

Kolbenringe

Von Dr.-Ing. Carl ENGLISCH, Frankfurt a. M.

Nach Umreißen der für den Kolbenring gegebenen Aufgaben wird in die Theorie der selbstspannenden Kolbenringe eingegangen. Abdichtverhalten und Druckverhältnisse innerhalb der Kolbenring-Dichtung werden angegeben und die Arbeits- und Bewegungsverhältnisse der Kolbenringe besprochen.

Aus den dem Flugmotor-Kolbenring gestellten Aufgaben ergeben sich bestimmte Anforderungen an den Kolbenring-Werkstoff. Da heute für die Herstellung fast ausschließlich Grauguß in Frage kommt, wird dieser Werkstoff besonders berücksichtigt, und es werden die Anforderungen, die an dessen Gefügeausbildung und elastische Eigenschaften zu stellen sind, besprochen. Die Herstellungsverfahren für Grauguß-Kolbenringe werden kurz gestreift.

Da das Einlaufen hochwertiger Kolbenringe, insbesondere im Stahlzylinder und noch mehr in den Zylindern mit hochharter Lauffläche u. U. Schwierigkeiten bereiten kann, werden die das Einlaufverhalten verbessernden Oberflächenbehandlungsverfahren geschildert und die Eignung bestimmter Verfahren für die verschiedenen Zylinderwerkstoffe angegeben.

Eine Übersicht über die im Flugmotorenbau üblichen Ring-Profile soll es dem Konstrukteur erleichtern, das richtige Profil für einen gegebenen Fall herauszugreifen und die zutreffende Form der Stoßausbildung zu wählen. Richtlinien für die Bemessung der Ringhöhe sowie für die Höhe des radialen Anpreßdruckes werden gegeben, sowie auch auf die Bedeutung der Verteilung des Anpreßdruckes über den Ringumfang hingewiesen.

Ferner werden Richtlinien für die richtige Durchbildung der Kolbenringdichtung angegeben, um den Schmierölverbrauch der Maschine auf der für einen einwandfreien Betrieb erforderlichen Höhe zu halten. Nach kurzem Überblick über das Betriebsverhalten der Kolbenringe im Flugmotor, wobei besonders auch Erscheinungen des Ringverschleißes und des Spannungsabfalles gewürdigt werden, wird schließlich eine Anleitung für das Prüfen von Kolbenringen gegeben.

- | | |
|--|---|
| <p>I. Aufgaben der Kolbenringe</p> <p>II. Selbstspannende Kolbenringe</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Wirkungsweise 2. Druckverhältnisse in Kolbenring-Dichtungen 3. Gasdurchtritt durch Kolbenring-Dichtungen 4. Bewegungsverhältnisse selbstspannender Kolbenringe 5. Flattern der Ringe <p>III. Kolbenring-Werkstoffe</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grauguß <ol style="list-style-type: none"> a) Gefügeausbildung b) Zusammensetzung des Kolbenringgußeisens c) Physikalische Eigenschaften von Kolbenringgußeisen 2. Sonstige Werkstoffe <p>IV. Herstellung von Kolbenringen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gießverfahren 2. Verfahren der Spannungsverteilung <p>V. Oberflächenbehandlung von Kolbenringen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Auflockerungsverfahren 2. Nichtmetallische Überzüge | <ol style="list-style-type: none"> 3. Metallische Überzüge 4. Chemische oder gefügemäßige Veränderung der Ringoberflächen <p>VI. Wahl des Kolbenring-Profiles. Wahl des Anpreßdruckes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ringprofil 2. Anpreßdruck 3. Ausführungsformen der Kolbenringe 4. Ausbildung des Ringstoßes <p>VII. Schmierölverbrauch und Kolbenringe</p> <p>VIII. Betriebsverhalten der Kolbenringe</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Einbau und Ausbau von Kolbenringen 2. Einlaufen der Ringe 3. Verschleiß der Kolbenringe 4. Spannungshaltung der Ringe 5. Das Ringstecken <p>IX. Prüfung von Kolbenringen</p> |
|--|---|

Schrifttum

Kolbenringe

I. Aufgaben der Kolbenringe

Kolbenringe für Verbrennungskraftmaschinen haben folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Gemeinsam mit dem Kolben: möglichst vollkommenes Abdichten des Verbrennungsraumes gegen den Kurbelraum, bzw. Abdichten des Raumes an der Kolbenoberseite gegen jenen an der Kolbenunterseite.
- Regelung des Ölverbrauches. Auf den Ölverbrauch nehmen Ausbildungsform und Spannung der Ringe, und zwar sowohl der Kompressions-Ringe als auch der Öl-Ringe, ferner die Bemessung und Gestaltung der Ringnuten und der Ringstege gemeinsam Einfluss.
- Abfuhr der vom Kolben aufgenommenen Wärme an die Zylinderwandung und damit zum Kühlmittel. Bei Kolben, ohne künstliche Kühlung nimmt der größte Teil der erwähnten Wärmemenge diesen Weg, während die vom Kolbenschaft an den Zylinder abgeführte Wärmemenge gering ist.

Je nachdem, ob die elastischen Eigenschaften des Kolbenringes selbst zur Erzeugung des für seine richtige Funktion notwendigen Anpreßdruckes ausgenutzt oder ob hierzu eigene federnde Bauteile verwendet werden, unterscheidet man:

— selbstspannende Kolbenringe und

— Kolbenringe mit Stützfedern.

Im Flugmotorenbau kommen heute fast ausschließlich nur die ersteren zur Verwendung.

II. Selbstspannende Kolbenringe

1. Wirkungsweise

Der Kolbenring kann nur dann richtig abdichten, wenn

- wenigstens eine geschlossene Linienberührung zwischen Kolbenringtauffläche und Zylinderlauffläche besteht,
- keine der beiden Kolbenringflanken gasdicht an der entsprechenden Nutenflanke des Kolbens anliegt. Ein Gasdurchtritt kann bei vollkommener Erfüllung dieser Bedingungen nur an den Ringstoffstellen erfolgen.

Unvollkommenheiten in der Ausführung von Ringen und Zylindern, Verformungen unter dem Einfluss der auftretenden Kräfte und Temperaturen, sowie die Bewegungsverhältnisse des Kolbens, vor allem das Kolbenkippen, bewirken, daß überdies zusätzliche, wenn auch kleine Querschnitte, am Ringumfang freigegeben werden.

2. Druckverhältnisse in Kolbenring-Dichtungen

([1, 2, 3, 4])

Der jeweils im Verbrennungsraum herrschende Druck pflanzt sich in die Räume zwischen und hinter den Kolbenringen fort (vgl. Bild 1. Räume A, B und I, II, III).

Höhe und zeitlicher Verlauf des Druckes in diesen Räumen hängt vom Druckverlauf im Zylinder, von der Drehzahl und den Querschnitts- und Volumen-Verhältnissen an der Ringdichtung ab. Bild 2 gibt als Beispiel die Verhältnisse für einen bestimmten Fall wieder.

Für den Druckverlauf innerhalb der Ringdichtung gelten folgende Regeln:

Die Drücke hinter den Ringen sind um so niedriger und die Phasenverschiebung im Druckverlauf gegenüber jenem im Verbrennungsraum ist um so größer: je höher die Maschinendrehzahl ist, je kleiner die Durchflußquerschnitte an den Ringen (Ringsteife, un-

vollkommenes Anliegen der Laufflächen an der Zylinderwandung usw.) sind, je größer die Volumina V der Räume hinter und zwischen den Ringen sind.

Der Einfluß der Ringzahl äußert sich dahin, daß die Drücke um so niedriger werden und die Phasenverschiebung im Druckverlauf um so mehr zunimmt.

Je größer die Ringzahl zwischen dem eben betrachteten Ring und dem 1. Verbrennungsraum, und schließlich je kleiner die Ringzahl unterhalb des betrachteten Ringes ist.

Bei hohen Drehzahlen — und insbesondere bei Zweitaktmaschinen — ist es möglich, daß die Überdrücke hinter den Ringen zu Ende des Arbeitsspiels nicht verschwinden; vielmehr können hier mehr oder weniger beträchtliche Drücke erhalten bleiben, so daß die untersten Ringe dauernd mit fast gleichbleibendem Druck an der Zylinderwandung anliegen.

Die Höhe des Druckes hinter dem 1. Ring, bzw. die Phasenverschiebung im Druckverlauf im Raum hinter diesem, hängt von der Höhenlage dieses Ringes im Kolben und vom Spiel der obersten Kolbenpartie im Zylinder, ferner auch von der Drehzahl ab.

Im allgemeinen kann angenommen werden, daß der Druck hinter dem 1. Ring (Raum I, Bild 1) jenem im Verbrennungsraum nahezu gleichkommt. Sehr hohe Drehzahlen und sehr lange Kolbenoberteile setzen aber auch hier den Druck herab, besonders wenn die Drucksteigerung im Verbrennungsraum sehr rasch erfolgt und das axiale Ringspiel in der Nut sehr gering ist.

Bedeutend weiter wird der Druck hinter dem 1. Ring herabgesetzt, wenn vor dem obersten selbstspannenden Kolbenring ein Drossel- oder ein Feuerling liegt.

3. Gasdurchtritt durch die Kolbenring-Dichtungen

([1, 2, 3, 4, 5])

Durch jede aus selbstspannenden Kolbenringen aufgebaute Ringdichtung muß ein Gasdurchtritt erfolgen; die Höhe dieses Gasverlustes wird beeinflusst:

- durch die Größe der offenen Durchflußquerschnitte. Der freie Querschnitt an der Stoffstelle ist dem Produkt aus Stößspiel und Kolbenspiel (beide bei Betriebswärme gemessen) proportional. Tatsächlich ist der Gasverlust an der Stoffstelle sehr gering, daher ist ein überangestrichenes Einhalten allzu knapper Stößspiele ungeredtfertigt;
- durch die Anzahl der dichtenden Ringe: Größere Ringzahl vermindert den Gasdurchtritt, doch wird die Abdichtwirkung nicht der Ringzahl

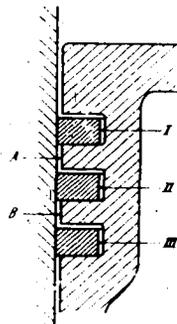


Bild 1 Bezeichnung der Räume innerhalb der Kolbenringdichtung

*) S. Schrifttum.

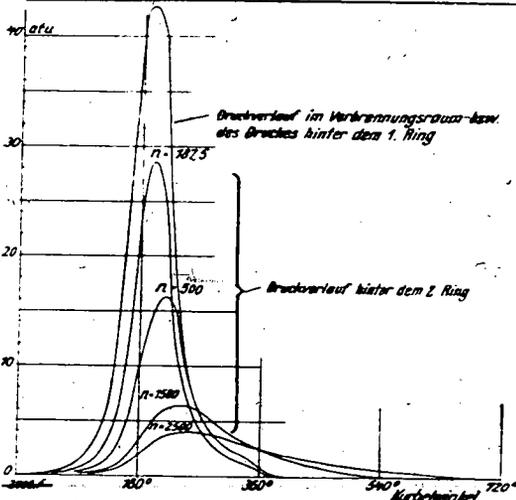


Bild 2a Drücke hinter den Kolbenringen
Einfluß der Drehzahl bei gleichbleibendem Durchtritts-
querschnitt,
 $f = 0,25 \text{ mm}^2$
 $V = 1350 \text{ mm}^3$
2 dichtende Ringe.

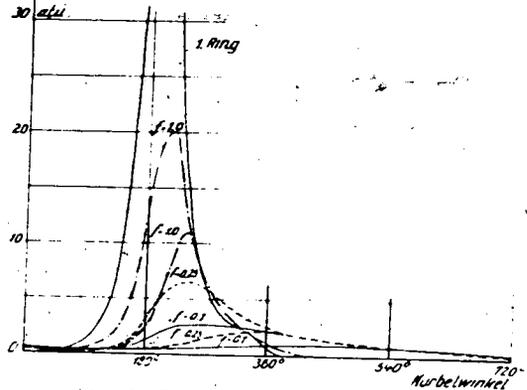


Bild 2b Drücke hinter den Kolbenringen
Einfluß der Größe von f bei gleichbleibender Drehzahl
 $n = 1500 \text{ Uml./min}$; $V = 1350 \text{ mm}^3$; 3 dichtende Ringe
Druck hinter dem 2. Ring

—	$f = 0,10 \text{ mm}^2$	{	"	"	"	3	..
- - -	$f = 0,25 \text{ ..}$	{	"	"	"	2	..
---	$f = 1,00 \text{ ..}$	{	"	"	"	2	..
----		{	"	"	"	3	..

Bild 2c (rechts) Drücke hinter dem 1. Kolbenring
Einfluß der Größe des Volumens V bei verschiedenen
Durchtrittsquerschnitten $f = 1,0; 0,5; 0,1 \text{ u. } 0,05 \text{ mm}^2$
— $V = 1350 \text{ mm}^3$
- - - $V = 800 \text{ mm}^3$
2 dichtende Ringe.

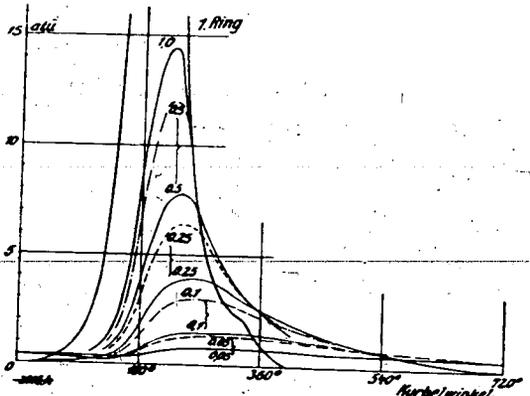


Bild 2 Beispiele für den Druckverlauf in Kolbenringdichtungen

Dem Bild liegen folgende Annahmen zugrunde:
Einfachwirkende Viertaktmaschine.

Druckverlauf im Zylinder nach Bild 2 a.

Druck hinter dem 1. Ring = Druck im Zylinder.

- f ... Durchflußquerschnitt an den Ringen (für alle Ringe gleich groß angenommen).
- V ... Volumen der Räume hinter und zwischen den Ringen ($V = A + II = B + III$, Bild 1).
- Zylinderdurchmesser 100 mm.

entsprechend verbessert. Übermäßig hohe Ringzahlen sind daher unzuweckmäßig. Bild 3 gibt beispielsweise die Wirkung erhöhter Ringzahler wieder:

- c) von der Art des Druckverlaufes im Verbrennungsraum. Mit zunehmenden Drücken steigt der Gasverlust mehr als verhältnismäßig an. — Der Gasverlust ist daher auch von der Belastung der Maschine abhängig;
- d) von der Temperatur der Zylinderwandung und des Kolbens, da durch diese beiden das radiale Kolbenpiel beeinflusst wird, ferner von der Temperatur

des Schmieröls und von dessen Zähigkeit, sowie von der in den Zylinder gelangenden Schmierölmenge;

e) von der Lage der Ringstöße relativ zum Kolben, von der Kolbenringform sowie von der Größe der Kippbewegung, die der Kolben ausführen kann.

Der Gasverlust ist praktisch unabhängig von der Maschinendrehzahl. Dies gilt nur, solange kein „Flat-tern“ der Ringe eintritt.

Die Größe des Gasdurchtrittes ist bei übereinstimmenden Druckverläufen in den Zylindern für geometrisch und konstruktiv ähnlich gestaltete Ringdichtungen den Quadraten der Zylinderdurchmesser ungefähr

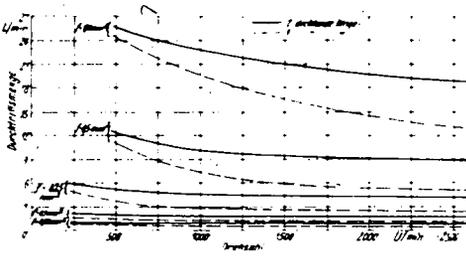


Bild 3a Gasdurchtrittsmengen in lit/min. abhängig von der Drehzahl

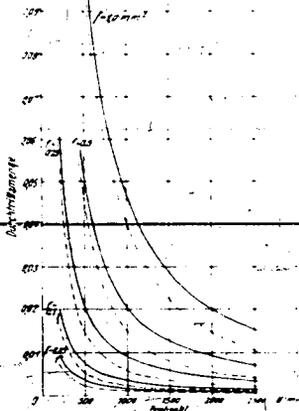


Bild 3b Gasdurchtrittsmengen in lit. je Arbeitsspiel, abhängig von der Drehzahl

Bild 3 Gasdurchtrittsmengen durch Kolbenringdichtungen. Dem Bild liegt dasselbe Arbeitsdiagramm zugrunde wie dem Bild 2. Zylinderdurchmesser 100 mm

verhältig. Dies trifft auch bei ziemlich weit auseinanderliegenden Hubverhältnissen der verglichenen Maschinen zu. Bild 4 zeigt die stündlich zu erwartenden Gasverlustmengen in Litern je Minute in Abhängigkeit von Zylinderdurchmesser und Zylinderzahl unter Zugrundelegung von 3 bzw. 4 dichtenden Kolbenringen je Kolben unter günstigen Verhältnissen.

Auch bei vollkommen gleichbleibenden Belastungsverhältnissen und stationärem Temperaturzustand schwankt der Gasdurchtritt — in erster Linie infolge des Ringwanderns — dauernd; dies ist bei Mehrzylindern weniger auffallend, tritt aber bei Einzylindern stark in Erscheinung; bei den ersteren gleichen sich die in den einzelnen Zylindern auftretenden Verschiedenheiten im allgemeinen ziemlich aus. Sind die Kolbenringe gegen Wandern gesichert, so sind die zeitlichen Schwankungen im Gasdurchlaß wesentlich geringer.

Die Messung der aus dem Kurbelraum durchtretenden Gas mengen erfolgt mittels Gasuhren oder anderer Meßgeräte (z. B. mit dem von der DVL entwickelten Staurandmeßgerät), die an den im übrigen sorgfältig abzudichtenden Kurbelraum angeschlossen werden.

4. Bewegungsverhältnisse selbstspannender Kolbenringe
[6. 7. 8. 9. 10. 11. 12]

Je nach der Gestaltung des Triebwerkes mit oder ohne Kreuzkopfführung sind die Bewegungsverhält-

nisse der Ringe im Kolben und des Kolbens im Zylinder verschieden. Im ersteren Falle werden die Ringe beim Hin- und Hergang des Kolbens im Zylinder planparallel verschoben; bei Tauchkolben müssen sie der Kippbewegung des Kolbens folgen. Dabei müssen sich die Ringe im Zylinder ebenfalls etwas schrag stellen.

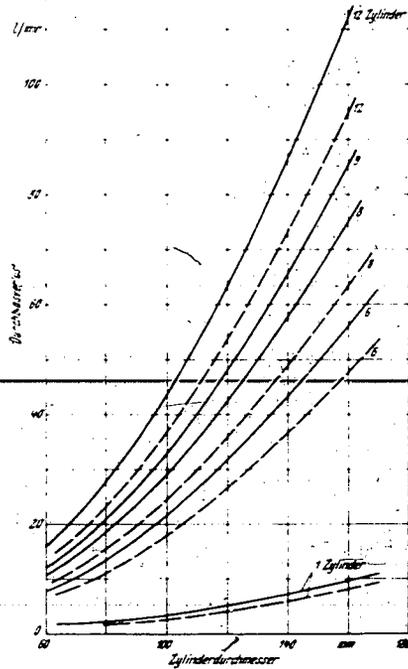


Bild 4 Durchblasverluste in lit/min bei hochverdichtenden Ottomotoren unter Vollast und unter günstigen Verhältnissen

3 dichtende Ringe 4 dichtende Ringe

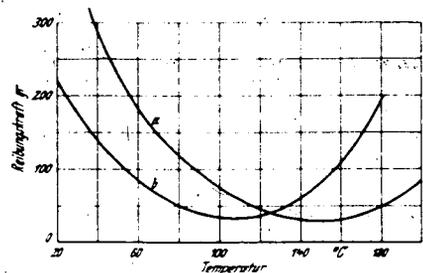


Bild 5 Reibungskräfte zwischen Kolbenring und Zylinderwerkstoffen

(Stillstehende Probe: Kolbenringwerkstoff, rotierende Probe: Zylinderwerkstoff; Prüfvorrichtung nach Dr. Koch. Prüffeld der Mahle Komm.-Ges.)

a Graugußkolbenring auf Graugußzylinder
b Stahlzylinder

Anpreßdruck: 60 kg/cm²;

Gleitgeschwindigkeit: 6,7 m sek⁻¹; geschmiert

ferner ist dadurch ein radiales Arbeiten der Ringe in ihren Nuten bedingt. Auch durch ungleichmäßige Temperaturverteilung im Zylinder oder ungleichen Verschleiß desselben wird ein radiales Atmen der Ringe in den Nuten bewirkt.

Bei einfach wirkenden Maschinen werden die oberen Ringe durch den Gasdruck im Bereich kleinerer oder mittlerer Drehzahlen dauernd mit ihrer Unterseite an die untere Flanke der Kolbenringnut gedrückt und bewirken dort den erforderlichen gasdichten Abschluß. Im Sinne eines Abhebens von den unteren Flanken wirken während gewisser Abschnitte der Kolbenbewegung bei jedem Arbeitsspiel die Massenkkräfte, sowie während des Abwärtsganges des Kolbens die Reibungskräfte am Kolbenringumfang, endlich der vom abgestreiften Schmieröl auf die Ringunterseite ausgeübte Druck.

Die Reibungszahl zwischen Ring und Zylinder schwankt - den örtlich verschiedenen Schmierverhältnissen im Zylinder entsprechend - über den ganzen Hub; zwischen Graugulfring und Graugulzzylinder würde sie für den eingelaufenen Zustand und unter Betriebsverhältnissen im Mittel zu $\mu = 0,02$ bestimmt. Es kann angenommen werden, daß bei niedrigeren Temperaturen der Reibungsbeiwert in Stahlzylindern etwa von gleicher Größenordnung oder etwas niedriger ist; bei höheren Temperaturen treten aber im Stahlzylinder höhere Reibungskräfte auf als im Graugulzzylinder (vgl. auch Bild 5). Kommt es zum Abheben der Kolbenringe während des Expansionshubes von der unteren Ringflanke, so werden die normalen Druck- und Abdichtungsverhältnisse innerhalb der Kolbenringdichtung erheblich gestört. Daher muß getrachtet werden, die Massenkkräfte durch Beschränken der Ringgewichte bzw. durch knappes Bemessen der axialen Ringhöhen, herabzusetzen. Für den obersten Ring kommen solche Beschränkungen offenbar erst bei sehr hohen Drehzahlen in Frage; für den 2. und 3. Ring sind sie aber durchaus schon im Bereich der normalen Drehzahlen am Platze (vgl. Bild 6).

Das Wandern der Ringe in den Nuten kommt zustande einerseits durch Abweichungen des Zylinders von der genauen Form des Rotationskörpers, und zwar sowohl infolge unregelmäßigen Verschleißes als auch infolge ungleichmäßiger Verformung in der Wärme, andererseits aber auch durch Abweichungen der tatsächlichen Kolbenbewegung gegenüber der theoretisch vorausgesetzten.

Freie Beweglichkeit des Kolbenringes in seiner Nut ist unbedingte Voraussetzung für seine richtige Funktion. Insbesondere sind gefährlich:

- a) Zu geringes Spiel im Kolbenringstift. Dieses kann im Betrieb infolge der gegenüber dem Zylinder höheren Temperatur der Ringe zum Verschwinden kommen und muß dann zum Fressen des Ringes führen.
- b) Unplane Nuten. Sie verhindern den gasdichten Abschluß an den Flanken und begünstigen, ebenso wie zu geringes axiales Spiel der Ringe, das Festsetzen der letzteren.

5. Flattern der Ringe [17, 18]

Bei hohen Drehzahlen tritt u.U. „Flattern“ der Ringe ein, d. i. ein Versagen des Abdichtverhaltens, das sich dadurch äußert, daß der Gasdurchlaß - von einer gewissen Maschinendrehzahl an - plötzlich einen scharfen Anstieg auf ein Vielfaches jenes Wertes aufweist, der unter ordnungsmäßigen Arbeitsbedingungen zu erwarten wäre; damit verbunden sind:

Abfall der Höchstleistung und raschere Verschlechterung des Schmieröls und starker Anstieg des Schmierölverbrauches; länger dauernder Betrieb mit flatternden Ringen führt zu Überhitzen und Trockenlaufen von Kolben und Ringen und zum Fressen dieser Teile.

Etwa beobachtete Flattererscheinungen lassen sich durch besser dichtende Ringe in das Gebiet höherer Drehzahlen verschieben und häufig bei ungeänderter Ringabmessung durch bloße Veränderung der Radialdruckkurve des Anpreßdruckes (siehe Seite) gänzlich beheben. Ungünstig verlaufende Radialdruckkurven vermehren die Neigung zum Flattern, insbesondere dann, wenn der Anpreßdruck an den Ringstößen nicht genügend hoch ist oder gar zu Null oder negativ wird.

Eingeleitet wird das Flattern durch Umstände, welche an der Ringaußenseite den vollen, im Verbrennungsraum herrschenden, Gasdruck zur Wirkung kommen lassen; insbesondere ist dies im Augenblick des Kolbenkippen möglich. Ist dann der Druck an der Kolbenringaußenseite größer als die Summe aus Ring-eigenspannung und Gasdruck in der Nut, so besteht die Möglichkeit, daß der Ring von der Zylinderwandung abgehoben und u. U. soweit zusammengedrückt werden kann, bis die Stößen des Ringes zum An-einanderschlagen kommen.

Da es zum wirksamen Abdichtungsverhalten eines Kolbenringes notwendig ist, daß der Ring dauernd an einer Flanke - und zwar im normalen Betrieb an der

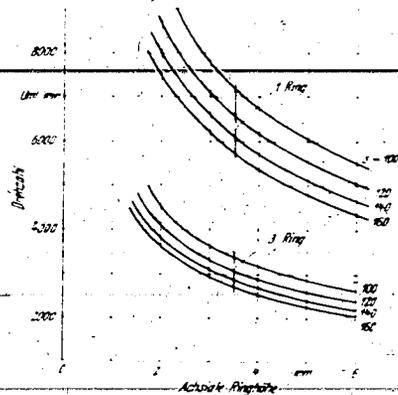


Bild 6. Grenzgeschwindigkeiten für Störungen am 1. u. 3. Ring, hervorgerufen durch Massenkkräfte. Einfluß der Ringhöhe und des Maschinenhubes S. Schubstangenverhältnis: $\lambda = 1,4$

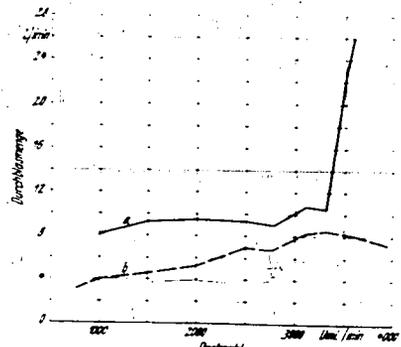


Bild 7. Ungestörte und durch Ringflattern gestörte Durchblaskurven a durch Ringflattern gestörte Durchblaskurve b ungestörte Durchblaskurve

unteren Flanke — abdichtet, kann das Flattern auch durch jene Umstände eingeleitet werden, die ein Abheben des Ringes von der unteren Nutenflanke begünstigen: Vor allem sind dies die Massenkräfte, sobald diese die Wirkung des von oben her auf dem Ring lastenden Gasdruckes übersteigen. Ferner wirkt in gleicher Weise der sich im Schmieröl unterhalb des Ringes einstellende Oldruck, falls dem von den Ringen abgestreiftes Öl nicht Gelegenheit gegeben wird, ungehindert abzufließen. In erster Linie sind dies die unterst gelegenen Ringe, die in ihrer Funktion zunächst durch die eben erwähnten Umstände gestört werden. Bild 7 gibt Beispiele einer ungestörten und einer durch Ringflattern gestörten charakteristischen Durchblaskurve.

III. Kolbenring-Werkstoffe

[7, 10, 19, 20, 21, 22, 23, 24]

Zwischen dem Kolbenring- und dem Zylinderwerkstoff müssen bei ungünstigen Schmierverhältnissen unter verhältnismäßig hohen spezifischen Flächen- drücken günstige Wechselwirkungen bestehen; es erfordert dies:

- a) günstiges Laufverhalten und
- b) günstiges Einlaufverhalten.

Letztere Eigenschaft kennzeichnet die Fähigkeit des Werkstoffes, nach etwa aufgetretenen Zerstörungen an der einmal gebildeten Lauffläche rasch von neuem eine glatte, spiegelnde Lauffläche, ähnlich der Tragfläche eines Lagers, ausbilden zu können, ohne daß es zu schädlichen Temperatursteigerungen kommt.

Günstiges Laufverhalten ist dann gegeben, wenn beim Aufeinandergleiten der Teile vermöge ihrer Ölaufnahmefähigkeit und selbstschmierenden Eigenschaften an jedem Punkt der Berührungsfächen Verhältnisse geschaffen werden, die bei geringer Reibung auch dementsprechend geringe Wärmeentwicklung zur Folge haben; die sog. Erefneigung muß völlig fehlen oder zumindest möglichst gering sein.

c) Gutes Einlaufverhalten in dem Sinn, daß neu eingebaute Kolbenringe rasch zu bestmöglichem Abdichten und zu normalem Ölverbrauch der Maschine führen.

d) Günstiges Verschleißverhalten. — Dabei muß nicht der Kolbenringwerkstoff an sich hochverschleißfest sein, vielmehr muß auch hier das gegenseitige Verhalten von Kolbenring- und Zylinderwerkstoff derart aufeinander abgestimmt werden, daß — bei einem Minimum des Summenverschleißes beider Teile — der Verschleiß der Kolbenringe verhältnismäßig stärker ist, so daß diese, als die leichter und wirtschaftlicher zu ersetzenden Teile, eher jenen Abnutzungsgrad erreichen, der einen Austausch verlangt, als die Zylinder.

Der Verschleiß des Kolbenringwerkstoffes darf nur durch Lostrennen mikroskopisch kleiner Teilchen vor sich gehen. Es dürfen weder größere Teile aus dem Ring, vor allem auch nicht aus der Lauffläche und aus den Kanten, ausbröckeln, noch dürfen bei der Verschleißbeanspruchung nennenswerte plastische Kaltverformungen, die zur Gratbildung führen, eintreten.

e) Genügende elastische Eigenschaften, um jenen Anpressdruck, der für ein richtiges Arbeiten der Kolbenringe notwendig ist, ohne zusätzliche Hilfsmittel zu erzielen.

f) Der Werkstoff muß genügend wärmebeständig und wärmefest sein, um die aufgezählten Eigenschaften unverändert und dauernd bei allen jenen Temperaturen beizubehalten, die der Kolbenring im Betrieb erlangen kann.

g) Der Werkstoff muß endlich gut bearbeitbar sein und die Herstellung dichter und glatter Oberflächen erlauben.

Heute wird zur Herstellung von Kolbenringen für Flugmotoren fast ausschließlich Grauguß verwendet.

Für wenige Sonderfälle kommen Stahl, Bronze oder Leichtmetall in Frage.

1. Grauguß

[16, 19, 20, 21, 22, 24]

Alle Eigenschaften des Graugusses werden maßgebend von der Art der Ausbildung des Graphits, dem kennzeichnendsten Gefügebestandteil dieses Werkstoffes, beeinflusst.

Durch Polieren der Oberfläche eines Graugußteiles wird der in der Grundmasse des Gußeisens eingebettete Graphit allmählich freigelegt, derart, daß die Gleitflächen der Graphitteilchen sich parallel zur Lauffläche anlagern; sie wirken dadurch als Schmierschicht, die auch ohne das Vorhandensein eines Schmiermittels das Eisen gegen Abrieb bis zu einem gewissen Grade schützt. Die Erefneigung dieses Werkstoffes ist deshalb sehr gering. Diese Eigenschaft des Graugusses begründet seine Oberlegenheit für die Verwendung als Kolbenringwerkstoff, wozu er sonst eigentlich recht ungeeignet ist; Grauguß ist spröde, hat geringe Festigkeitswerte und geringe Wärmeleitfähigkeit.

Wegen seiner überragenden Bedeutung ist der Grauguß als Kolbenringwerkstoff am weitesten entwickelt und das Betriebsverhalten desselben auch am besten geklärt worden.

Auf die Qualitäten des Graugußkolbenringes nimmt der Schmelzofen einzigen Einfluß; doch lassen sich aus allen für das Erhitzen von Grauguß gebräuchlichen Ofengattungen gute, allen normalerweise auftretenden Anforderungen genügende Ringe herstellen.

a) Gefügebildung

[7, 16, 19, 20, 22, 24].

Alle Eigenschaften des Graugusses werden durch seine Gefügebildung ausschlaggebend bestimmt.

Grauguß hat sich bekanntlich aus 3 Gefügebestandteilen auf:

In einer stahlähnlichen Grundmasse findet sich freier Kohlenstoff als Graphit in Form mehr oder weniger feiner Plättchen und Lamellen eingebettet; dazu kommt als dritter Gefügebestandteil das Phosphideutektikum (Eisen-Kohlenstoff-Phosphor).

In gutem Kolbenring-Gußeisen soll das Gefüge wie folgt ausgebildet sein:

- a) Graphit (vgl. Bild 8): In möglichst gleichmäßiger Verteilung als feiner, nicht zu langer Faden (z. B. Bild 8 d). Zu vermeiden ist der sog. eutektische Graphit (Bild 8 f), der stets schlechte Laufeigenschaften zur Folge hat; ebenso sind Knoten übereutektischen Graphits nicht erwünscht (Bild 8 e).
- β) Grundgefüge: Ein möglichst ferritfreies, feines Perlitgefüge (vgl. Bilder 9 c, 9 d). Ferritisches Gefüge ist ebenso wie freier Zementit im Gefüge zu vermeiden (vgl. Bilder 9 e, 9 f).
- γ) Phosphideutektikum₂ (siehe Bilder 10): Das Phosphid soll als feinnaschiges, möglichst geschlossenes Netzwerk vorliegen (Bilder 10 c, 10 d).

Die erwähnte Graphitausbildung sichert gute Laufeigenschaften und hinreichendes Selbstschmierungsvermögen des Werkstoffes.

Der feine, ferritfreie Perlit bedingt hohe Zähigkeit und richtiges Verschleißverhalten ohne Neigung zur Gratbildung. Im Perlitgefüge vereinzelt auftretende Ferritkörner, wie sie sich manchmal an die Graphitadern angelagert vorfinden, sind von keinem schädlichen Einfluß, solange sie keine größeren zusammenhängenden Nester bilden (vgl. Bild 9 d). Schädlich sind sie aber im Verein mit eutektischem Graphit, in dessen Begleitung sie häufig auftreten (Bild 9 c). Im allgemeinen soll bei



Bild 8a
a Büchsenguß
Grober Fadengraphit



Bild 8c und 8d
c Feiner langer Fadengraphit



Einzelguß
d Feiner kurzer Fadengraphit
(Sternchen)

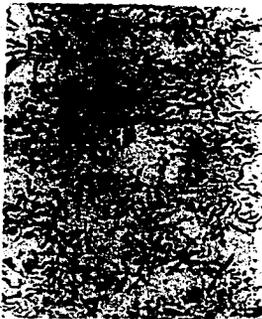


Bild 8b
b Schleuderguß
Mittelfeine Graphitrosetten,
innerhalb der Rosetten sehr
feiner Fäden



Bild 8e und 8f
e Fehlerhafte Graphit-
bildung
e Eutektischer Graphit
mit übereutektischen Nestern



f Eutektischer Graphit,
Tannenbaumstruktur

Bild 8 Graphitusbildung in Kolbenringgußeisen.
Samtliche Schliffbilder ungeätzt, 100x



Bild 9a
a Büchsenguß
Lamellarer Perlit



Bild 9c und 9d
c Feinlamellarer Perlit
und Sorbit



d Feinlamellarer Perlit und
Sorbit, vereinzelt Ferrit

Bild 9 Gefügeausbildung in Kolbenringgußeisen
Samtl. Schliffbilder geätzt mit 2%ig. alkohol. HNO₃,
500x



Bild 9b
b Schleuderguß.
Sehr feinelamellarer Perlit



Bild 9e Perlitisches Grundgefüge
mit viel Ferrit innerhalb
eutektischer Graphitnester



Bild 9f
Perlitisches Grundgefüge
mit feinem Zementit



Bild 10a a Büchsen-guß.
Grobmaschiges-Netz



Bild 10c c-Kräftiges, feines-Netz

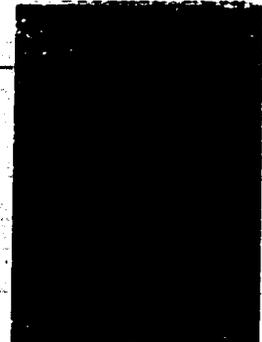


Bild 10c und 10d Einzelgußringe
d-Feines-Netz



Bild 10b
b Schleuderguß.
Mittelfeines Netz



Bild 10e und 10f Fehlerhafte Phosphidnetzausbildung
e Ungleichmäßige
Phosphidverteilung, Klumpen
f Zerstreutes Phosphid

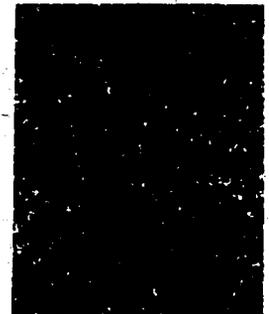


Bild 10 Phosphidausbildung in Kolbenringgußeisen.
Sämtliche Schlibfbilder tiefgeätzt mit Natriumpikrat.

20 ×

Zahlentafel 1.

Herstellungsart	Gattung	Analyse										
		C _{ges}	a) C _{geb}	Si	Mn	β) P	γ) S	δ) Cr	ε) Mo	ζ) V _a	Ti	
Einzelguß	unlegiert	3,50	> 0,65	2,60	0,50		< 0,10	—	—	—	—	
		8,80		8,00	0,80							
	legiert	3,50	> 0,65	2,70	0,50		< 0,10	0,25	—	—	—	
		8,80		8,10	0,70			0,85	—	—	—	
		8,55	> 0,65	2,70	0,50		< 0,10	0,10	0,20	—	—	
		8,75		8,10	0,70			0,15	0,80	—	—	
	unlegiert	3,55	> 0,65	2,70	0,50		< 0,10	—	—	0,08	0,12	
		8,75		8,10	0,70			—	—	0,18	0,20	
Büchseguß	Sandguß	2,90	> 0,65	1,80	0,90		< 0,10	—	—	—	—	
		3,40		2,80	1,10							
	Schleuderguß	legiert	2,90	> 0,65	1,80	0,90		< 0,05	0,85	0,15	—	—
			3,20		2,80	1,10			0,45	0,20	—	—
			3,40	> 0,65	2,10	0,90		< 0,06	0,85	—	—	—
			8,70		2,85	1,10			0,45	—	—	—
	unlegiert	3,40	> 0,65	2,10	0,90		< 0,03	0,80	0,50	—	—	
		8,70		2,85	1,10			0,40	0,70	—	—	

- a) Der Gehalt an gebundener Kohle soll mindestens etwa 0,65, besser 0,70 bis 0,75 betragen.
- β) Der P-Gehalt richtet sich nach dem Werkstoff der Zylinderlaufbüchse. Für Stahlzylinder (vergüteter Chromstahl von 85 bis 90 kg/mm² Festigkeit) soll der P-Gehalt 0,75 bis 0,85 betragen; für Graugußzylinder soll der P-Gehalt bei 0,50 bis 0,70 liegen.
- γ) Der S-Gehalt liegt je nach der Reinheit der Ausgangswerkstoffe, nach dem Schmelzverfahren sowie einem etwa angewendeten Entschwefelungsverfahren verschieden hoch. Elektroflußguß weist einen S-Gehalt < 0,03 auf; ebenso liegt meist unter 0,03.
- Über den Einfluß des Schwefels auf den Kolbenringguß gehen die Meinungen auseinander; ein S-Gehalt bis 0,10 scheint aber keine schädliche Wirkung zu haben.
- δ) Legierungen mit den Karbidbildnern Chrom, Molybdän und Vanadium erhöhen den Anteil an gebundener Kohle, vertiefen den Perlit und das Korn, wirken also in allen Fällen verschleißmindernd; sie stabilisieren das Gefüge und verbessern die Spannungshaltung der Ringe bei höheren Temperaturen.

200facher Vergrößerung im Gefüge hochwertiger Ringe kein freier Ferrit mehr erkennbar sein.

Die Ausbildung des Phosphids als engmaschiges geschlossenes Netz steigert ebenfalls die Verschleißfestigkeit und sichert günstiges Laufverhalten, so daß durch gute Phosphidausbildung auch eine etwaige ungünstige Ausbildungsform des Graphits oder ein etwas reicherer Ferritanteil im Gefüge z. T. ausgeglichen werden kann. Unerwünscht sind klumpige Anhäufungen des Phosphids, insbesondere an der Lauffläche.

Gutes Kolbenringeisen soll ferner dicht, frei von Gasblasen, groben Poren oder Lunkern sein. Ein etwas lockeres Gefüge kann, besonders bei Ringen, die in hartem Zylinder arbeiten sollen, infolge des dadurch bedingten erhöhten Olaufnahmevermögens, vorteilhaft sein. Anhäufungen von Mangansulfid sind zu vermeiden.

Alle aufgezählten Eigenschaften des Graugusses werden grundlegend beeinflusst durch die Wechselwirkung zwischen den Erstarrungsbedingungen, welche das Eisen beim Vergießen in seiner Form vorfindet und der Zusammensetzung des Eisens.

b) Zusammensetzung des Kolbenringgußeisens [19, 20, 24]

Nicht allein nach dem Verwendungszweck, sondern auch je nach dem Gießverfahren, nach der Herstellungsweise, ob Büchseguß oder Einzelguß, ferner nach der Schmelzweise muß das Kolbenringgußeisen verschieden zusammengesetzt sein. Es hat daher keinen Zweck, eine

bestimmte Analyse für das Kolbenringgußeisen vorzuschreiben, sofern nicht gleichzeitig auch die Schmelz- und Gießbedingungen sowie alle anderen, die Erstarrung beeinflussenden Faktoren berücksichtigt werden. Beispielsweise können die folgenden Analysenangaben für Flugmotoren (für Ringquerschnitte von 2,5—3,5 mm Höhe und 3,5—4,5 mm radialer Breite) genannt werden (Zahlentafel 1).

Die chemische Zusammensetzung des Kolbenringgußeisens allein gibt keinen Anhalt für Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit des Ringes; vielmehr müssen daneben stets auch die Gefügeausbildung und die physikalischen Eigenschaften des Ringes mit in Betracht gezogen werden.

c) Physikalische Eigenschaften von Kolbenringgußeisen [9, 19, 24]

- a) Spezifisches Gewicht: 7,05—7,25 (abhängig vom Graphitanteil und P-Gehalt).
- β) Wärmeausdehnungskoeffizient: 20° : 10,02 · 10⁻⁶
30—100° : 10,26 · 10⁻⁶
30—200° : 10,75 · 10⁻⁶
30—300° : 11,32 · 10⁻⁶
- γ) Wärmeleitfähigkeit (bei Raumtemperatur): 0,095—0,117 cal/cm sek° C.
- δ) Das Wachsen des Kolbenringgußeisens ist, da der Si-Gehalt verhältnismäßig hoch liegt, bei hohen Temperaturen beträchtlich. Innerhalb der praktisch im Betrieb auftretenden Temperaturgrenzen ist es aber ohne Bedeutung (Bild 11).

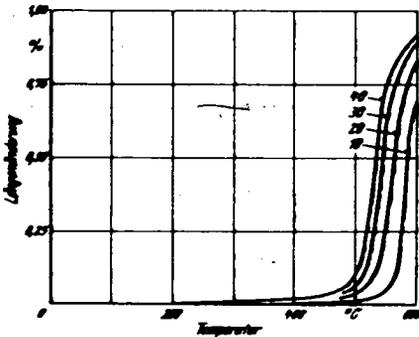


Bild 11 Wachsen von Kolbenringgußeisen (3,60 C_{ges.}, 2,75 Si, unlegiert), bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Zahl der Pendelglühungen

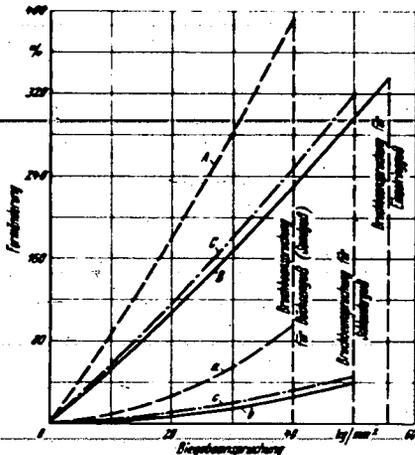


Bild 12 Elastische und bleibende Formänderungen an Ringproben

Gußgattung	elastisch	bleibend
Büchsenguß	Kurve A	Kurve a
Einzelguß	" B	" b
Schleuderguß	" C	" c

e) Die Festigkeitswerte von Kolbenring-Gußeisen hängen vom vergossenen Querschnitt ab. Näheres hierüber ist auch im Abschnitt „Herstellungsverfahren“ angeführt.

Richtwerte für die Festigkeitswerte von Flugmotoren-Kolbenringen können der folgenden Zahlentafel 2 entnommen werden. Den einzelnen dort angeführten physikalischen Größen kommt folgende Bedeutung zu:

1. Der Elastizitätsmodul E:

Je höher der Wert E, desto größere spezifische Anpreßdrücke lassen sich mit einem Kolbenring von bestimmter Abmessung erreichen.

Zur Erzielung eines bestimmten Anpreßdruckes ist, je nach der Höhenlage des E-Moduls, ein kleineres oder größeres Stoßspiel am ungespannten Ring erforderlich. Die Größe des Stoßspiels ist nach beiden Seiten hin ziemlich eng begrenzt, da einerseits bei übermäßig großem Stoßspiel der Ring beim Schließen nicht kreisrund bleibt, andererseits bei sehr kleinem Stoßspiel die

Beanspruchung beim Überstreifen der Ringe übermäßig hoch ansteigen würde (vgl. Bild 15).

2. Die Biegefestigkeit:

Diese ist maßgebend für die Bemessung des Kolbenringes; von ihr hängt die zulässige Biegebeanspruchung des Ringes im Betrieb sowie beim Überstreifen ab.

3. Die bleibende Formänderung:

Da bei Gußeisen jede Formänderung von bleibenden Verformungen begleitet ist, ist die Kenntnis des Anteils der letzteren gegenüber der Gesamtverformung wichtig; sie soll bis zur Überstreif- und Betriebsbeanspruchung innerhalb niedriger Grenzen bleiben, damit der Ring nicht bereits beim Überstreifen über den Kolben oder beim Einführen in den Zylinder seine Form verliert.

Bild 12 zeigt schematisch das Verhalten verschiedener Graugußsorten in dieser Hinsicht bei Biegebeanspruchungen von verschiedener Höhe.

Es sei hier beigefügt, daß die Zähigkeit des Werkstoffes um so geringer ist, je niedriger der Wert für die bleibende Formänderung gefunden wird.

4. Die Härte:

Die Härte des Kolbenringes muß in Beziehung zur Härte des Zylinders stehen; sie gibt aber keineswegs einen direkten Anhalt für das Lauf- oder Verschleißverhalten. Wohl aber läßt sie einen gewissen Rückschluß auf die Gefügeausbildung des Ringes zu, wenn dessen Herstellungsweise gleichzeitig mit berücksichtigt wird.

5. Die Dauerbiegewechselfestigkeit:

Durch Schwingungsvorgänge in der Ringebene — wie sie z. B. beim Ringflattern auftreten können — wird der Ring einer Biegewechselsbeanspruchung unterworfen; wenn auch die möglichen Schwingungsauslässe sehr klein sind, so können dennoch hohe Gesamtbeanspruchungen im Ring auftreten, wenn nur kurze Ringteile, z. B. nur die Stoßenden, am Schwingungsvorgang teilhaben.

Die Dauerbiegefestigkeit von Einzelring-Gußeisen liegt bei 12—15 kg/mm².

Die in der Zahlentafel 2 angeführten Werte lassen sich am fertigen Ring — sofern derselbe rechteckigen Querschnitt aufweist — nach folgenden Formeln ermitteln [8, 28, 29]:

Es sollen bedeuten (Bild 13):

- T die zum Schließen des Kolbenringes erforderliche, tangential an den Stoßenden angreifende Kraft in kg;
- Q die diametral am dem senkrecht zum Stoßdurchmesser gelegenen Durchmesser angreifende, zum Schließen des Ringes nötige Kraft in kg;

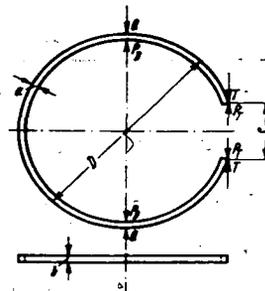


Bild 13 Kräfte am Kolbenring und deren Bezeichnung

Zahlentafel 2.

Werkstoff	Elastizitätsmodul E kg/mm ²	Zugfestigkeit σ_s kg/mm ²	Biegefestigkeit σ_b kg/mm ²	Bleib. Formänderung φ vH	Härte	
					Brinell	Rockw B
Einzelringguß	8 000—10 500	28—33	50—65	9—14	230—265	99—104
Büchseguß	7000—9 000	20—26	35—45	15—22	180—220	90—97
Einzelringguß, vergütet	8.000—10 500	26—33	50—65	7—11	300—400	
Schleuderguß	9 000—11 000	25—34	45—60	8—12	240—280	101—106

a radiale Ringstärke in mm;
 b axiale Ringbreite (Ringhöhe) in mm;
 s Stoßöffnung des Ringes im ungespannten Zustand;
 P_T die tangential an den Stoßenden angreifende, zum Brechen des Ringes notwendige Kraft in kg;
 P_D die diametral an dem senkrecht zum Stoßdurchmesser gelegenen Durchmesser angreifende, zum Brechen des Ringes nötige Kraft in kg.

$$T = 0,88 Q \dots (1 \text{ und } P_T = 0,88 P_D) \quad (1a)$$

ferner rechnet sich der E-Modul zu:

$$E = \frac{14,14 \cdot T \cdot \left(\frac{D}{a} - 1\right)^3}{b \cdot s} \quad (2 \text{ bzw. } 2a)$$

$$E = \frac{5,87 \cdot Q \cdot \left(\frac{D}{a} - 1\right)^3}{b \cdot s} \quad (2a)$$

und die Zugfestigkeit:

$$\sigma_z = \frac{4,91 P_T D}{ba^2} \quad (3 \text{ bzw. } 3a)$$

$$\sigma_z = \frac{1,865 P_D D}{ba^2} \quad (3a)$$

endlich die Biegefestigkeit:

$$\sigma_b = \frac{6 P_T \cdot D}{ba^2} \quad (4 \text{ bzw. } 4a)$$

$$\sigma_b = \frac{2,28 P_D \cdot D}{ba^2} \quad (4a)$$

Für Gußeisen ist der E-Modul kein konstanter Wert, sondern ändert sich mit der Höhe der Beanspruchung. Will man daher unmittelbar vergleichbare Werte haben, so muß das Stoßspiel bzw. die bei der Messung angewendete Stoßspielverkleinerung jeweils so bemessen werden, daß eine ganz bestimmte Beanspruchung im Ring erzeugt wird; als solche wird vielfach ein $k_b = 22 \text{ kg/mm}^2$ gewählt.

Ebenso muß die bleibende Formänderung auf eine bestimmte Beanspruchung bezogen werden; auch hier empfiehlt es sich, ein $k_b = 22 \text{ kg/mm}^2$ zugrunde zu legen. Bei der Prüfung dieser Kenngröße wird die Innenseite des Ringes auf Zug beansprucht.

Ist hierbei:

- s_0 das Stoßspiel vor dem Versuch
- s_1 während des Versuches unter Einwirkung der Belastung T_{22} bzw. Q_{22} (d. s. die eine Biegebeanspruchung von 22 kg/mm^2 erzeugenden Kräfte)
- s_2 nach dem Entfernen der Versuchsbelastung,

so ist

$$\varphi = \frac{s_2 - s_0}{s_1} \cdot 100 \quad (8)$$

die bleibende Formänderung in %.

Zur Ermittlung der im Kolbenring auftretenden Beanspruchungen können die folgenden Formeln benutzt werden:

Biegebeanspruchung im betriebsmäßigen Zustand des Ringes, gespannt:

$$K_{b_1} = \frac{6 \cdot T \cdot D}{b \cdot a^2} \text{ kg/mm}^2 \quad (9 \text{ bzw. } 9a)$$

$$K_{b_1} = 0,425 \frac{s \cdot E}{D \left(\frac{D}{a} - 1\right)} \text{ kg/mm}^2 \quad (9a)$$

und die Oberstreifspannung genügend genau:

$$K_{b_2} = 0,64 \left[\frac{4 E}{\left(\frac{D}{a} - 1\right)} - k_{b_1} \right] \text{ kg/mm}^2 \quad (10)$$

Der vom Kolbenring auf die Zylinderwandung ausgeübte spezifische durchschnittliche Anpreßdruck rechnet sich zu:

$$p = \frac{2 \cdot T}{b \cdot D} = \frac{0,76 Q}{b \cdot D} \quad (11)$$

Aus den vorstehenden Formeln folgt noch:

$$p = \frac{E \cdot s}{7,07 D \cdot \left(\frac{D}{a} - 1\right)^2} \quad (12)$$

Diese Gleichung erscheint in Bild 14 ausgewertet, worin ein konstantes Verhältnis von Ringstoßöffnung zu radialer Ringwandstärke ($s = 3,25 a$) angenommen ist.

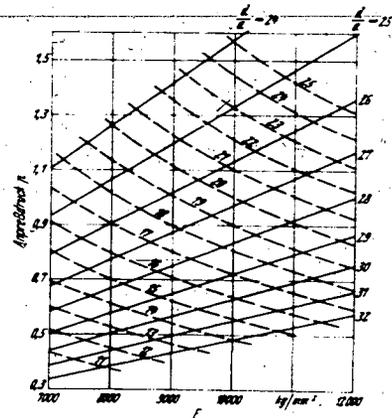


Bild 14. Anpreßdruck und Biegebeanspruchung im gefährlichen Querschnitt in Abhängigkeit von der Höhe des E-Moduls für $\frac{s}{a} = 25$

— Anpreßdruck p
 — Biegebeanspruchung k_{b_1}

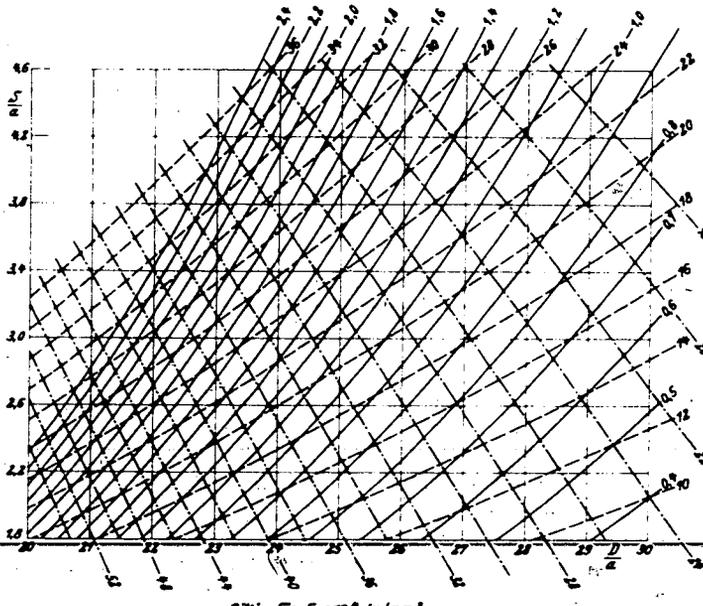


Bild 15 Beziehung zwischen den Ringabmessungen s, D und a , den Beanspruchungen k_{b1} und k_{b2} und dem spezifischen Anpreßdruck p

Endlich gilt noch:

$$T = \frac{b \cdot s \cdot E}{14,14 \left(\frac{D}{a} - 1 \right)^2}$$

$$Q = \frac{b \cdot s \cdot E}{5,87 \left(\frac{D}{a} - 1 \right)^2}$$

Gilt für $E = 10^4 \text{ kg/mm}^2$
 — T kg/mm^2
 - - - k_{b1}
 — k_{b2} (2 bzw. 2a)

welche beiden Formeln, identisch mit (2 bzw. 2a, den Einfluß aller Größen auf die Größe der zum Schließen des Ringes nötigen Tangential- bzw. Diametralkraft wiedergeben.

Bild 15 zeigt die Zusammenhänge zwischen $\frac{D}{a}$ und S mit den Kolbenringbeanspruchungen k_{b1} und k_{b2} , dem spezifischen Anpreßdruck p für ein $E = 10^4 \text{ kg/mm}^2$ — Für abweichende Werte von E sind die aus dem Kurvenblatt abgelesenen Werte von k_{b1} und k_{b2} im Verhältnis der Elastizitätsmoduli umzurechnen.

2. Sonstige Werkstoffe

a) Stahl

Die Lauf- und Einlauf Eigenschaften von Stahl sind wesentlich ungünstiger, als jene von Grauguß: Stahlkolbenringe kommen daher nur für solche Zylinder in Frage, die an sich die oben erwähnten Eigenschaften in hohem Maße aufweisen, also vor allem für Graugußzylinder; auch in nitrierten Zylindern ist ihre Anwendung versucht worden, bisher allerdings ohne vollständig befriedigenden Erfolg.

Für die Herstellung von Stahlkolbenringen hat sich am besten ein unlegierter Kohlenstoffstahl mit einem C-Gehalt von etwa 0,75 vH bewährt. Feines Korn und feinerperlitisches Gefüge sind zu verlangen. Die Härte des Ringes soll bei etwa 250 Brinell liegen.

Der Vorteil des Stahlkolbenringes liegt in seinen hohen elastischen Eigenschaften sowie in der guten Spannungshaltung unter höheren Betriebstemperaturen, insbesondere, wenn geeignete Stahllegierungen verwendet werden.

Voraussetzung für die Verwendung von Stahlingen ist reichliche Versorgung des Zylinders mit Schmieröl und günstige Verteilung des Öles in demselben.

b) Bronze

Die Laufeigenschaften dieses Werkstoffes reichen infolge der geringeren selbstschmierenden Eigenschaften nicht völlig hin, um unter schwierigen Betriebsverhältnissen befriedigendes Verhalten erwarten zu lassen. Bronzeringe kommen daher nur für Sonderfälle oder als Einlage in Graugußringe in Frage.

Günstig ist die relativ hohe Korrosionsbeständigkeit mancher Bronzen gegenüber den im Zylinder auftretenden angreifenden Einflüssen, wodurch eine der wirksamsten Verschleißkomponenten ausgeschaltet wird; überdies fällt weiter als günstig die gegenüber dem Graugußring erhöhte Wärmeleitfähigkeit der Bronzekolbenringe in die Wagschale, die bewirkt, daß örtliche Wärmeentwicklungen rasch verteilt und abgeleitet werden; auch für die Wärmeableitung aus dem Kolben ist dieser Umstand günstig.

Bewährt hat sich für die Ringherstellung eine Schleudergußbronze von folgenden Eigenschaften:

Zugfestigkeit	> 25 kg/mm ²
Druckfestigkeit	> 140 kg/mm ²
Quetschgrenze	> 25 kg/mm ²
Härte Brinell 10/500/30	> 110 kg/mm ²

Die Spannungsverteilung erfolgt bei diesen Ringen durch Hämmern.

c) Leichtmetall

Der Gedanke, Leichtmetalllegierungen für die Kolbenringherstellung zu verwenden, wird dauernd verfolgt; der Vorteil des geringen Gewichtes derartiger Ringe wäre bei sehr rasch laufenden Maschinen in die Augen springend. Die elastischen Eigenschaften von Leichtmetalllegierungen mit guten Laufeigenschaften reichen aber bei weitem nicht aus, um selbstspannende Ringe von einiger Wärmebeständigkeit aus diesen herstellen zu können. Der Weg, dem Leichtmetallring nur die Lauf- und Verschleißaufgaben zu übertragen, wäh-

rend die notwendige Federung von einem Stahlstützring aufgebracht wird, erscheint aussichtsreicher; allerdings geht bei dieser Anordnung ein Teil der Gewichtsverminderung wieder verloren.

Mit Leichtmetallsinterlegierungen sollen aussichtsreichere Ergebnisse erzielt worden sein.

d) Vergütete Graugußkolbenringe

Durch Vergüten des normalen Grauguffringes, d. h. durch Abschrecken des über die Umwandlungstemperatur erhitzten Ringes in Öl und darauffolgendes Anlassen bei einer Temperatur, die jedenfalls höher liegen muß, als die höchste im Betrieb zu erwartende Ringtemperatur, wird das Ringgefüge in ein martensitisorbitorisches Anlaßgefüge umgewandelt und die Härte auf etwa 350—400 Brinell gesteigert, wesentlich höhere Härten lassen sich mit Rücksicht auf die notwendige Anlaßtemperatur kaum erzielen.

Durch entsprechendes Legieren, insbesondere mit Cr, Mo und Va, kann die Anlaßbeständigkeit, die für unlegierten Grauguß infolge des hohen Si-Gehaltes verhältnismäßig gering ist, etwas gesteigert werden.

Das Lauf- und das Einlaufverhalten der Grauguffringe wird durch Vergüten verschlechtert; das Verschleißverhalten wird entsprechend der gesteigerten Härte nur beim Zusammenarbeiten mit Zylinderwerkstoffen von entsprechend höherer Härte verbessert.

Verfahren stellt hohe Ansprüche an das Können der Gießerei.

Zwischen den beiden erwähnten Verfahren liegt das auch im Inland verwendete „Triple-Casting“-Verfahren, bei dem kurze Büchsen von etwa der 3fachen Ringhöhe gegossen werden; aus diesen Rohlingen wird durch Sägeschnitt das mittlere Drittel herausgetrennt und zur Ringherstellung benutzt. Die Eigenschaften dieser Ringe liegen zwischen jenen für die beiden anderen Gußverfahren erwähnten.

Thermisch gespannte Ringe: Die Spannungsverteilung erfolgt durch Aufspreizen der kreisrund vorgedrehten, geschlitzten Rohlinge und Spannungsfreigilühen in diesem aufgespreizten Zustand.

Gehämmerte Ringe: Punkt- oder strichförmige Meißelhiebe an der Ringinnenseite erzeugen an dieser durch Kaltverformung Druckspannungen, die auch bei an sich niedrigen elastischen Werten des Werkstoffes einen scheinbaren hohen Wert für den Elastizitätsmodul erzielen lassen. — Die Schwingungsfestigkeit der Ringe in der Ringebene wird durch dieses Verfahren etwas herabgesetzt. — Angewendet wird dasselbe vielfach zur Spannungsverteilung bei Büchsenauflagen, auch bei solchen aus Schleuderguß.

Bei den Unrundringen werden die vom Werkstoff aus dem Gußzustand mitgebrachten elastischen Eigenschaften unmittelbar verwendet; diese liegen höher als jene thermisch gespannter Ringe; die Spannungshaltung bei höheren Temperaturen ist für Unrundringe am günstigsten, es folgen die thermisch gespannten Ringe, am ungünstigsten verhalten sich in dieser Hinsicht gehämmerte Ringe.

Je nach der angewendeten Art der Spannungsverteilung zeigen die Radialdruckkurven der Ringe verschiedenartigen, für das Verfahren charakteristischen Verlauf (vgl. Bild 16), der für das Bewähren des Ringes von Bedeutung sein kann.

Die Radialdruckkurve thermisch gespannter Ringe, die auf Nenndurchmesser fertig gedreht werden, ist ziemlich genau kreisförmig; d. h. der Druck ist an allen Umfangspunkten ungefähr gleich groß (vgl. Bild 16 a). Bei der Prüfung im elastischen Band zeigt sich der Ring genau kreisrund. — Bei geringer Abnutzung fällt aber der Anpreßdruck an den Ringstößenden stärker ab als

IV. Herstellung von Kolbenringen

[19, 23, 24]

Grauguffkolbenringe werden nach folgenden Gießverfahren hergestellt:

1. Büchsen-guß

Die einzelnen Ringe werden von büchsenförmigen, hohlzylindrischen Rohlingen abgestochen.

2. Einzelring-guß

Bei diesem wird jeder einzelne Ring als besonderes Gußstück eingeformt und abgegossen.

In beiden Fällen können die zur Ringherstellung dienenden einzelnen Ringrohlinge verschieden gestaltet sein; und zwar können sie

- a) kreisrund geformt sein; die Spannungsverteilung erfolgt dann wieder nach zwei verschiedenen Verfahren:
 1. auf thermischem Wege: thermisch gespannte Ringe.
 2. durch Hämmern: gehämmerte Ringe;
- b) angenähert jene Form aufweisen, die der fertige spannungslose Ring aufweisen muß; die auf diese Weise hergestellten Ringe werden als „Unrundringe“ oder „formgedrehte Ringe“ bezeichnet.

Jedes dieser Verfahren hat Vor- und Nachteile und macht die Ringe für verschiedene Anwendungszwecke mehr oder weniger geeignet; als solche wären hervorzuheben:

Beim Büchsen-guß: Vortreffliche — manchmal aber zu grobe — Graphit- und Gefügeausbildung. Sandgußbüchsen sind grob im Korn und geben ein weitmaschiges, nicht geschlossenes Phosphidnetz. Die Härte und der E-Modul liegen niedrig, die Herstellung von Ringen mit hoher Spannung und guter Spannungshaltung ist daher nicht gut möglich.

Schleuderguß vermeidet die erwähnten Nachteile und gibt feinkörnigeren, dichteren Guß von höherer Härte und höheren elastischen Werten.

Beim Einzelguß: Dieser ergibt feines Korn und dichtes, geschlossenes Phosphidnetz bei höherer Härte, höherem E-Modul und hohen Festigkeitswerten. Die Gefügeausbildung ist schwieriger zu beherrschen, das

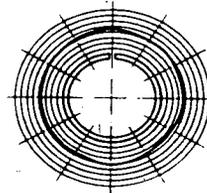


Bild 16 a
Thermisch gespannter Ring

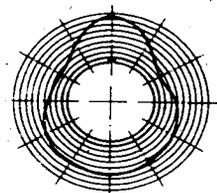


Bild 16 c
Unrundring

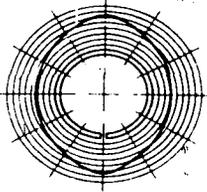


Bild 16 b
Auf Übermaß gedrehter, thermisch gespannter Ring

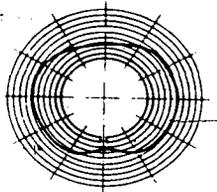


Bild 16 d
Stark abgelaufener Ring

Bild 16 Radialdruckkurven

an allen übrigen Punkten des Umfanges; dadurch werden die ohnehin schwächsten Punkte des Ringes gefährdet, und die richtige Wirkungsweise des Ringes kann in Frage gestellt werden.

Durch Abdrehen des Ringes auf ein etwas größeres Maß als auf das Nennmaß, je nach Ringdurchmesser um etwa 0,2—0,5 mm größer, kann der Anpreßdruck des Ringes an den Stoßenden erhöht werden (Bild 16 b); solche Ringe zeugen — im elastischen Band gemessen — positive Ovalität, d. h. sie drücken am Stoß und gegenüber demselben stärker als am übrigen Umfang. Ähnliches läßt sich bei thermisch gespannten Ringen auch auf anderen Wegen erreichen (Spannen auf Unrundkurven u. a.).

Bei gebämmerten Ringen ist der Verlauf der Radialdruckkurve durch Schlagdichte und Schlagstärke zu beeinflussen.

Am vollkommensten läßt sich jede gewünschte Form der Radialdruckkurve beim Unrundring verwirklichen; es geschieht dies hier durch entsprechende Formgebung am Modell. Beispielsweise zeigt Bild 16 c die Radialdruckkurve eines im Fahrzeugmotorenbau gebräuchlichen Unrundringes, wie sie ähnlich auch bei ausländischen Flugmotorenringen verwendet werden. Auch diese Ringe müssen naturgemäß bei der Prüfung im elastischen Band positive Ovalität aufweisen.

Zur Bestimmung der Radialdruckkurve sind verschiedene Meßrichtungen geschaffen worden; das vollkommenste Gerät für diesen Zweck dürfte im Hinblick auf die Genauigkeit der Meßergebnisse wohl das piezoelektrische Druckmeßgerät vorstellen, das von Zeiß-Ikon, Dresden, gemeinsam mit A. Teves, Frankfurt a. M., entwickelt wurde.

Andere Geräte, die hohe Anforderungen an das Gefühl des Messenden stellen, die aber dafür auch für serienweise Ringuntersuchungen geeignet sind, sind z. B. die Geräte von Goetze, von Mahle und jenes der General Motors (siehe auch Abschnitt IX).

V. Oberflächenbehandlung von Kolbenringen

[19, 24, 25]

Der Einlaufvorgang von Graugußkolbenringen in Grauguß- und Stahlzylindern ist, insbesondere bei Ringen von höherer Verschleißfestigkeit manchmal langwierig; abgesehen von anderen Unzuträglichkeiten können dadurch, ebenso wie die Kolben und die Zylinder, auch die Kolbenringe selbst gefährdet werden: ein beim Einlaufen örtlich überbeanspruchter oder überhitzter Kolbenring kann in seinem weiteren Laufverhalten nicht mehr befriedigen.

Das Einlaufverhalten kann durch Oberflächenbehandlung der Ringe wesentlich verbessert werden; unter der Vielzahl von Verfahren, die sich hier herausgebildet haben, lassen sich die folgenden Gruppen unterscheiden:

1. Erhöhen der Porosität und Auflockern der Ringoberflächen

Hierher gehören die reinen Beiz- und Ätzverfahren, durch welche aus den Oberflächen der Ringe leichter lösliche Gefügebestandteile herausgelöst werden, während der Graphit und das Phosphidnetz erhalten bleiben.

2. Nichtmetallische Überzüge

Auch diese Verfahren setzen ein durch einen Ätzangriff hervorgerufenes Auflockern der Ringoberflächen voraus; auf diese vorbereiteten Oberflächen werden, je nach dem Verfahren, verschiedene Verbindungen niedergeschlagen oder auch mechanisch aufgetragen. Als zweckmäßig haben sich vor allem bewährt:

a) die verschiedenen Phosphatierungsverfahren, wie das Bondern, Atramentieren, Granatieren usw.; es hat sich gezeigt, daß der Phosphat-

überzug um so wirksamer ist, je größer das Korn desselben ist;

b) das Sulfidieren, welches, ebenso wie das Phosphatieren, einen fest haftenden Überzug von guter selbstschmierenden Eigenschaften ergibt;

c) Unter den mechanisch aufgetragenen Überzügen sind zu nennen:

α) solche, die in einem geeigneten Bindemittel polierende Verschleißmittel enthalten, z. B. Tonmehl, Bimssteinmehl oder dergleichen; die Härte der Verschleißmittel soll dem Zylinderwerkstoff angepaßt werden;

β) Kunstharzüberzüge mit Beimengungen von selbstschmierenden Zusätzen.

3. Metallische Überzüge

Solche Überzüge müssen fest am Grundwerkstoff haften und plastisch so verformbar sein, daß sie an hochbelasteten Stellen schon bei verhältnismäßig niedrigen Drücken ausweichen und die Tragflächen vergrößern; überdies müssen die aus diesen Überzügen sich bildenden Laufflächen gute Laufeigenschaften haben und den Schmierfilm in genügender Stärke festhalten. Es kommen also solche Metalle in Frage, die sich als Lagermetalle eignen:

a) Bewährt hat sich das Verzinnen. Vor dem Verzinnen, das in einer Schichtstärke von etwa 0,004 mm erfolgt, wird vielfach durch ein-Beizverfahren die Wabenstruktur der Oberfläche herausgearbeitet.

b) Auch das Verkadmern der Ringe wird häufig verwendet; verkadmete Ringe verhalten sich aber nicht gleich günstig wie verzinnete.

4. Chemische oder gefügemäßige Veränderungen der Ringoberflächen

a) Das Ferroxydieren, ein oberflächliches Oxydieren des Ringes bei höheren Temperaturen; das an der Oberfläche fest haftende Eisenoxyduloxyd besitzt gute polierende Eigenschaften.

b) Das Silicoat-Verfahren der Wilkening Mfg. Co., bei dem eine beim thermischen Spannen der Ringe entstehende Oxydschicht durch einen besonderen chemischen Prozeß in eine graphit- und siliziumreiche, angeblich sehr verschleißfeste Schicht umgewandelt wird.

Vielfach werden alle diese Überzüge, vor allem jene, bei denen die Porosität der Oberfläche vergrößert wird, noch mit einer Behandlung mit kolloidalem Graphit kombiniert.

Zylinderwerkstoff	Oberflächenbehandlung der Ringe. Verfahren
Grauguß, Gußzustand	1. Verfahren 2a
	2. - 4a
	3. - 2c, α
Stahl	1. Verfahren 3a
	2. - 2a
	3. - 2a, graphitisiert
	4. - 2c, α
Grauguß nitriert	1. Verfahren 2a
	2. - 2a, graphitisiert
	3. - 2c, β
Stahl nitriert	1. Verfahren 2c, β
	2. - 2c
Grauguß } Stahl } hart verchromt	1. Verfahren 2c, β
	2. - 2a, graphitisiert

Allgemein ist zu sagen: Das Oberflächenbehandeln hat keineswegs zur Folge, daß die Ringoberfläche rascher verschleißt. Es dauert im Gegenteil bei oberflächenbehandelten Ringen (außer bei jenen, die Verschleiß- oder Poliermittelzusätze in den aufgetragenen Schichten verwenden, Verfahren 2 c, a) wesentlich länger, bis die letzten Bearbeitungsspuren an der Lauffläche verschwunden sind, als bei unbehandelten Ringen. Der Verschleiß wird also — richtige Behandlungsverfahren vorausgesetzt — geringer. Dennoch wird die erste Bedingung für ein richtiges Abdichten, nämlich das Vorhandensein einer geschlossenen Berührung am ganzen Ringumfang, eher verwirklicht, da die in den Drehriefen eingelagerten Schichten ebenfalls tragend und abdichtend wirken, insbesondere dann, wenn sie, ohne sich vom Grundmaterial zu lösen, die Fähigkeit haben, sich plastisch zu verformen.

Unter der großen Zahl aller bekannten und z. T. mit sehr phantasievollen Namen belegten Verfahren sind für die verschiedenen Verwendungszwecke die derzeit vorteilhaftesten in vorstehender Tafel zusammengestellt.

VI. Wahl des Kolbenring-Profiles; Wahl des Anpreßdrucks

[19, 24, 26]

1. Ringprofil

Das Ringprofil muß nach den zu erwartenden Betriebsverhältnissen der Maschine, nach der Art der Kühlung und entsprechend den Schmierverhältnissen gewählt werden. Die in der folgenden Übersicht bei den einzelnen Ringprofilen beigefügten Bemerkungen geben Hinweise dafür.

Der erste (oberste) Ring sollte stets als gerader zylindrischer Ring (Profil Nr. 1) ausgeführt werden. Topringe sind an dieser Stelle nur dann zu empfehlen, wenn auch von diesem Ring eine stärkere Abstreifwirkung verlangt wird und wenn das Einlaufen unter verringerter thermischer Belastung der Maschine so lange erfolgen kann, bis ein namhafter Teil der Ringhöhe zum Tragen gelangt. Nötigenfalls kann hier auch ein Winkelring (Prof. Nr. 5) oder ein Ansatzring mit verstärktem Stoß (Prof. Nr. 4) zum Einbau kommen.

Die weiter abwärts gelegenen Ringe können als gerade (Prof. Nr. 1) oder als Topringe (Prof. Nr. 2) ausgeführt sein; je nach den Schmierverhältnissen kann es sich auch empfehlen, diese Kompressionsringe als Ansatzringe (Prof. Nr. 3 und 4) oder als Winkelringe (Prof. Nr. 5) auszuführen.

Allgemein soll als Grundsatz gelten, das Ringprofil möglichst einfach zu gestalten; alle unsymmetrischen Profile führen dazu, daß der radiale Anpreßdruck sich ungleichmäßig auf die Ringhöhe verteilt, sowie daß der Ring nicht einwandfrei plan in seiner Nut liegt.

Für die zu wählende axiale Ringhöhe gibt Bild 17 einen Anhalt.

Axial übermäßig hoch bemessene Ringe erhöhen unnötigerweise die Reibungsarbeit, ohne die Abdichtung zu verbessern; ja, es kann durch solche Ringe sogar eine bedeutende Verschlechterung der Verhältnisse eintreten. Bei sehr rasch laufenden Maschinen wird die Ringhöhe auch durch die Höhe der auftretenden Massenkräfte begrenzt (vgl. Bild 6).

Bei zu niedrig bemessenen Ringen steigt der Verschleiß erheblich an; überdies wird die Gefahr der Ringverformung beim Überstreifen durch ihre mangelnde Quersteifigkeit erhöht.

2. Anpreßdruck

Die richtige Arbeitsweise des Kolbenringes verlangt es, daß derselbe mit einem bestimmten Mindestdruck an der Zylinderwand anliegt; wenn auch dieser aus der Eigenspannung des Ringes wachgerufene Anpreßdruck — zumal für den ersten Ring — nur einen Bruch-

teil jener Anpressung ausmacht, den der Ring im Betrieb durch die in die Ringnut eintretenden Gase erleidet, so ist der Eigenanpreßdruck für das Abdichtvermögen doch von entscheidender Wichtigkeit.

Der Anpreßdruck verteilt sich meist nicht gleichmäßig über den ganzen Umfang (vgl. Bilder 16); gerechnet wird daher mit einem mittleren spezifischen Anpreßdruck und dieser Wert bildet die Ausgangsgröße für die Kolbenringberechnung. Am fertigen Ring wird dieser mittlere Anpreßdruck nach den Formeln 11 und 12 aus den Schließkräften errechnet. Die Höhe des vorteilhaft zu wählenden spezifischen Anpreßdruckes der Ringe richtet sich einerseits nach dem Zylinderdurchmesser und der Maschinendrehzahl, andererseits aber auch nach dem Zylinderwerkstoff. Einen Anhalt für bewährte Verhältnisse gibt Bild 18.

Im allgemeinen verlangen axial niedrige Ringe einen höheren spezifischen Anpreßdruck als axial höhere Ringe; ferner ist für Graugußzylinder ein etwas höherer Anpreßdruck zulässig, als für Stahl- oder gehärtete Zylinder. Kleinere Zylinderdurchmesser verlangen, ebenso wie höhere Maschinendrehzahlen, höhere Anpreßdrücke.

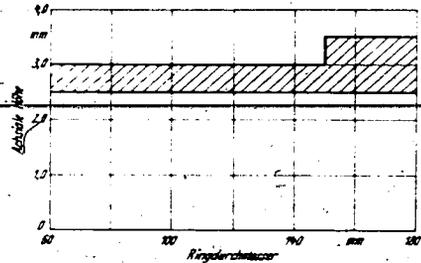


Bild 17 Axiale Höhe von Kompressionsringen (Flugmotorenkolbenringen) in Zuordnung zum Zylinderdurchmesser

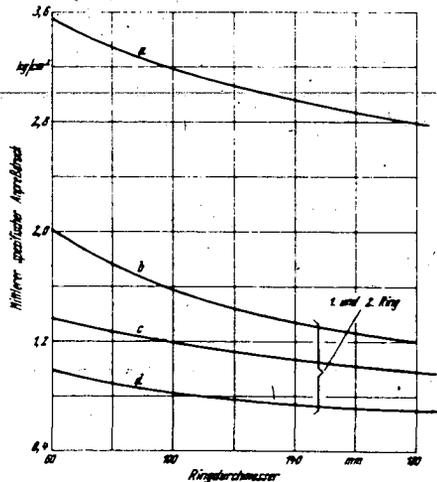


Bild 18 Anpreßdruck der Kolbenringe in Abhängigkeit vom Zylinderdurchmesser

- a Obere Grenze für Obelstreifringe (Grauguß) im Stahlzylinder (bezogen auf tragende Ringhöhe)
- b Obere Grenze für Graugußringe im Graugußzylinder
- c Obere Grenze für Graugußringe im Stahlzylinder
- d Untere Grenze des Anpreßdruckes

Ringgattung	Profil Nr.	Profilform	Beschreibung
Kompressionsringe	1		Gerader Kompressionsring: Meist verwendete Ringform für Kompressionsringe.
	2		Konischer Kompressionsring (Topring): Der Ring liegt von Anfang an mit sehr hohem spezifischem Anpreßdruck an der Zylinderwandung an, wodurch es rasch zu geschlossener Linienberührung und guter Abdichtung kommt. Der Ring wirkt kräftig abstreifend, verhindert daher wirksam das Überölen nicht eingelaufener Zylinder.
	3		Abgesetzter Ring (Nasenring): Durch Verringerung der tragenden Höhe wird der spezifische Anpreßdruck erhöht; im abgesetzten Ringteil sammelt sich Schmieröl, wodurch die Ringschmierung gefördert wird. Durch die Stoßstelle hindurch kann aber der volle Gasdruck an der Ringlauffläche wirksam werden.
	4		Abgesetzter Ring mit verdecktem Stoß: Verhalten wie Ringprofil Nr. 3, doch ist das Wirksamwerden des vollen Gasdruckes auf der Ringaußenseite erschwert, da der Ring am Stoß auf seine ganze Höhe deckt.
	5		Winkelring: Durch die Unsymmetrie des Ringprofils verlagern sich die Hauptachsen des Querschnittes derart, daß bei gespanntem Ring die Ringunterkante mit erhöhtem Anpreßdruck an der Zylinderwandung anliegt, ohne daß der Anpreßdruck an der Ringoberkante negativ wird; der Ring verhält sich ähnlich wie ein konischer Ring, Profil 2, doch ist hier ein Wirksamwerden des vollen Gasdruckes an der Ringaußenseite nicht möglich.
Abstreifringe	6		„Bimetal“-Ringe: Gerade Ringe mit Einlage von Fremdmetallen, meist Bronze, Graphit oder Zink. Je nach Höhe der Ringe kommen eine oder zwei Einlagen zur Verwendung. Mindestringhöhe für diese Ausführung 3 mm. Bewährt hat sich der Bimetal-Ring vor allem in raschlaufenden Dieselmotoren mit Graugußzylindern.
	7		Faserring: Der infolge der geringen tragenden Höhe relativ hohe Anpreßdruck bewirkt im Verein mit der scharfen Ringunterkante, daß beim Abwärtsgang des Kolbens das Öl von der Zylinderwandung kräftig abgestreift wird, während beim Aufwärtsgang des Kolbens dank der Formgebung des Ringes kein Abstreifen erfolgen kann.
	8		Nasen-Faserring: Durch die Zuschärfung der Abstreifkante wird die Abstreifwirkung erhöht; der Ring hat weiterhin den Vorteil, daß bei fortschreitendem Ringverschleiß der Anpreßdruck weniger absinkt, als bei Ringprofil Nr. 7, da die tragende Ringhöhe sich weniger vergrößert.
	9		Nasenring: Infolge der Zuschärfung der Abstreifkante ist die Abstreifwirkung hoch; der verhältnismäßig große Raum, den das abgestreifte Öl in der Hinterdrehung des Ringes findet, macht ihn besonders für die Verwendung in höherer Lage, also nicht als untersten Abstreifring, geeignet.
	10		Ölschlitzring: Die Abstreifwirkung eines Ölrings kann durch Vermehrung der Zahl der abstreifenden Kanten des Ringes erhöht werden; die beiden Abstreifkanten des Ölschlitzringes können aber nur dann richtig zur Wirkung kommen, wenn dem abgestreiften Öl reichlich Gelegenheit gegeben wird, ohne Stau abfließen zu können. Auch bei diesen Ringen kann durch Abfasen der Stegoberkanten und Zuschärfen der Unterkanten die Abstreifwirkung weiter gesteigert werden.
	11		Gebohrte Ölringe: Ähnlich wie Ölschlitzringe wirken gebohrte Ölringe; auch bei diesen ist auf leichten, möglichst widerstandsreichen Abfluß des abgestreiften Öles größter Wert zu legen.
	12		Kronenringe: Soll der Nasenring in seiner Abstreifwirkung erhöht werden, so wird der Steg ähnlich wie beim Schlitzring unterbrochen, um freie Abflußmöglichkeit für das abgestreifte Öl zu schaffen. — Die gleiche Wirkung läßt sich aber durch einfacher gestaltete, billigere Ringe auch erzielen.

Sonderausführungen.

Ring-gattung	Profil Nr.	Profilform	Beschreibung
Kompressionsringe	13		Trapezringe werden entweder an einer oder an beiden Flanken konisch ausgeführt. Sie werden — und zwar auch als erste Ringe — dort verwendet, wo die Betriebsverhältnisse ein rasches Festbrennen der Ringe erwarten lassen, so bei Diesel- und Zweitaktmotoren. Die Neigung dieser Ringe zum Festbrennen ist gering.
	14		L-Ringe: Infolge der großen Berührungsfläche dieser Ringe mit der Zylinderlauffläche ist die Wärmeabfuhr sehr günstig; sie sollen daher dort Verwendung finden, wo die Temperatur der Ringpartie hoch liegt. Das Abdichtungsvermögen dieser Ringe ist infolge ihrer großen axialen Höhe etwas ungünstiger.
Drosselringe	15		Feuerringe: Als geschlossene Ringe ausgeführt, werden diese Ringe als Schutz der ersten selbstspannenden Ringe noch oberhalb derselben eingebaut oder auch im Kolben eingegossen. Sie haben die Aufgabe, den Weg der Feuergase durch Labyrinthwirkung abzudrosseln; eine Wärmeabfuhr vom Kolben zum Zylinder findet durch diese Ringe nicht statt.
	18		Drosselmanschetten: Oberhalb des ersten Kolbenrings wird nahe am Kolbenboden ein zweiteiliger Ring, meist von U-Profil, in eine entsprechende Nut eingelegt. Der Ring drosselt den Gaszutritt zum ersten Ring und verzögert das Schlappwerden und das Festbrennen desselben.

Die Anpreßdrücke der Ölringe können, bezogen auf die tragende Höhe derselben, je nach dem Grad, der verlangten Abstreifwirkung im Höchstfall bis zu 5,0 kg/cm² im Graugußzylinder und bis zu 3,0 kg/cm² im Stahlzylinder gesteigert werden. Der Anpreßdruck der zwischen den Ölringen und dem zweiten Ring gelegenen Ringe kann — immer bezogen auf die tragende Ringhöhe — zwischen den oben angegebenen Werten liegen, und zwar um so niedriger, je höher der Ring gelegen ist.

3. Ausführungsformen der Kolbenringe

Je nach der Aufgabe, die den einzelnen Ringen zugewiesen wird, insbesondere nach der gewünschten Höhe des Anpreßdruckes und der angestrebten Ölverteilung im Zylinder wird das Kolbenringprofil verschieden gestaltet; die vorstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die im Flugmotorenbau gebräuchlichen Ringquerschnitte.

4. Ausbildung des Ringstoßes

Bei raschlaufenden Maschinen genügt unter allen Umständen der einfache gerade Ringstoß. Der häufig ebenfalls verwendete schräge Stoß bietet hinsichtlich des Abdichtvermögens des Ringes keinen Vorteil; bei in axialer Richtung schwach dimensionierten Ringen macht sich aber der Gasdruck an den Stoßenden geltend und drückt dieselben, entsprechend der Schlitzlage, auf einer Seite nach oben, auf der anderen Seite nach der unteren Flanke. Ferner wird die Tendenz des Ringwanderns (s. S.) vermehrt; um den Nachteil eines direkten Übereinanderstellens der Ringstöße infolge dieses Wanderns abzuschwächen, werden schräg geschlitzte Ringe meist abwechselnd mit rechts und links schrägem Schlitz eingebaut.

Selbstverständlich wird man das Stoßspiel der Ringe knapp bemessen; übertriebene Anforderungen in dieser Hinsicht sind aber zwecklos und können leicht zu Störungen führen.

Andere als die genannten Stoffausführungen sind im Flugmotorenbau nicht gebräuchlich und können auch entbehrt werden (Bild 19).

Da die Ringtemperatur stets höher liegt als die Temperatur des Zylinders, ist das Stoßspiel im Betrieb stets geringer, als es im kalten Zustand der Maschine festgestellt wird. Die Stirnflächen der Stoßenden dürfen auch in betriebswarmem Zustand nicht zum gegenseitigen Anliegen kommen, denn in diesem Fall wäre die freie Ringbeweglichkeit gefährdet. Bei gehinderter Wärmedehnung der Ringe kommt es aber zu ungeheuer hohen Flächenpressungen am Ringumfang und unbedingt zum Ringfressen.

Entsprechend den Betriebstemperaturen der Ringe erhält der erste Ring das größte Stoßspiel, während es für die folgenden Ringe geringer wird. Seine Größe kann von vornherein nicht ohne weiteres angegeben, sondern nur praktisch im Betrieb ermittelt werden. Es empfiehlt sich, für den obersten Ring bei wassergekühlten Zylindern mit einer Temperaturdifferenz von mindestens 100°, bei heiß- und luftgekühlten Maschinen von mindestens 150° zwischen Ring und Zylinder zu rechnen.

Darüber hinaus wird das Stoßspiel auch noch weiter häufig größer gewählt, wenn durch Ringflattern ein Aneinanderschlagen der Stoßenden im Betrieb beobachtet wird, denn dies führt unfehlbar zum Brechen der Ringe. Es kommen daher für den obersten Ring häufig Stoßspiele zur Anwendung, die weit über das übliche Maß hinausgehen. Die richtige Lösung in solchen Fällen ist es aber, das Ringflattern als solches zu beheben.

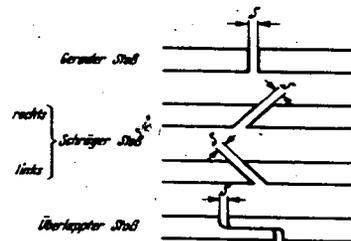


Bild 19 Stoffausbildung. S Stoßspiel

VII. Schmierölverbrauch und Kolbenringe

[28, 27]

Für das ordnungsgemäße Arbeiten von Kolben und Ringen raschlaufender Maschinen ist es durchaus erwünscht, daß reichliche Mengen Schmieröl in den Zylinder gelangen; es muß nur dafür gesorgt werden, daß das Öl nicht in den Verbrennungsraum gefördert, sondern richtig abgestreift und in den Kurbelraum zurückgeführt wird.

Die richtige Ölverteilung im Zylinder und der angemessene Ölverbrauch wird aber durch das Zusammenwirken aller Ringe, also durch Kompressions- und Ölringe gemeinsam, erzielt.

Grundsatz bei der Durchbildung einer Kolbenringdichtung muß es im Hinblick auf den richtigen Ölverbrauch sein, daß dem von jedem einzelnen Ring abgestreiften Öl Gelegenheit gegeben sein muß, entweder unbehindert abzufließen oder sich in entsprechenden Nuten oder Taschen sammeln zu können, aus denen das gespeicherte Öl beim nächsten Aufwärtsgang des Kolbens wieder über die Zylinderlauffläche verteilt wird. Ist dies nicht der Fall, so entstehen bei raschlaufenden Maschinen infolge des Staus des abgestreiften Öles derart hohe Drücke, daß die Ringe, wenigstens die weiter abwärtsgelegenen, von ihrem Sitz auf der unteren Flanke auch gegen den auf dem Ring von oben her lastenden Gasdruck abgehoben werden können, wodurch der Ring seine Wirksamkeit verliert. Bei ungünstiger Profilierung ist es auch möglich, daß der Ring durch den Oldruck von der Zylinderwandung abgehoben wird, womit das Flattern der Ringe angeregt werden kann.

Ölsammelräume können auch durch Brechen der Nutenkanten am Kolben oder durch Zurücksetzen der Kolbenringstege gebildet werden; sie sind um so reichlicher zu bemessen, je weiter abwärts der betreffende Ring gelegen und je reichlicher die Ölversorgung des Zylinders ist.

Bei den eigentlichen Olabstreifungen, die große Öl-mengen zu bewältigen haben, also vornehmlich beim untersten Ring, wird man dem abgestreiften Öl stets durch Schlitz- oder Bohrungen im Kolben Gelegenheit geben müssen, rasch und ohne nennenswerten Widerstand abzufließen. Hat der Ring mehrere abstreifende Kanten, wie dies bei Schlitzringen und gebohrten Ringen der Fall ist, so kommt der Ring nur dann zur vollen Wirksamkeit, wenn dem von jeder einzelnen Kante abgestreiften Öl die Möglichkeit zu unbehindertem Abfluß gegeben ist.

Zur richtigen Wirkungsweise der Kompressionsringe sollen deren Laufkanten nach beiden Seiten scharf sein oder höchstens nur ganz schwach gebrochen werden. Hingegen können jene Kanten der Olabstreifringe, die im Sinne der Verdichtungsbewegung des Kolbens gelegen sind, abgestuft oder gerundet werden.

Bei neu eingebauten Kolbenringen liegt der Ölverbrauch zunächst höher, sinkt dann mit fortschreitendem Einlaufzustand der Ringe zuerst rascher, dann allmählicher ab, bis ein stationärer Zustand erreicht ist. Wird der Ringverschleiß oder der durch die Betriebsverhältnisse hervorgerufene Spannungsverlust so groß, daß der Anpreßdruck unzulässig absinkt, so steigt der Ölverbrauch zunächst allmählich, dann rascher an. Ein besonders rasches Ansteigen des Ölverbrauches tritt dann ein, wenn die freie Beweglichkeit der Ringe aus irgendeinem Grunde behindert wird, so z. B. durch das Festbrennen der Ringe.

Übermäßiges Ansteigen des Ölverbrauches tritt auch dann ein, wenn die Kolbenringe zum Flattern kommen.

VIII. Betriebsverhalten der Kolbenringe

1. Einbau und Ausbau von Kolbenringen

Unsachgemäßes Aufsetzen auf den Kolben kann auch den besten Kolbenring verformen und unbrauchbar machen. Kolbenringe sind daher nicht von freier Hand aus überzustreifen, sondern es sind besondere Überstreifgeräte zu verwenden.

Die beim Überstreifen auftretenden Beanspruchungen hängen von der Art des Überstreifens ab; je nach dem Angriffspunkt der den Ring aufspreizenden Kräfte und der Richtung derselben fällt das Biegemoment in den jeweils höchst beanspruchten Querschnitten verschieden groß aus. Am günstigsten wird die Überstreifspannung, wenn das Aufbringen auf den Kolben durch Überstreifen über einen Kegel von einer Steigung von etwa 1 : 10 erfolgt.

Ähnlich sorgfältig wie beim Überstreifen muß beim Ausbau der Ringe vorgegangen werden; zum richtigen Fassen der Ringe bedient man sich am besten einer Kolbenringzange.

2. Einlaufen der Ringe

Unmittelbar nach dem Einbau der Kolbenringe sind diese, da ihr Abdichtvermögen noch ungenügend ist, nicht imstande, die volle Motorleistung ohne weiteres dauernd aufzunehmen. Infolge der mangelhaften Berührung zwischen Ringlauffläche und Zylinder ist der Wärmefluß vom Kolben zur Zylinderwandung behindert. Dies führt bei zu raschem Steigern der Belastung zur Überhitzung des Kolbens mit allen bekannten Folgen. Durch das erhöhte Durchblasen der noch nicht eingelaufenen Ringe werden Kolben und Ringe weitere Wärmemengen zugeführt, was die Erscheinung weiter verstärkt.

Die Einlaufdauer ist je nach der Eigenart der betreffenden Maschine, dann aber auch nach der Ringqualität verschieden. Im allgemeinen rechnet man mit Einlaufzeiten von etwa 5 Stunden, während welcher der Motor mit allmählich gesteigerter Drehzahl und steigendem Drehmoment zu fahren ist. Der Einlaufzustand erscheint dann erreicht, wenn bei Vollbelastung der Maschine Ölverbrauch und Temperaturverhältnisse an derselben die erfahrungsgemäß normalen Werte aufweisen.

3. Verschleiß der Kolbenringe

[4, 7, 10, 13, 14, 16, 19]

Auf die Größe des Kolbenringverschleißes nehmen Einfluß:

a) Die Werkstoffeigenschaften (u. zw. jene der Kolbenringe in enger Wechselwirkung mit jenen des Zylinders); Gefügeaufbau, Homogenität, Freiheit von Spannungen in den auf Verschleiß beanspruchten Oberflächen, Oberflächenhärte sowie Güte der Oberflächenbearbeitung.

b) Die Gestaltung, u. zw. Ringprofil, Ringstoßspiel und Spiel der Ringe in den Nuten. Unter ungünstigen Betriebsverhältnissen geben axial höhere Ringe — bei gleichen spezifischen Anpreßdrücken — wesentlich geringeren Verschleiß; doch verwischen sich diese Unterschiede unter günstigen Betriebsverhältnissen. Ohne Einfluß auf die Höhe des Verschleißes scheint — innerhalb der üblichen Grenzen — die Ringspannung zu sein; hingegen unterliegt es keinem Zweifel, daß übermäßig hoch gesteigerte Anpreßdrücke zu erhöhtem Verschleiß führen; ebenso steigt der Verschleiß an, wenn der Anpreßdruck einen Mindestwert von etwa 0,6—0,7 kg/cm² unterschreitet.

c) Die Temperaturverhältnisse in der Kolbenringpartie. Hohe Betriebstemperatur führt, zur Zerstörung des Schmierölfilms an der Lauffläche und leitet damit den Verschleiß eigentlich erst ein.

d) Die Betriebsverhältnisse.

Gleichmäßige Belastung bei gleichmäßiger Schmieröltemperatur und gleichbleibenden Kühlungsverhältnissen, sowie ununterbrochener Betrieb geben günstigen, stark wechselnde Betriebsverhältnisse und unterbrochener Betrieb hingegen ungünstigen Verschleiß.

e) Die Beschaffenheit des Kraftstoffes.

Unversetzter Kraftstoff gibt geringeren Verschleiß als solcher mit Bleitetraäthylzusatz; noch höher wird der Verschleiß bei Verwendung von mit Eisenpentakarbonyl versetztem Kraftstoff.

f) Das Schmiermittel.

Diesem kommt bei weitem der größte Einfluss auf die Höhe des normalen Verschleißes zu. Abnormes Verschleißverhalten ist fast stets — sofern keine Behinderung der freien Beweglichkeit der Ringe vorliegt — auf Versagen der Schmierung zurückzuführen.

Der Kolbenringverschleiß kommt durch verschiedene Einflüsse zustande:

a) Durch rein mechanischen Abrieb: örtliche Überbeanspruchung führt zur Oberflächenermüdung und damit zum Lostrennen kleinster Teilchen (Verschleiß durch Abrasion).

b) Wo Stellen der beiden Oberflächen zu unmittelbarer Berührung kommen, weil eine trennende Schmierölschicht fehlt, können beim Übereinandergleiten unter dem Einfluss hoher örtlicher Flächendrücke an einzelnen Stellen bedeutende Temperatursteigerungen auftreten, die bis zum Verschweißen der Teilchen führen können. Durch das Herausreißen der verschweißten Teilchen aus ihrem Verband tritt das „Schorfen“ ein. Kann die örtlich durch diesen Vorgang gebildete Wärme nicht genügend rasch abgeführt werden, so kommt es zum Verschweißen größerer Flächen und zum Fressen.

c) Kommen Fremdkörper aus der Ansaugluft, aus dem Brennstoff oder auch mit dem Schmieröl zwischen die gleitenden Flächen, so wirken diese Teilchen ebenfalls verschleißend, wenn ihre Härte höher liegt als jene des weichsten Gefügebestandteiles der beiden Teile (Verschleiß durch Erosion). Solche Teilchen betten sich auch in die weicheren der beiden Verschleißteile ein und bewirken dann erhöhten Verschleiß am härteren Teil. Auch losgetrennte Teilchen von Ringen und Zylindern sowie Verbrennungsrückstände können in gleicher Weise wirken.

d) Korrosionsverschleiß: Zwischenprodukte und Endprodukte der motorischen Verbrennung wirken z. T. stark korrodierend auf Ringe und auf Zylinder. Der Korrosionsangriff überwiegt bei niedriger Temperatur der Zylinder und der Ringpartie; er macht sich also vor allem bei sehr niedrig belasteten Maschinen, bei stark schwankender Belastung und bei zu starker Kühlung bemerkbar. Schlechtes oder ungeeignetes Schmieröl kann den Korrosionsangriff bedeutend steigern.

Zwischen spezifischem Anpreßdruck, Temperatur der Verschleißteile und der wacherufenen Reibungskraft bestehen nach Versuchen, die bei Mahle [12] durchgeführt wurden, gewisse Beziehungen, welche in Bild 20 dargestellt erscheinen; die Reibungskraft erreicht bei Temperaturen zwischen 120 und 160° ihr Minimum, doch wechseln diese Grenzen mit dem Werkstoff; die Temperatur in der Ringpartie sollte daher womöglich nicht allzu weit von diesen Grenzen liegen.

Während des Einlaufens ist der Verschleiß an den verschiedenen Umfangspunkten zunächst sehr ungleichmäßig, da vorerst ein Anpassen der Ringform an den Zylinder stattfindet; nach beendetem Einlaufen wird der Verschleiß über den ganzen Umfang hin gleichmäßiger.

Der größte Verschleiß der Ringe tritt in der Regel nahe an den Stoffenden auf; durch den Verschleiß an

Zylinder und Ring wird bewirkt, daß das Stoffspiel des Ringes sich vergrößert; es ändert sich damit die radiale Druckverteilung des Ringes in bemerkenswerter Weise: an den Stoffenden sinkt der Anpreßdruck verhältnismäßig am stärksten ab; das Abdichtvermögen des Ringes wird an dieser Stelle gestört oder auch ganz aufgehoben und dadurch seine Neigung zum Flattern erhöht.

Ein Beispiel für die Veränderung der Radialdruckkurven mit fortschreitendem Ringverschleiß geben die beiden Bilder 16 c und 16 d. Es erklärt sich hieraus auch das Bestreben, dem Ring von Haus aus womöglich eine Radialdruckverteilung nach Bild 16 c zu geben, da es naturgemäß für diesen Ring länger dauert, ehe er den Zustand 16 d erreicht, als z. B. bei einem Ring mit der Radialdruckverteilung nach Bild 16 a.

Starker einseitiger oder örtlicher Verschleiß eines Kolbenringes deutet stets auf eine Behinderung der freien Beweglichkeit des Ringes in seiner Nut.

Der Verschleiß in axialer Richtung ist viel geringer als jener in der Richtung des Radius; übermäßiger axialer Verschleiß weist auf zu großes axiales Ringspiel, auf stark verschmutztes Schmieröl oder auf unrichtige Bearbeitung der Nutenflanken hin.

Der Verschleiß an der Lauffläche erfolgt nicht über die ganze Ringhöhe hin gleichmäßig, vielmehr nimmt der Ring im Betrieb die Form eines sehr schlanken Doppelkegels an, dessen Öffnungswinkel nur wenige Minuten beträgt und dessen Größe offenbar durch die Größe des Kippwinkels des Kolbens bestimmt wird (Bild 21).

4. Spannungshaltung der Ringe

Die Spannung jedes Kolbenringes nimmt im Motorbetrieb mit zunehmender Laufzeit zunächst rasch, dann langsamer ab. Der Spannungsverlust ist begründet:

a) im natürlichen Verschleiß und der damit verbundenen Querschnittsverminderung der Ringe;

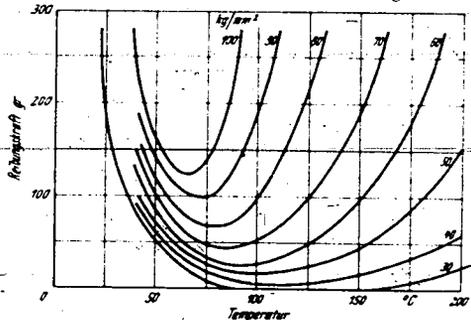


Bild 20 Ergebnisse von Reibungs- und Verschleißversuchen (ausgeführt auf Verschleißmaschine nach Dr. Koch): Beziehung zwischen Anpreßdruck und Reibungskraft bei verschiedenen Temperaturen (nach Moser) Versuchsbedingungen: Grauguß auf Stahl Probelauflächen eingelaufen Gleitgeschwindigkeit 6,7 m/sek

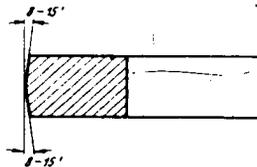


Bild 21 Verschleiß eines zylindrischen (geraden) Kompressionsringes

b) in höherem Maße in der Arbeitstemperatur der Ringe; je höher diese liegt, desto rascher und weiter sinkt die Spannung ab.

Die Höhe der Ringtemperatur wieder wird beeinflusst von der Temperatur der Ringpartie des Kolbens, jener des Kühlmittels bzw. des Zylinders und dem Wärmeübergang vom Kolbenring zum Zylinder, daneben aber auch in hohem Maße von der Menge der in der Lauffläche des Ringes selbst gebildeten Wärme: Ringe mit schlechten Laufeigenschaften geben ungünstige Reibungsverhältnisse und weisen stets hohen Spannungsverlust auf. — Hieraus ist auch der Einfluß der Schmierungsverhältnisse auf den Spannungsverlust erklärlich.

Die Größe des Spannungsabfalls wird unter sonst gleichen Bedingungen wieder beeinflusst:

1. durch die Höhe der Beanspruchung, die im eingebauten Ring auftritt;
2. durch die Gefügeausbildung des Ringes [15]; näheres über diesen Punkt ist bereits im Abschnitt „Gefüge der Graugußringe“ gesagt worden. Insbesondere ist die Stärke des Phosphidnetzes und seine Engmaschigkeit für gute Spannungsbhaltung wichtig.

5. Das Ringstecken (Festbrennen)

[29]

Das Festbrennen der Ringe in den Nuten ist eine Erscheinung, die bei manchen Motorentypen, vor allem aber bei Zweitaktmaschinen, häufiger auftritt; es wird durch Ablagerungen von klebrigen Rückständen des Brennstoffes oder des Schmieröles bewirkt, die den Ring zunächst in seiner freien Beweglichkeit beeinträchtigen und dadurch das richtige Abdichten des Ringes verschlechtern und schließlich unmöglich machen. Das Festwerden der Ringe wird am vermehrten Gasdurchlaß durch die Kolbenringdichtung kenntlich; die Zylinderlauffläche wird trocken gefegt, der Kolben wird überhitzt und schließlich tritt Fressen des Kolbens und der Ringe ein.

Auf das Ringstecken nehmen folgende Umstände Einfluß:

1. die Eigenschaften der Betriebsstoffe,
2. konstruktive Eigenheiten der Maschine,
3. die Betriebsbedingungen.

Für jeden verwendeten Betriebsstoff besteht offenbar ein kritisches Temperaturgebiet, unterhalb und oberhalb welchem kein Festbrennen eintritt. Das Kriterium für das Festgehen der Ringe scheint in der Temperatur der letzteren und der Ringpartie des Kolbens zu liegen.

Die Laufzeit bis zum Festbrennen der Ringe wird daneben noch durch die folgenden konstruktiven Einzelheiten bestimmt:

- a) axiales Spiel der Ringe in ihren Nuten; durch Vergrößerung desselben kann der Zeitpunkt des Festbrennens erheblich hinausgeschoben werden;
- b) Form des Kolbenringprofils: Ringe mit konischen Flanken (Trapezringe — vgl. Profil Nr. 14, Seite) zeigen wesentlich geringere Neigung zum Festbrennen als solche mit ebenen Flanken;
- c) es wurde auch der Versuch gemacht, durch lose in die oberste Ringnut neben dem normalen Ringe eingelegte Ringe von etwas kleinerem Durchmesser als die Zylinderbohrung (sog. „Inertia“-Ringe), das Festbrennen dadurch zu bekämpfen, daß dieser Ring unter dem Einfluß der Massenkräfte in der Nut auf und ab geschleudert wird; der Erfolg dieser Maßnahme ist gering.

Von den Betriebsbedingungen haben nur jene einen etwas größeren Einfluß auf das Festbrennen der Ringe, die die Temperatur der Kolbenringpartie bestimmen. Es wäre hier zu nennen:

- a) die mittlere Temperatur des Verbrennungsraumes, je höher dieselbe liegt, desto früher erfolgt das Festbrennen;

b) der Schmieröl Druck und die an den Kolben gelangende Schmierölmenge, da dadurch die Kolbenkühlung erheblich beeinflusst wird;

c) die Maschinenleistung: Steigende Leistung führt im allgemeinen zu früherem Festbrennen.

Wesentlich geringer sind die Einflüsse der Maschinen-drehzahl, der Schmieröltemperatur und der Temperatur des Kühlmittels.

Zylinderwerkstoff, Kolben- und Kolbenringwerkstoff haben auf die Laufzeit bis zum Festbrennen ebenfalls nur dann Einfluß, wenn durch sie die thermische Beanspruchung der Kolbenringpartie beeinflusst wird. Soweit dies die Kolbenringe betrifft, kann deren Laufverhalten insofern bestimmend sein, als dadurch die in der Lauffläche entstehende Reibungswärme verschieden groß sein kann.

IX. Prüfung von Kolbenringen

[30, 31, 32]

Einheitliche Richtlinien für die Prüfung von Kolbenringen bestehen im Inlande nicht.

Handelt es sich um die Prüfung von Graugußkolbenringen, so empfiehlt es sich, das Kennzeichnen jedes einzelnen Ringes mit der Nummer der Schmelze durch den Ringhersteller vorzuschreiben.

Immerhin sind aber innerhalb ein und derselben Schmelze ziemlich bedeutende Schwankungen in der Analyse, in der Gefügeausbildung sowie in der Härte zu erwarten: Ruf des Herstellers und Können der betreffenden Gießerei werden oft ausschlaggebender für die Beurteilung der Ringe sein müssen als das Ergebnis einer stichprobenweisen Untersuchung.

Empfohlen wird die Untersuchung der Ringe in folgender Weise:

- A. An jedem einzelnen Ring sollten die in der folgenden Übersicht mit einem Kreuz bezeichneten Proben vorgenommen werden:

Ausführung der Ringe und Maßhaltigkeit.

- × a) Außendurchmesser und Stoßspiel: Einlegen in einen Kaliberring vom Nenndurchmesser des Kolbenringes.

An diesem Ring kann das Stoßspiel mittels Fühllehre gemessen werden.

Für die Prüfung großer Ringserien hat sich ein im Prinzip aus einem geteilten Kaliberring bestehendes Meßgerät bewährt, an dessen Meßuhr die Größe des Stoßspieles direkt abgelesen werden kann.

- × b) Stoßöffnung: Die Stoßöffnung wird am ungespannten Ring, am besten mit Keilmaßstäben, direkt ausgemessen.

- × c) Radiale Wandstärke: Die Messung der Wandstärke erfolgt am gesamten Ringumfang auf einer eigenen Vorrichtung mittels Meßuhr (Bild 22).

- × d) Axiale Ringhöhe: Bewährt hat sich für die Prüfung größerer Ringzahlen eine Durchschiebelehre mit einem „Gut“- und einem „Ausschuff“-Spalt, eingestellt entsprechend den zugelassenen Toleranzen für die Kolbenringhöhe (Bild 23).

Flugzeug-Kolbenringe erhalten im allgemeinen geläppte Flanken mit einer Höhen-Toleranz von 0,010 bis 0,015 mm unter Nennmaß.

- e) Winkligkeit der Lauffläche bzw. Konizität der Lauffläche bei Topringen:

Hier bestehen Sondermeßgeräte, wie ein solches z. B. in Mahle, „Technisches über Kolbenringe“ [19], abgebildet ist.

Die Prüfung von Topringen bezweckt vor allem die Kontrolle der richtigen Kennzeichnung: die

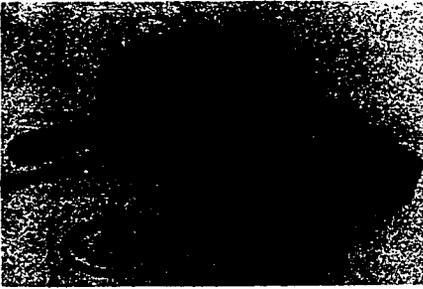


Bild 22 Gerät zum Ausmessen der radialen Wandstärke von Kolbenringen



Bild 23 Prüfllehre zur Prüfung der axialen Höhe der Kolbenringe

Oberseite konischer Ringe muß deutlich bezeichnet sein, um einen unrichtigen Einbau mit Sicherheit zu vermeiden, da die Konizität der Topringe nur wenige Winkelminuten beträgt und daher mit freiem Auge nicht wahrzunehmen ist.

× f) **Rundheit:**

Der Kolbenring soll nach dem Aufstreifen auf den Kollern vollkommen rund bleiben; daher wird die Rundheitsprüfung vorteilhaft nach einer Überstreifprobe über einen konischen Dorn, dessen größter Durchmesser gleich dem Außendurchmesser des Ringes ist, vorgenommen, und zwar mittels

a) **Lichtspaltprüfung:**

Für die Rundheitsprüfung wurden hochempfindliche Lichtspaltprüfgeräte entwickelt, bei denen der Ring in einen Kaliberring eingelegt wird; er muß am ganzen Umfang lichtdicht anliegen, etwaige Fehler werden vergrößert sichtbar.

Die Lichtspaltprobe sagt aber nichts über die Verteilung des Anpreßdruckes aus; es kann ein vollkommen runder Ring auch Stellen aufweisen, die mit dem Anpreßdruck Null an der Zylinderwandung anliegen.

β) **Prüfung durch Tuschieieren in einem Zylinder:**

Kolbenringe, die auf „ratternden“ Drehbänken bearbeitet wurden, können bei der Rundheitsprüfung im Lichtspalt nicht erkannt werden; wohl aber ist dies beim Eintuschieren der Ringe in einem Zylinder vom Nenndurchmesser möglich. Auf gleiche Weise können auch Ringe

festgestellt werden, bei denen der Anpreßdruck sich ungleichmäßig über die Höhe der Ringe verteilt.

g) **Planheit:**

a) Mit genügender Genauigkeit können die Ringe durch Auflegen auf eine Tuschieerplatte geprüft werden; durch leichtes Andrücken der Ringe auf die Platte mit dem Finger lassen sich Unregelmäßigkeiten leicht erkennen.

β) Größere Empfindlichkeit weist ein Gerät auf, bei welchem der zu prüfende Ring zwischen zwei planparallele Platten gelegt wird; eine im Innern des Gerätes befindliche Lichtquelle läßt etwaige Unplanheiten im Lichtspalt aufscheinen.

× h) **Spannung:**

Zur Prüfung der Spannung werden Spezialwaagen (hergestellt u. a. von der deutschen Toledowaagenges., Bild 24) verwendet; gemessen wird, nach Umlegen eines elastischen Stahlbandes um den Ring, die zum Schließen des Ringes bis auf das Stoßspiel nötige Kraft (d. i. die Kraft T nach Seite 11) als sog. „Toledospannung“.

Bei anderen Geräten wird die diametral angreifende, zum Schließen der Ringe nötige Kraft (d. i. Kraft D nach Seite 11) gemessen. (Bild 25):

i) **Radialdruckverteilung:**

a) Die genaue Messung der Radialdruckverteilung erfordert empfindliche Einrichtungen und wird, außer an bestimmten Forschungsstellen, kaum durchgeführt werden (vgl. Seite 11).

× β) **Prüfung im elastischen Band** (Bild 25):

Durch Umschlingen mit einem schmalen, sehr dünnen Stahlband wird der Ring bis auf sein Stoßspiel zusammengezogen; die Durchmesser werden nun nach verschiedenen Richtungen mittels Schublehre ausgemessen; dabei ergeben sich Unterschiede, die bis zu einigen Millimetern betragen können. Von einem guten Kolbenring muß verlangt werden, daß der über den Stoß gemessene Durchmesser der größte ist, d. h. der Ring muß positive Ovalität zeigen.

× k) **Oberflächenbearbeitung:**

Die Prüfung hat sich zu erstrecken:

a) auf die **Bearbeitung der Lauffläche:**

Die Lauffläche soll feingedreht sein und gleichmäßiges Aussehen zeigen. Die Laufkan-

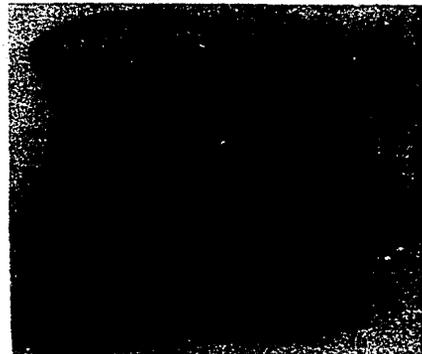


Bild 24 Toledomaage zur Bestimmung der Ringspannung

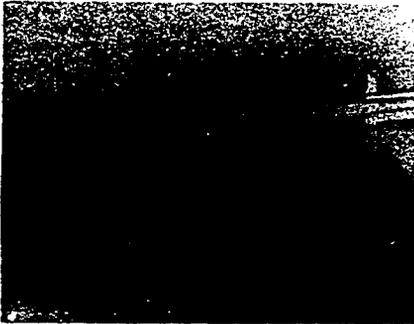


Bild 25. Prüfung der Opazität der Kolbenringe im elastischen Band

ten und die Kanten des Ringstoffes müssen rein und dürfen nicht ausgebröckelt sein.

- β) auf die Bearbeitung der Flanken: Flugmotorenkolbenringe erhalten durchweg geläppte Flanken.

Die Prüfung der Oberflächenbearbeitung erfolgt bei mäßiger Vergrößerung am besten mit binokularen Prismenlupe. Bei dieser Prüfung ist der Werkstoff auch auf etwaige Feinporosität hin zu untersuchen.

B. An einzelnen Ringen aus jeder Schmelze soll ermittelt werden:

- 1. Die Analyse; diese hat sich zu erstrecken auf die Bestimmung von:

Cges, Cgeb, Si, Mn, P, S.

gegebenenfalls auf die Bestimmung von Legierungselementen.

- 2. Härtebestimmung. Die Prüfung erfolgt vorteilhaft an den Ringflanken nach Rockwell B (d. i. $\frac{1}{16}$ " = 1,59 mm-Kugel, Prüflast 100 kg).

Die Prüfung hat an jedem zur Untersuchung gelangenden Ring an mindestens 6 Punkten zu erfolgen.

- 3. Biegefestigkeit und bleibende Formänderung nach den im Abschnitt III, 3 gegebenen Hinweisen.

- 4. Gefügeuntersuchung. An wenigstens 4 Stellen jedes zur Einzeluntersuchung herangezogenen Ringes sind zu beurteilen:

a) am ungeätzten Schliff bei 100facher Vergrößerung die Graphitbildung;

β) an dem mit 2%iger alkohol. HNO₃ geätzten Schliff bei 500facher Vergrößerung das Gefüge;

γ) an dem mit Natriumpikrat tiefgeätzten Schliff bei 20facher Vergrößerung die Ausbildung des Phosphids.

Wichtig ist die Schliffbeurteilung an der Lauffläche und an den Lauffkanten der Ringe.

Schrifttum

A. Theorie und Allgemeines:

- [1] Eweis, Reibungs- und Undichtigkeitsverluste an Kolbenringen. VDI-Verlag, Forschungsheft 371.
- [2] Roux, Untersuchung und Prüfung selbstspannender Kolbenringe. Dissertation Breslau 1921.
- [3] Englisch, Abdichtungsverhältnisse an Kolbenringen. ATZ 1938, Heft 22.
- [4] Keikiti Ebihara: Researches on Piston Rings. Scientif. Papers of the Inst. of Phys. and Chemical Research. Tokio 1929, Band X.
- [5] Salzmann, Wärmefluß durch Kolben und Kolbenringe. Dissertation Eidg. T. H. Zürich 1932.

- [6] Williams, Cylinder Wear. IAE-Journal, Juni 1934.
- [7] Kuhn, Einfluß des Werkstoffes der Kolbenringe auf ihre Laufzeit. Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung 1938, II, S. 87.
- [8] Reinhardt, Selbstspannende Kolbenringe. ZVDI 1901, S. 232.
- [9] Englisch, Der Elastizitätsmodul von Kolbenringwerkstoffen. Bestimmung und Bedeutung. ATZ 1937, Heft 17.

B. Ringreibung und Verschleiß:

- [10] Hawkes und Hardy, Reibung von Kolbenringen. Engineer, Bd. 161 (1936), S. 266.
- [11] Illmer, Piston-Ring Friction in High Speed Engines. Transaction of the Am. Soc. of Mech. Engineers, Bd. 59, Heft 1.
- [12] Mahle Komm.-Ges., Forschung im Dienst der Werterhaltung. Verschleiß und dessen Verminderung bei Kolben, Kolbenringen und Zylindern von Fahrzeugmotoren. V. Prüffeld der Mahle Komm.-Ges. Der Reparaturkolben, August 1939.
- [13] Taub, Zylinderverschleiß. Automobile Engineer 1939, Heft 3.
- [14] Beck, Zylinder- und Kolbenringverschleiß. Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 29, VDI-Verlag.
- [15] Planiol, Les pertes par frottement dans les moteurs. Journal de la société des Ingénieurs de l'automobile, Juni 1936, S. 198.
- [16] Schwarz, M. v., Dünnwandiger Grauguß und sein Abnutzungswiderstand, mit besonderer Berücksichtigung der Kolbenringe.—Die Gießerei.—1936, S. 257.

C. Ringflattern:

- [17] Williams und Young, Piston Ring Blow-By on High-Speed Petrol Engines. IAE-Journal, Juni—Juli 1939.
- [18] Taub, Kraftwagenmotoren in England. SAE-Journal, Bd. 42, Nr. 6.

D. Werkstoffe:

- [19] Mahle Komm.-Ges., Technisches über Kolbenringe.
- [20] Yates, Gegenwärtige Entwicklung der Kolbenringwerkstoffe. SAE-Journal, Februar 1939.
- [21] Spencer, Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Stahl und Gußeisenteilen. Steel, Dezember 1938.
- [22] Pyc, Werkstoffkunde und Flugmotorenbau. Vortrag auf der Hauptversammlung der Lilienthalgesellschaft für Luftfahrtforschung, München 1937.
- [23] Irving, Piston Ring Production. The Automobile Engineer, Oktober 1933.
- [24] Goetze-Werk, Der Kolbenring. Hauszeitschrift.
- [25] Englisch, Verbesserung des Einlaufverhaltens von Kolbenringen durch Oberflächenbehandlungsverfahren. ATZ 1939, Heft 23.

E. Schmierung und Kolbenring:

- [26] Robertson, Hydraulic Action in Piston Ring Design. SAE-Society, Chicago, Sitzungsbericht vom 1. September 1933.
- [27] Boumann, Lubrication of Piston Rings. IME, General Discussion on Lubrication and Lubricants; Vortrag, Oktober 1937.

F. Das Ringstecken (Festbrennen):

- [28] Bridgeman, The Problem of Ring Sticking in Aviation-Engines. SAE-Journal, Bd. 41, Nr. 6, S. 545.
- [29] Glaser, Der Einfluß der Betriebsbedingungen auf das Kolbenringstecken bei der Betriebsstoffdauerprüfung. Luftfahrt-Forschung 1939, S. 438.

G. Prüfung von Kolbenringen:

- [30] Koch, Über Kolbenringprüfung. Deutsche Motorenzeitschrift 1929, Heft 11.
- [31] Williams, Piston Rings and Cylinder Liner. New Methods of Mechanical Testing of Modern Materials. The Automobile Engineer, 1937, S. 333.
- [32] Hurst, A System for the Investigation of the Mechanical Properties of Cast Iron. Metallurgie, Oktober 1938.

Abgeschlossen Oktober, 1939