gedrückt wird. Danach wird zur Erzielung eines ausreichenden plastischen Verformungsvermögens das aus dem Plastwerkstoff bestehende Bauteil zusammen mit seinem Kontaktpartner auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Sodann drücken sich in Abhängigkeit von der Größe der im Bereich der einzelnen Bohrungen anliegenden Pressungen entsprechend hohe Erhebungen in die senkrecht zur Oberfläche angeordneten Bohrungen ein. Anschließend erfolgt ein Abkühlen auf Raumtemperatur, bei dem die ausgebildeten Erhebungen erstarren, und ein Ausmessen der Erhebungshöhen.

Die Zuordnung der Erhebungshöhe zur Pressungsgröße geschieht mit einer Kalibriervorrichtung. Mittels dieser Vorrichtung werden aus gleichem Plastwerkstoff bestehende Kalibrierkörper mit definierten Kräften auf ebenen Flächen belastet. Die Flächen sind mit mindestens einer Bohrung versehen, die den gleichen Durchmesser besitzt wie die Bohrungen des Kontaktpartners in der Belastungsvorrichtung. Darüber hinaus ist das Flächenverhältnis

$$\lambda_F = \frac{A_B}{A_{ges}} \quad (1)$$

für die Belastungs- und Kalibriervorrichtung gleich. Hierin ist A_B die Bohrungsquerschnittsfläche und A_{ges} die Gesamtfläche. Die Gesamtfläche A_{ges} setzt sich aus der Bohrungsquerschnittsfläche A_B und der tragenden Fläche A_{tr} zusammen:

$$A_{ges} = A_B + A_{tr} \quad (2)$$

Die Kalibrierkörper durchlaufen den gleichen Temperaturzyklus wie der Prüfkörper.

Als Plastwerkstoff eignen sich vorzugsweise heißhärtende Epoxidharze. Sie verfügen über ein hohes plastisches Verformungsvermögen bei hohen Temperaturen und werden bevorzugt bei der Erstellung räumlicher spannungsoptischer Modelle zur Anwendung gebracht.

3. Ähnlichkeitsbeziehungen zur Übertragung der Meßergebnisse auf die Hauptausführung

Die Gesetze der Ähnlichkeitstheorie liefern den Zusammenhang zwischen den Meßergebnissen des Modellversuchs und dem Zustand der Hauptausführung. Für die Pressungen (Normalspannungen) am Modell M und an der Hauptausführung H gilt die Beziehung:

$$\sigma_{nH} = \frac{m_L^2}{m_F} \cdot \sigma_{nM} \quad (3)$$

Hierin ist σ_{nH} die Pressung an der Hauptausführung und σ_{nM} die am Modell. Die Größe

$$m_L = \frac{L_M}{L_H} \quad (4)$$

stellt den Längenmaßstab dar. L_M ist die Länge des Modells und L_H die der Hauptausführung.

Die Größe

$$m_F = \frac{F_{nM}}{F_{nH}} \quad (5)$$

wird Kraftmaßstab genannt. Hierin ist F_{nM} die Normalkraft am Modell und F_{nH} die an der Hauptausführung.

4. Test des neuen Verfahrens an einem Kolbenmodell

Der Test des neuen Verfahrens erfolgt an einem Kolbenmodell eines gebauten Kolbens. Derartige Kolben werden in hochaufgeladenen Großdieselmotoren eingesetzt. Die Kolben sind zweiteilig ausgeführt. Das Kolbenoberteil ist aus einer warmfesten Stahlliegierung und das Unterteil aus einem hochfesten Aluminiumwerkstoff gefertigt. Mittels Dehnschrauben sind beide Teile miteinander verbunden.

4.1. Modellherstellung

Die Herstellung der Modellbauteile erfolgt wegen ihrer relativ komplizierten inneren Form durch Gießen und anschließende mechanische Bearbeitung. Da der gebaute Kolben aus zwei Werkstoffen besteht, die im Elastizitätsmodul verschieden sind, ist für die Herstellung der Modelle eine Werkstoffkombination erforderlich, die das Verhältnis der Elastizitätsmoduln der Hauptausführung einhält. Während für Stahl der Elastizitätsmodul $E \approx 206000 \text{ N/mm}^2$ beträgt, liegt der Elastizitätsmodul für die gebräuchlichsten Kolbenlegierungen aus Aluminium zwischen den Werten 73600 und 84400 N/mm^2 [10]. Mit diesen Werten ergibt sich ein Elastizitätsmodulverhältnis von

$$\frac{E_{Al}}{E_{St}} = 0,357 \dots 0,410.$$

Um dieses Verhältnis an der Modellausführung zu erreichen, werden nach [11] die Epoxidharze Epilox EG 1 und Epilox EG 34 (Hersteller: VEB Leuna Werke „Walter Ulbricht“) gewählt. Unter Einhaltung des notwendigen Mischungsverhältnisses zwischen Harz und Härter und den in [11] und [12] ermittelten zweckmäßigsten

Schmelz-, Misch- und Härtetemperaturen läßt sich zwischen beiden Werkstoffen ein Elastizitätsmodulverhältnis von

$$\frac{E_{EG1}}{E_{EG34}} = \frac{14,3}{38,3} = 0,374$$

erreichen. Dieses Verhältnis entspricht näherungsweise dem Mittelwert der Hauptausführung.

Die Gießdaten für beide Epoxidharze sind in Bild 2 zusammengestellt.

| Werkstoff | Massetteile | Temperaturen in °C | | | Härten h | Abkühlen K / h |
|-------------|-------------|--------------------|-----------|--------|-------------|-------------------|
| | | Schmelzen | Mischen | Härten | | |
| Epilox EG1 | 100 | 130 | 100 - 110 | | | |
| Härter 102 | 30 | 135 | 135 | 100 | 40 | 2 |
| Epilox EG34 | 100 | 120 | 120 | | | |
| Härter 102 | 72 | 135 | 135 | 125 | 30 | 2 |

Bild 2
Gießdaten der Epoxidharze Epilox EG 1 und Epilox EG 34 nach [11]

Die Gießform (Bild 3) ist aus Aluminiumwerkstoff gefertigt und besteht aus einem kreisrunden Bodendeckel und einem Rohr, das zur leichteren Entfernung des Modellrohlings mit einer kegeligen Bohrung (Kegelwinkel 2°) versehen ist. Der Bodendeckel dient gleichzeitig zur zentrischen Aufnahme des hitzebeständigen und elastischen Kerns, der die Modellinnenkontur aufweist und aus Silikongummi (Hersteller: VEB Chemiewerk Nünchritz) gefertigt ist. Dieser besteht aus den Komponenten:

100 Masseteile Silikonkautschuk NV 1500

10 Masseteile Silikonöl NM 1 - 200

1 Masseteil Vernetzer C.

Um ein Ankleben des Modellwerkstoffes in der Gießform zu verhindern, werden die Aluminiumteile mit Silikonlack und Silikonöl und der Kern ebenfalls mit Silikonöl überzogen.

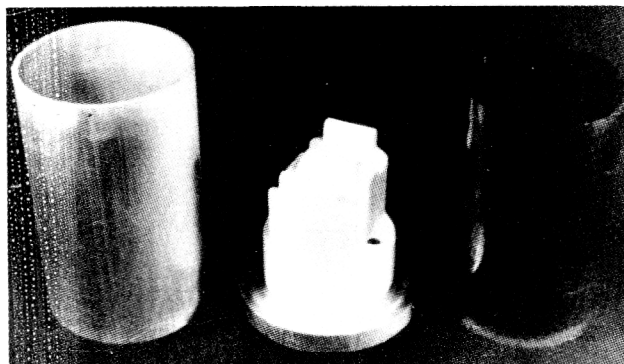


Bild 3
Zweiteilige Gießform für das Kolbenunterteil und ausgehärteter Rohling



Bild 4
Modell des Kolbenunter- und Kolbenoberteils

Der Rohling für das Kolbenoberteil wird im Block abgegossen und anschließend mechanisch bearbeitet. Das fertig bearbeitete Kolbenoberteil ist gemeinsam mit dem Kolbenunterteil in Bild 4 dargestellt.

Zusammen mit dem Kolbenunterteil wird zur Bestimmung der Kalibrierkurve ein Stab abgegossen, aus dem 10 Kalibrierstifte durch mechanisches Bearbeiten gefertigt werden.

Vor dem Abgießen werden die Gießformen in einem Trockenschrank auf Gießtemperatur und Epoxidharz und Härter auf einer in einem Abzug befindlichen Heizplatte auf Schmelztemperatur (Bild 2) erwärmt. Nach Erreichen der Mischtemperatur werden Harz und Härter intensiv vermischt und vergossen. Der anschließende Härte- und Abkühlvorgang erfolgt in einem Wärmeschrank vom Typ WS 983 (Hersteller: MLW Labortechnik Ilmenau). Das Einregeln der Temperatur geschieht von Hand.

Die mechanische Bearbeitung erfolgt mit hartmetallbestückten Werkzeugen bei relativ hohen Schnittgeschwindigkeiten und geringen Vorschüben und Spanntiefen.

4.2. Versuchsaufbau

Zur Aufbringung der Modellkraft auf das Kolbenmodell wird eine Belastungsvorrichtung geschaffen, deren prinzipieller Aufbau in Bild 5 dargestellt ist. Die nach diesem Prinzip ausgeführte Vorrichtung ist in Bild 6 enthalten. Das Hauptbauteil dieser Vorrichtung ist der Radialbelastungszyylinder, der den Kontaktpartner des Kolbenmodells bildet. (Bild 7). Dieser aus Aluminium bestehende Belastungszyylinder wird mit einer Vielzahl gleichmäßig verteilter und radial angeordneter Bohrungen von 7 mm Durchmesser versehen.

Für den Durchmesser des Modells wird ein Maß von 100 mm gewählt.

Das Spiel zwischen Kolbenoberteilmodell und Belastungszyylinder wird gegenüber dem Kolbenunterteilmodell um 0,5 mm größer gewählt, um einen Kontakt mit dem Belastungszyylinder zu vermeiden. Dies ist notwendig, da die Hauptausführung analog gestaltet ist.

Das Spiel zwischen Kolbenunterteilmodell und Belastungszyylinder wird so groß ausgeführt, daß sich im er-

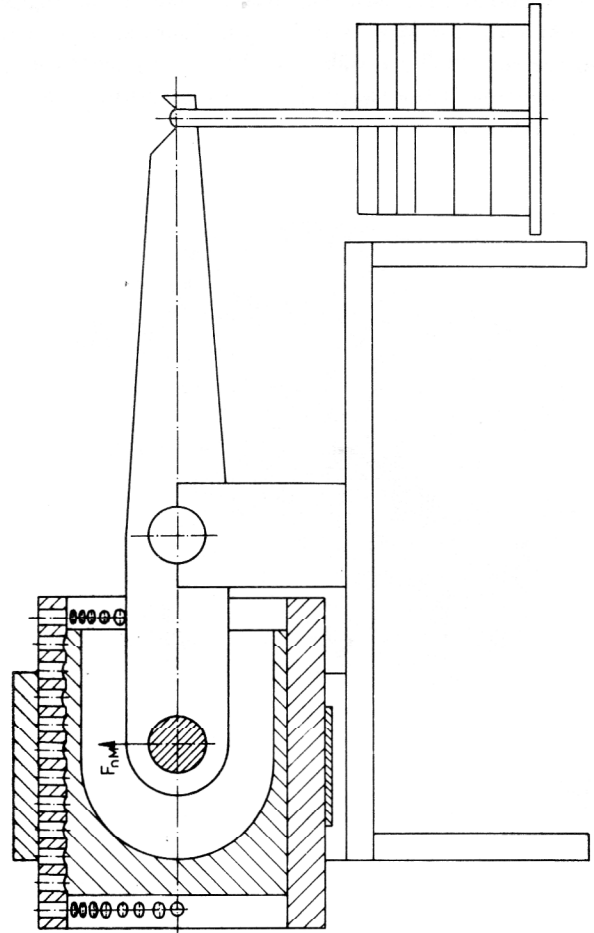


Bild 5
Schnitt durch die Belastungsvorrichtung zur Aufbringung der Normalkraft

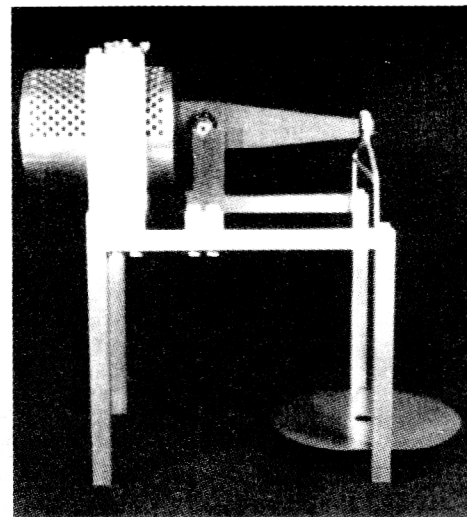


Bild 6
Nach Bild 5 ausgeführte Belastungsvorrichtung

wärmten Zustand der Vorrichtung ein Spiel von Null einstellt.

Für die Ermittlung der Kalibrierkurve wird die Ein-Loch-Kalibriervorrichtung gewählt (Bild 8). Sie nimmt alle

10 Kalibrierstifte auf. Für das kleinste Belastungsgewicht wird eine Masse von 100 g und für das größte eine solche von 2800 g gewählt. Die Festlegung der Masse für die anderen Belastungsgewichte erfolgt mittels einer linearen Stufung.

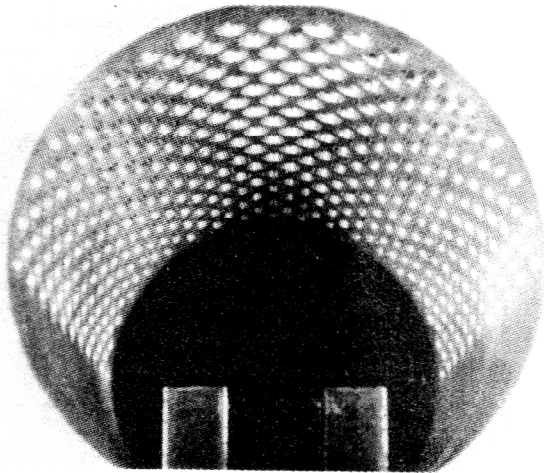


Bild 7
Belastungszyylinder mit radial angeordneten Bohrungen

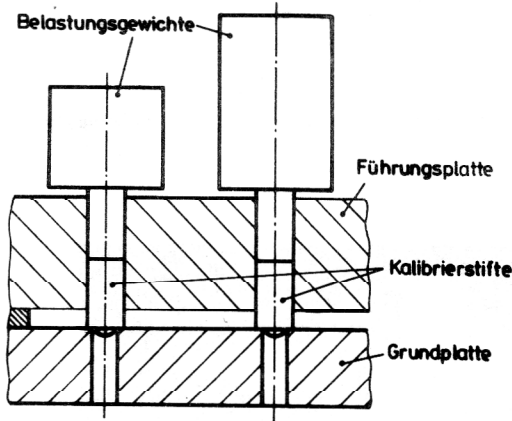


Bild 8
Schnitt durch Elemente der Kalibriervorrichtung

4.3. Versuchsdurchführung

Ähnlich wie beim spannungsoptischen Einfrierverfahren bereitet auch beim neuen Verfahren zur Ermittlung von Pressungen die Bestimmung der Belastungsgröße Schwierigkeiten. Während beim spannungsoptischen Einfrierverfahren die zulässige Isochromatenzahl des gewählten Modellwerkstoffes nicht überschritten werden darf, gilt es beim neuen Pressungsverfahren, eine bestimmte Erhebungshöhe nicht zu überschreiten. Die Einhaltung der maximalen Erhebungshöhe ist für die Demontage des Modells nach dem Einfriervorgang notwendig. Der Durchmesser des Kolbenmodells einschließlich seiner Erhebungen muß bei Raumtemperatur kleiner sein als der Innendurchmesser des Belastungszyinders. Anderen-

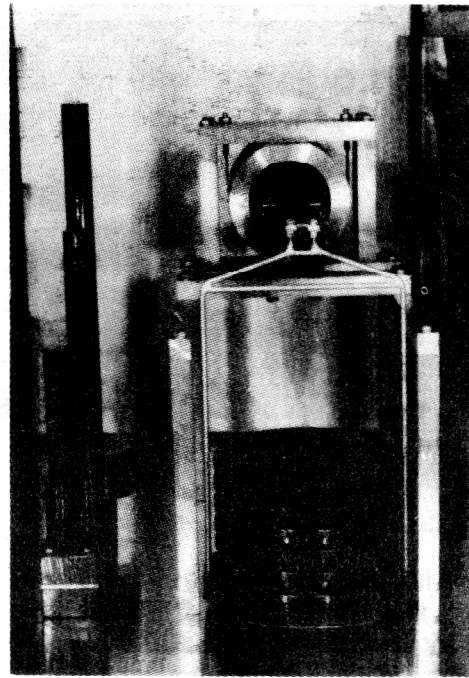


Bild 9
Zum Einfriervorgang vorbereitete Belastungsvorrichtung und Kalibriervorrichtung im Trockenschrank

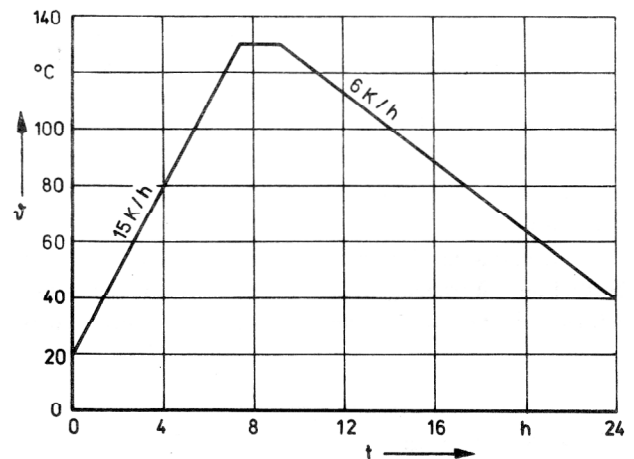


Bild 10
Temperaturverlauf beim Einfriervorgang

falls müßte der Belastungszyylinder mehrteilig ausgeführt oder das Modell unter Raumtemperatur abgekühlt werden.

Auf der Grundlage von Vorversuchen wird für den Test eine Belastung von $F_{nM} = 784,8 \text{ N}$ gewählt.

Zur Durchführung des Einfriervorganges wird ein Trockenschrank mit Luftumwälzung vom Typ RE 60-1 verwendet (Bild 9) (Hersteller: VEB Industrieofenbau Egeln). Parallel zum Hauptversuch wird der Kalibrier-versuch gefahren. Die Steuerung des Temperaturverlaufs wird mit einem Zeitplansollwertgeber vom Typ ZSG 1820 (Hersteller: Meßgerätewerk Erich Weinert Magdeburg) vorgenommen. Als Temperaturverlauf wird der im Bild 10 dargestellte Verlauf gewählt. Die langsamen Auf-

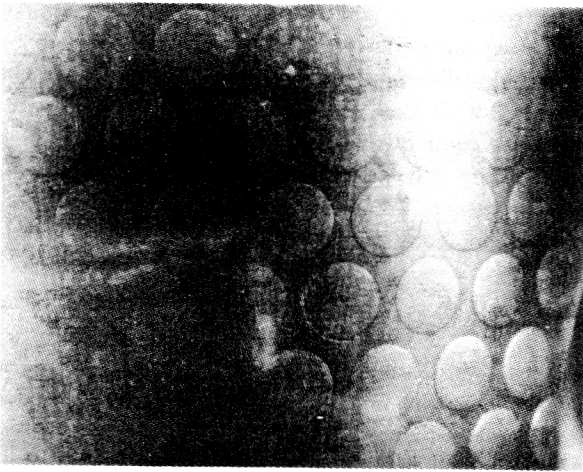


Bild 11
Oberfläche des Kolbenmodells nach dem Einfriervorgang

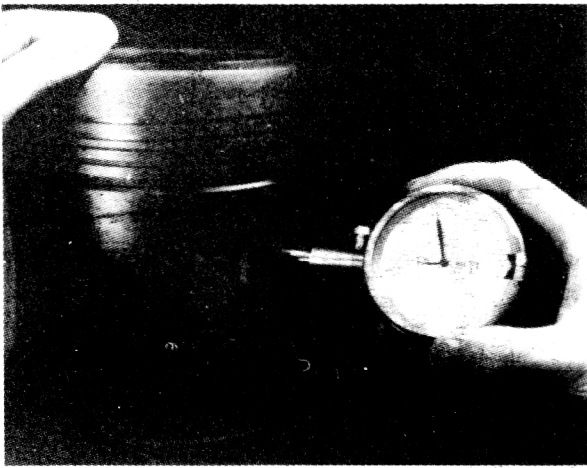


Bild 12
Vermessung der Erhebungshöhen mittels einer Meßuhr (Skalenteilung 0,001 mm)

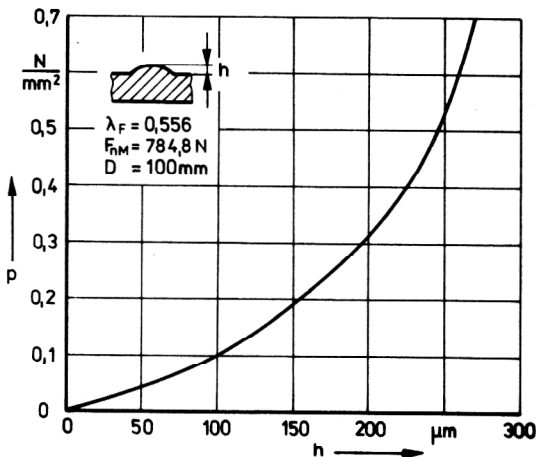


Bild 13
Kalibrierkurve

heiz- und Abkühlgeschwindigkeiten von 15 K/h bzw. 6 K/h dienen zur Vermeidung von thermischen Spannungen im Modell.

Nach Abschluß des Einfriervorganges erfolgt die Demontage des Modells. Die belastete Gleitbahnoberfläche zeigt sich dann mit den eingefrorenen Erhebungen (Bild 11). Das Vermessen der Erhebungen geschieht mit einer Meßuhr (Skalenteilung 0,001 mm) in Verbindung mit einer Hülse, die auf den unverformten Grund der Gleitbahnoberfläche aufgesetzt wird (Bild 12). Analog erfolgt das Vermessen der Erhebungen an den Kalibrierstiften. Die Kalibrierkurve ist in Bild 13 enthalten. Sie liefert den Zusammenhang zwischen Erhebungshöhe und Flächenpressung.

4.4. Ergebnisse

In Bild 14 sind für das untersuchte Kolbenmodell auf dem Mantel des Kolbenschaftes die Flächenpressungen aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß der Kolbenschaft äußerst ungleichförmig ausgelastet ist. Besonderes Interesse erwecken hierbei die Pressungen an den Orten des größten auftretenden Verschleißes (in der Nähe der Kolbenbolzennaben). Die Pressungen weisen dort maximale Werte auf (Bild 14, Schnitt B – B). Bisher sagte die Literatur aus [13], daß sich zwischen Kolben und Zylinder in Umfangsrichtung ein sinusförmiger Pressungsverlauf ausbildet.

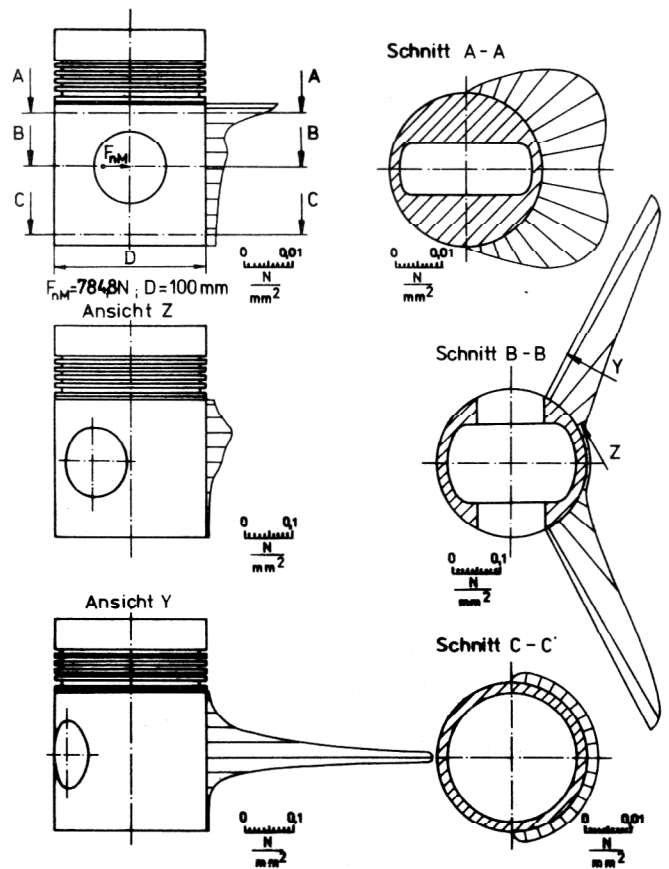


Bild 14
Pressungsverläufe am Schaft des Kolbenmodells

Es kann somit eingeschätzt werden, daß das neue Verfahren eine gute qualitative Übereinstimmung zwischen Verschleiß- und Pressungsverhalten liefert. Inwieweit eine quantitative Bewertung der gemessenen Pressungen möglich ist, soll im nachfolgenden Abschnitt ermittelt werden.

4.5. Abschätzung des relativen systematischen Fehlers für das neue Verfahren auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Testmessung

Eine unmittelbare Erfassung der tatsächlichen (wahren) Größe der Pressung an einer beliebigen Stelle der Kontaktfläche ist nicht gegeben. Der tatsächliche Pressungswert ist grundsätzlich nicht bekannt und läßt sich auch nicht ermitteln [14].

Es ist jedoch auf der Grundlage der ermittelten Pressungen möglich, diejenigen Komponenten zu erfassen, die in Richtung der Normalkraft wirken. Die Summe der Pressungskomponenten liefert dann die Normalkraft F_n^* . Der relative systematische Fehler kann sodann aus der Beziehung

$$e = \frac{F_n^* - F_{nM}}{F_{nM}} \quad (6)$$

ermittelt werden, wobei F_{nM} die eingeleitete Normalkraft am Modell darstellt. Zur Erfassung der Normalkraft F_n^* werden auf der Grundlage der Pressungen nach Bild 14 die jeweils konstanten Pressungswerte (Isobaren) in die abgewinkelte Kontaktfläche übertragen. Danach wird die Fläche in zum Teil unterschiedlich breite (im vorliegenden Fall in 23) Teilbereiche zerlegt und für jeden Teilbereich die jeweilige Pressung in Richtung der Kolbenlängsachse als konstant angesehen. Anschließend werden zeichnerisch die in Richtung der Normalkraft wirkenden Pressungskomponenten ermittelt. Durch Ausplanimetrieren der durch die Pressungskomponenten gebildeten Fläche wird unter Berücksichtigung der Teilbereichsbreite die Teilnormalkraft F_{ni}^* bestimmt. Die Summe aller Teilnormalkräfte liefert die Normalkraft

$$F_n^* = \sum_{i=1}^n F_{ni}^* \quad (7)$$

Mittels Gleichung (7) ergibt sich für das untersuchte Kolbenmodell eine Normalkraft $F_n^* = 657,7$ N. Mit der Modellkraft von $F_{nM} = 784,8$ N und Gleichung (6) erhält der relative systematische Fehler schließlich eine Größe von

$$e = \frac{657,7 - 784,8}{784,8} \cdot 100 = -16,2\%$$

In diesem Wert sind die zufälligen Fehler mit enthalten. Durch die sorgfältige Ausführung der einzelnen Arbeitsgänge bei der Versuchsdurchführung und der Erfassung der Normalkraft F_n^* kann jedoch die Beeinflussung des ermittelten Wertes durch diese Fehler als klein angesehen werden, so daß eingeschätzt werden kann, daß der relative systematische Fehler des neuen Verfahrens etwa dem der räumlichen Spannungsoptik entspricht, die gleiche Modelle verwendet.

Es kann weiter eingeschätzt werden, daß die Beeinflussung des relativen systematischen Fehlers im wesentlichen durch die Querkontraktionszahl ν erfolgt, die für

die verwendeten Werkstoffe der Hauptausführung eine Größe von $\nu = 0,3$ und für die Werkstoffe der Modellausführung eine Größe von $\nu = 0,5$ aufweist.

Für ein Modellverfahren kann der ermittelte Fehler von $e = -16,2\%$ als klein angesehen werden.

Neben der guten qualitativen Übereinstimmung der Pressungsverläufe mit dem Verschleißverhalten haben die mit dem neuen Verfahren gewonnenen Ergebnisse somit auch eine hohe quantitative Aussagekraft.

5. Vorteile des neuen Verfahrens

Das neue Verfahren zur experimentellen Lösung von Kontaktproblemen an gekrümmten Flächen verfügt über folgende wesentliche Vorteile:

- Es stellt ein Modellverfahren dar und kann bereits in der Entwicklungsphase der Bauteile angewendet werden.
- Es können die Modelle der räumlichen Spannungsoptik verwendet werden.
- Es können Einrichtungen der räumlichen Spannungsoptik, insbesondere zur Herstellung und zum Einfrieren der Modelle, genutzt werden (Vorrichtungen zum Abgießen der Modelle, Trockenofen einschließlich Temperatursteuereinrichtung).
- Die Kalibrierkurve besitzt einen günstigen Verlauf, d. h., bei kleinen Flächenpressungen ergeben sich relativ große und daher gut ausmeßbare Erhebungen.
- Der erforderliche Meß- und Auswerteaufwand ist gering.
- Die Meßgenauigkeit ist für ein Modellverfahren hoch.
- Es ist auch zur Ermittlung von Pressungen an ebenen Kontaktflächen geeignet.

6. Zusammenfassung

Das neue Verfahren zur Lösung von Kontaktproblemen an gekrümmten Flächen liefert praktisch brauchbare Ergebnisse. Es stellt ein Modellverfahren dar und kann bereits in der Entwicklungsphase des Bauteiles und im Zusammenhang mit der räumlichen Spannungsoptik eingesetzt werden. Darüber hinaus eignet es sich besonders für Varianten- und Parameteruntersuchungen. Derartige Arbeiten, die im vorliegenden Beitrag nicht näher beschrieben sind, wurden bereits an Kolben für Verbrennungsmotoren ausgeführt. Die bisher an der Hauptausführung gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die Ergebnisse aus den Modelluntersuchungen.

LITERATUR

- [1] Stadelmann, W.: Das Bleiklötzchenverfahren. Werkstatt und Betrieb 101 (1968) 11, S. 665 – 669.
- [2] Mickel, E. u. W. Stadelmann: Die Zylinderkopfdichtung am wassergekühlten Fahrzeugmotor (Teil 2). Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) 60 (1958) 1, S. 13 – 19.
- [3] Stadelmann, W.: Zylinderkopfdichtung für Verbrennungsmotoren. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 23 (1962) 5, S. 163 – 165.
- [4] Teucher, S.: Flachdichtungen im Motor- und Fahrzeugbau. Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) 65 (1963) 3, S. 80 – 84.

- [5] Schäfer, R.: Verfahren zur Bestimmung der Pressungsverteilung zwischen verspannten Flächen. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 31 (1970) 9, S. 391 – 394.
- [6] Klüsener, O.: Motoren auf der Hannover-Messe 1966. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 27 (1966) 8, S. 305 – 321.
- [7] Andreev, G. J. i I. I. Shatko: Raspredelenie kontaktnych davlenij v naprjazennyh posadkych. Vestnik Mashinostroeniya 47 (1967) 5, S. 36 – 38.
- [8] Schmidt, H.: Untersuchungen der Fließzonenbildung und des mechanischen Langzeitverhaltens von thermoplastischen Kunststoffen bei ein- und zweiachsig wirkenden Zugspannungen. Diss. D 82, RWTH Aachen 1970.
- [9] Menges, G. u. F. Overath: Eigenschaftsbild der Kunststoffe unter thermischer Beanspruchung. VDI-Berichte 302 (1977), S. 59 – 70.
- [10] KS – Technisches Handbuch. Karl Schmidt GmbH Neckarsulm, Ausgabe 1967.
- [11] Ullmann, K.: Herstellung und Untersuchung räumlich komplizierter Modelle mit dem Erstarrungsverfahren. In: Vorträge zum Problemseminar „Experimentelle Spannungs- und Verformungsermittlung“, TU Dresden, Heft 4/76 S. 37 – 51.
- [12] Heymann, J.; J. Naumann u. K. Ullmann: Experimentelle Spannungsanalyse hochbelasteter Maschinenbauelemente. Technische Mechanik 2 (1981) 1, S. 19 – 26.
- [12] Popyk, K. G.: Konstruirovanie i rascet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej. Moskva: Jzdatel'stvo „Wysshaja Shkola“, 1973.
- [13] Hart, H.: Einführung in die Meßtechnik, Berlin: VEB Verlag Technik, 1977.

*Verlag für Wissenschaft und Technik
 Dr. Ing. Günter Hertz
 Technische Hochschule „Otto von Guericke“
 Fakultät Maschinenbau, Pumpen und Verdichter
 3010 Magdeburg
 Postfach 124*