

igung ohne Genehmigung
nicht gestattet
Exemplare nur durch
den Übersetzer

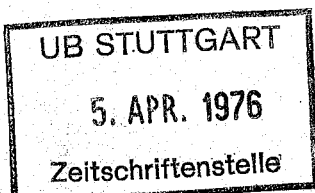
g. Gustav Kraut
Warmbronn
gart) Im Gäble 16

Übersetzung aus der japanischen Zeitschrift

"Nainen Kikan" (Die Brennkraftmaschine)

Band 14, Nr.173, Dezember 1975, Seite 11 - 17

Die Wärmedeformation des Zylinders einer Zweitakt-Brennkraft-
maschine



von S. Shirasagi

Firma Suzuki Automobil-
Industrie AG.

In der ersten Zeit der Zweitaktmotoren waren deren Zylinder nahezu durchweg aus Gußeisen hergestellt; die besonders hohen Geschwindigkeiten und die hohen Leistungen, die von den Zweiradfahrzeugen verlangt wurden, haben es jedoch mit sich gebracht, daß man, um eine Verbesserung der Kühlung zu erzielen, mehr und mehr dazu überging, für die Zylinder Aluminium mit seiner guten Leitfähigkeit zu verwenden. Um dieses Ziel zu verwirklichen, sind heute bereits eine Reihe verschiedener Verfahren in die Praxis eingeführt worden, welche je nach dem Verwendungszweck verschieden sind; von diesen Verfahren seien hier genannt 1. das Verfahren des Einsetzens gußeisener Zylinderbüchsen im Schrumpfverfahren, 2. das Einbringen der gußeisernen Zylinderbüchsen durch Festschweißen (Auftragschweißen?) im Zylinder, so z.B. das Alufin-Verfahren, und 3. das Verfahren der Herstellung eines galvanischen Überzuges auf der Innenfläche des Aluminiumzylinders, so z. B. die Herstellung eines CEM-Überzuges oder eines Chromüberzuges usw.

Von all diesen Verfahren ist es doch wohl das Warmschrumpfverfahren, d.h. also das Verfahren des Einbringens einer gußeisernen Zylinderbüchse im Schrumpfsitz, bei welchem der Mechanismus der Wärmedeformation des Zylinders am kompliziertesten ist. In der vorliegenden Arbeit haben wir unser Augenmerk ganz besonders auf diesen Punkt gerichtet und die

verschiedenen Faktoren, welche die Deformation des Zylinders bei der Ausführung des Verfahrens des Einbringens der Zylinderbüchsen durch Warmschrumpfen beeinflussen, experimentell untersucht; gleichzeitig haben wir Vergleiche mit dem Verfahren des Einschweißens der Zylinderbüchsen durch Auftragen einer Schweißnaht (?) durchgeführt; die Charakteristik der Deformation bei diesen Verfahren haben wir geklärt.

1. Vorwort

Auch bei den Aluminiumzylindern, wie man sie nach dem Verfahren des Einbringens der Zylinderbüchsen durch Warmschrumpfen erhält, tritt des öfteren ein durch die Deformation des Zylinders hervorgerufenes "Festfressen" auf. Wir haben als Beispiel einen Zweizylinder-Zweitaktmotor von 492 cc mit einer Bohrung von 70 mm und einem Hub von 67 mm herausgegriffen und die Formänderung der Zylinderinnenfläche vom Zeitpunkt vor dem Einbringen der Zylinderbüchsen durch Warmschrumpfen bis zu dem Zeitpunkt nach dem Betrieb des Zylinders untersucht; die Abb.1 zeigt Beispiele des Überganges der Formänderung der Zylinderinnenfläche, wie wir sie bei unseren Untersuchungen festgestellt haben. Vor dem Einbringen der Zylinderbüchse durch Warmschrumpfen stellt die Innenfläche der Zylinderbüchse eine genaue Kreiszyylinderfläche dar; da jedoch beim Einbringen der Zylinderbüchse durch Warmschrumpfen bedingt durch den konstruktiven Aufbau des Zylindergehäuses und der Zylinderbüchse der Druck beim Warmschrumpfen nicht gleichmäßig verteilt wird, tritt eine Deformation ein, wie sie in der Abb.1 unter der Bezeichnung "nach dem Warmschrumpfen" gezeigt wird. Diese Deformation wird durch mechanische Bearbeitung beseitigt und es wird wieder ein Zylinder von genauer kreiszyllindrischer Form hergestellt, es muß jedoch erwartet werden, daß während des

Betriebes in den einzelnen Teilen des Zylinders verschiedene Wärmespannungen und mechanische Spannungen auftreten und eine Deformation des Zylinders bewirken, so daß nach dem Betrieb des Zylinders in irgend einer Form solche Deformationen zurückbleiben. Bei diesem Beispiel wird, wie wir in der Abb.1 unter "nach dem Betrieb" sehen, der schraffiert dargestellte Teil an der Innenfläche besonders stark deformiert, insbesondere an den Zylinderwänden, gegen welche die Kolbendruckkraft (piston thrust) gerichtet ist, tritt erfahrungsgemäß ein "Festfressen" auf.

Bei der Untersuchung des Ausmaßes der Zylinderdeformation stoßen wir auf die von Muranoue³⁾ mitgeteilten Ergebnisse, der im Laufe der letzten Jahre nach dem Schnellstopverfahren die Zylinderdeformation gemessen hat, da jedoch bei unserem Motor ein Zusammenhang zwischen der Deformation nach dem Betrieb und den Stellen des "Festfressens" vorhanden ist, hat man, nachdem sich der Zylinder nach dem Betrieb abgekühlt hat, das Ausmaß der in der Zylinderbüchseninnenfläche zurückbleibenden Deformation als Parameter genommen und die nachstehend aufgezählten Versuche durchgeführt und dabei die Charakteristik der Deformation untersucht:

- 1) Die Untersuchung des Mechanismus der Deformation an einem Modellzylinder.
- 2) Maßnahmen zur Verbesserung der Deformation des Zylinders
- 3) Die Messung der Temperaturverteilung im Zylinder vor der Verbesserung und nach der Verbesserung.

Um das Ausmaß der Deformation zu ermitteln, hat man die Deformation mit Hilfe eines Unrundheitsmeßgerätes aufgezeichnet und ausgehend von dieser Aufzeichnung den mittleren Kreis ermittelt und diesen Kreis als Norm zugrunde gelegt.

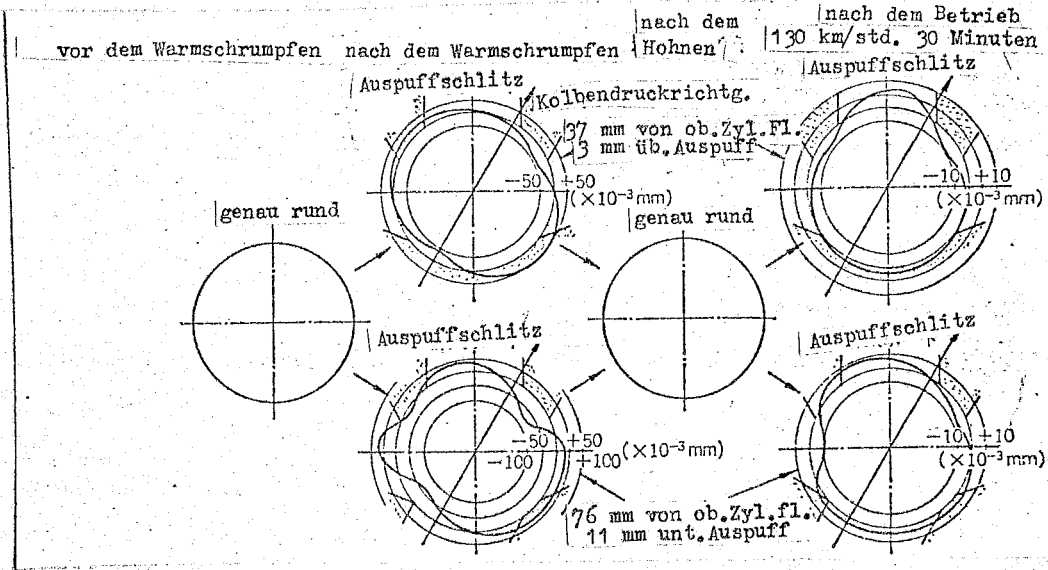


Abb.1 Die Übergänge der Zylinderdeformation (linker Zylinder)

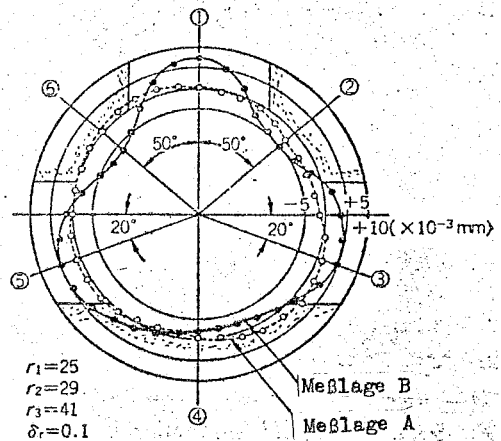
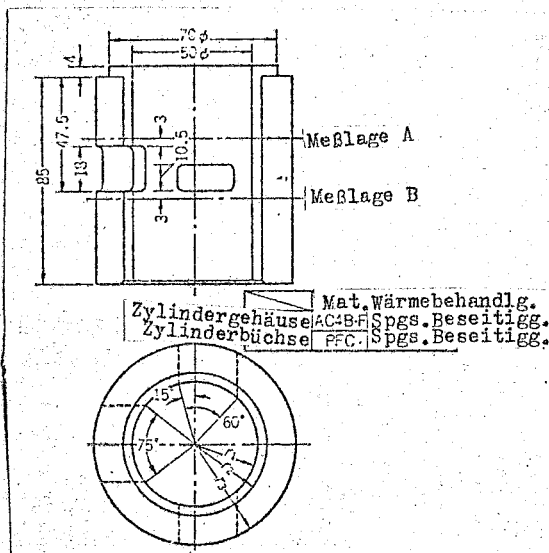


Abb.2 Modellzylinder

Abb.3 Ein Beispiel des Deformationsvorganges

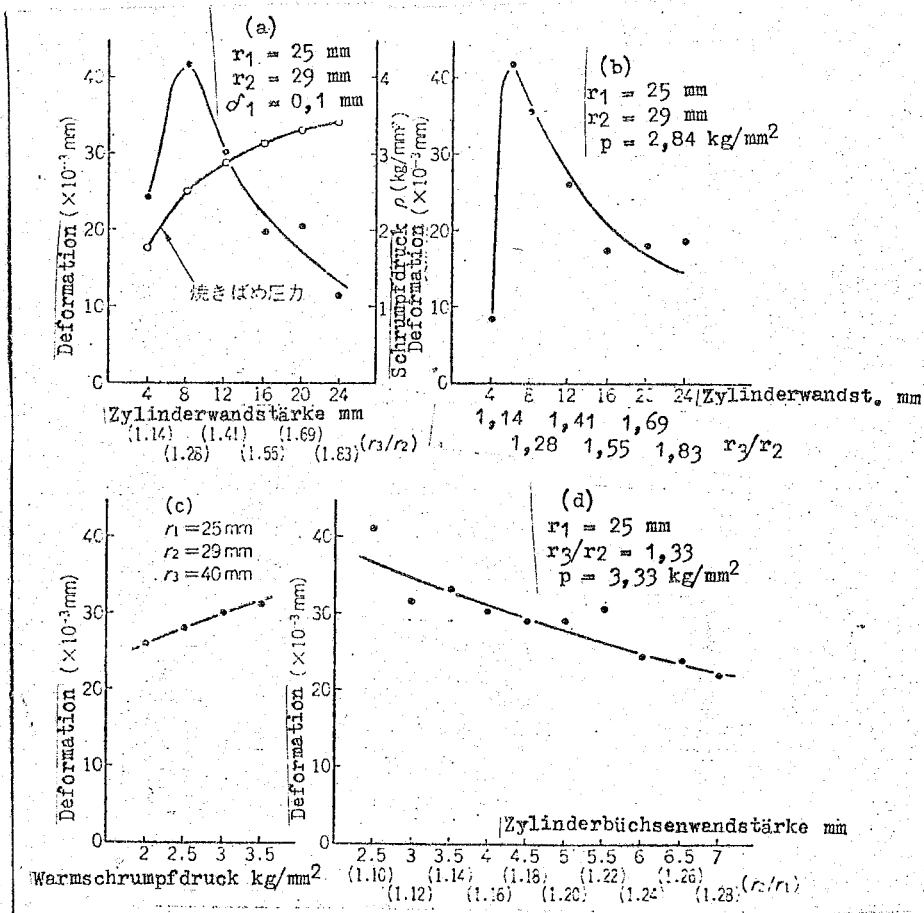


Abb.4 Der Zusammenhang der Größe der Deformation mit den Wandstärken der Zylinderbüchse und des Zylindergehäuses einerseits sowie mit dem Warmschrumpdruck andererseits.

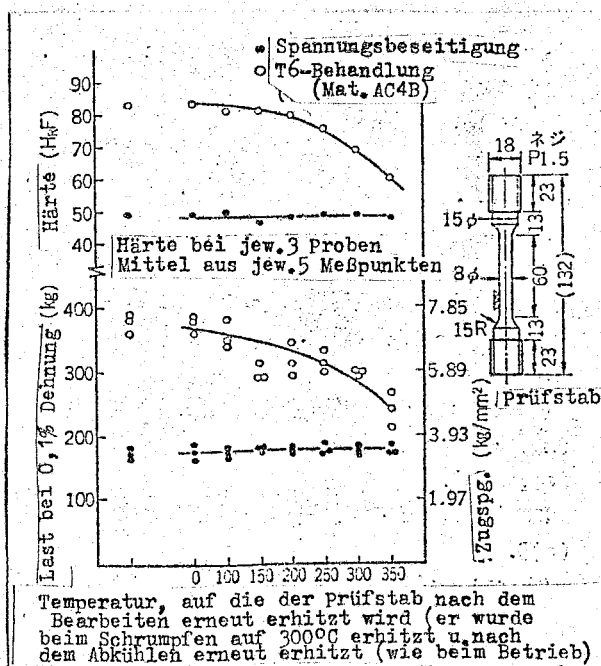


Abb.5 Vergleich der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Wärmebehandlung des Zylindergehäusematerials

2. Die Versuchsergebnisse

2.1 Die Untersuchung des Mechanismus der Deformation mit Hilfe eines Modellzylinders

Da bei einem Zylinder eines praktisch laufenden Motors Kühlrippen, Augen für die Stehbolzen und für die Stiftschrauben, sowie Ansaugschlitze, Auspuffschlitze, Spülluftschlitze usw. vorhanden sind, ist in einem solchen Zylinder die Wandstärke des Zylindergehäuses keineswegs gleichmäßig. Wir haben uns deshalb, um Kenntnisse über den Mechanismus der Deformation zu gewinnen, ein auf das äußerste vereinfachtes kreiszylinderförmiges Zylindermodell hergestellt, das wir in einem Ofen gleichmäßig erhitzen und dann abkühlen und dabei das Ausmaß der Deformation der Zylinderbüchseninnenfläche maßen; auf diese Weise konnten wir den Einfluß der Wandstärke der Zylinderbüchse sowie der Wandstärke des Zylindergehäuses und des Warmschrumpfdruckes auf die Deformation untersuchen. Die Abb.2 zeigt den Modellzylinder und die Deformationsmeßstellen. Unseren Messungen haben wir die nachstehend aufgeführten Prüfbedingungen zugrunde gelegt:

1) Der Prüfzylinder

- (a) Bei konstanter Warmschrumpfwerte und bei konstanter Zylinderbüchsenwandstärke haben wir die Wandstärke des Zylindergehäuses zwischen 4 mm und 24 mm geändert.
- (b) Bei konstantem Warmschrumpfdruck und bei konstanter Wandstärke der Zylinderbüchse haben wir die Wandstärke des Zylindergehäuses zwischen 4 und 24 mm geändert.
- (c) Bei konstanter Wandstärke der Zylinderbüchse und des Zylindergehäuses haben wir den Warmschrumpfdruck zwischen 2 und 3.5 kg/mm^2 geändert.
- (d) Bei konstantem Wandstärkeverhältnis von Zylindergehäuse und Zylinderbüchse und bei konstantem Warmschrumpfdruck haben wir die Wandstärke der Zylinderbüchse zwischen 2.5 und 7 mm geändert.

2) Die Warmschrumpfbedingungen

Das Zylindergehäuse wurde, als es bei der Erhitzung im Ofen 300°C erreicht hatte, aus dem Ofen herausgenommen und nach dem Warmschrumpfeinsetzen der Zylinderbüchse wurde es einer erzwungenen Luftkühlung unterworfen.

3) Die Bedingungen für die Erhitzung des Modellzylinders

Diese Bedingungen wurden hypothetisch angenommen wie beim praktischen Betrieb, d.h. wie bei der Fahrt; nachdem man 30 Minuten lang eine Temperatur von 250°C aufrechterhalten hatte, wurde der Modellzylinder an der offenen Atmosphäre einer natürlichen Luftkühlung unterworfen. Weiterhin wurde der Warmschrumpfdruck unter der hypothetischen Annahme, daß weder im inneren Zylinder noch im äußeren Zylinder Schlitze vorhanden sind, aufgrund der nachstehenden Formel berechnet.

$$p = \frac{\delta_r}{\frac{r_2}{m_3 E_3} \left\{ \frac{m_3 (r_2^2 + r_3^2)}{r_3^2 - r_2^2} + 1 \right\} + \frac{r_2}{m_2 E_2} \left\{ \frac{m_2 (r_1^2 + r_2^2)}{r_2^2 - r_1^2} - 1 \right\}}$$

Hierin sind E: der Young'sche Modul

1/m: das Poisson'sche Verhältnis

δ_r : die Warmschrumpfwerte (die Radiendifferenz)
zwischen Zylinderbüchse und Zylindergehäuse

Die Indexe bedeuten: 2 : Zylinderbüchse, 3 : Zylindergehäuse.

Für unsere Berechnung haben wir angenommen:

$$\begin{array}{ll} E_2 = 10\,000 \text{ kg/mm}^2 & 1/m_2 = 0.33 \\ E_3 = 6\,000 \text{ kg/mm}^2 & 1/m_3 = 0.33 \end{array}$$

In der Abb. 3 sehen wir ein Beispiel der Deformation. Da an der Meßstelle B die Deformation am größten ist, so daß wir hier verhältnismäßig leicht vergleichen können, haben wir in den Punkten (1) bis (6) der Meßstelle B die Summen der Absolutwerte der Deformation als die Größe bzw. das Ausmaß der

Deformation bezeichnet und diese Größen miteinander verglichen. Die Ergebnisse dieser Vergleiche haben wir in den Abbildungen 4(a) bis (d) dargestellt. Ausgehend von den obigen Darlegungen sind wir zu den nachstehend aufgeführten Beurteilungen gelangt:

(1) Je größer die Wandstärke des Zylindergehäuses ist, umso kleiner ist die Deformation. Auch in dem Falle, wo das Zylindergehäuse äußerst dünn ist, ist die Deformation klein [Abb.4(a) u. (b)].

(2) Je kleiner der Warmschrumpfdruck ist, umso kleiner ist die Deformation [Abb.4 (c)].

(3) Je dicker die Zylinderbüchse ist, umso kleiner wird die Deformation [Abb.4 (d)].

Wenn wir um die Deformation zu verringern, die oben dargelegten Ergebnisse sämtliche anwenden, dann wirken sich diese Ergebnisse zum Schaden der eigentlichen Vorzüge des Aluminiumzylinders aus (gute Wärmeabstrahlung, geringes Gewicht). Wir haben deshalb Untersuchungen durchgeführt, welche sich mit einer möglichen Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Zylindergehäuses, sowie mit einem Zylinder, dessen Zylinderbüchse durch Auftragschweißung eingeschweißt wurde, beschäftigten.

2.2 Maßnahmen zur Verringerung der Deformation des Zylinders

Als ein Mittel zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Materialdes des Zylindergehäuses ist die praktische Durchführung einer Wärmebehandlung allgemein üblich. Es ist zwar bekannt, daß, wenn man bei einem Zylinder, dessen Zylinderbüchse durch Warmschrumpfung eingebracht wird, die Erhitzungstemperatur des Zylindergehäuses beim Warmschrumpfen allzu hoch macht oder wenn man die Erhitzungszeit zu lange macht, die Wirkung einer Wärmebehandlung dadurch verringert wird;

um uns nun über das Ausmaß dieser Verringerung der Wirkung einer Wärmebehandlung Kenntnisse zu verschaffen, haben wir Proben des Materialies einer T_6 -Behandlung unterworfen, und indem wir den Zustand beim Warmschrumpfen hypothetisch annahmen, haben wir die Proben anschließend auf 300°C erhitzt und dann nach dem Abkühlen, indem wir den Zustand beim Betrieb des Motors hypothetisch annahmen, haben wir die Proben erneut auf die einzelnen Temperaturen erhitzt und wieder abgekühlt und dann die Zugprüfung und die Härteprüfung durchgeführt; die Ergebnisse dieser Prüfungen haben wir in der Abb.5 dargestellt. Aus dieser Abb.5 haben wir den Schluß gezogen, daß wir eine wesentlich weitergehende Verbesserung der mechanischen Eigenschaften erwarten dürfen als bei der bloßen Spannungsbeseitigung (die Härte und die Zugfestigkeit sind zwar niedriger als durch JIS vorgeschrieben ist, dies ist jedoch offenbar darauf zurückzuführen, daß in der Prüfprobe Lunker vorhanden waren).

Zu den Maßnahmen, welche das Ziel haben, die Deformation des Zylinders zu verringern, gehört auch die bereits oben erwähnte T_6 -Behandlung; wir haben Zylinder in der nachstehend aufgeführten Art hergestellt und die bei den einzelnen Zylindern festgestellten Deformationen miteinander verglichen:

- (1) Häufigkeit der Erwärmung beim Warmschrumpfen einmal und zweimal.
- (2) Zylinder, an denen man die T_6 -Behandlung ausgeführt hat.
- (3) Zylinder, bei denen man das Zylindergehäuse an den Stellen mit besonders großer Deformation zusätzlich verstärkt hat,
 - (α) Zylinder, bei denen man vor dem Auspuffschlitz Verstärkungsrippen vorgesehen hat.
 - (β) Zylinder, bei denen man an der Stelle des Spülluftkanales die Wandstärke größer gemacht hat.
- (4) Zylinder, bei denen man das Material für das Zylindergehäuse geändert hat.

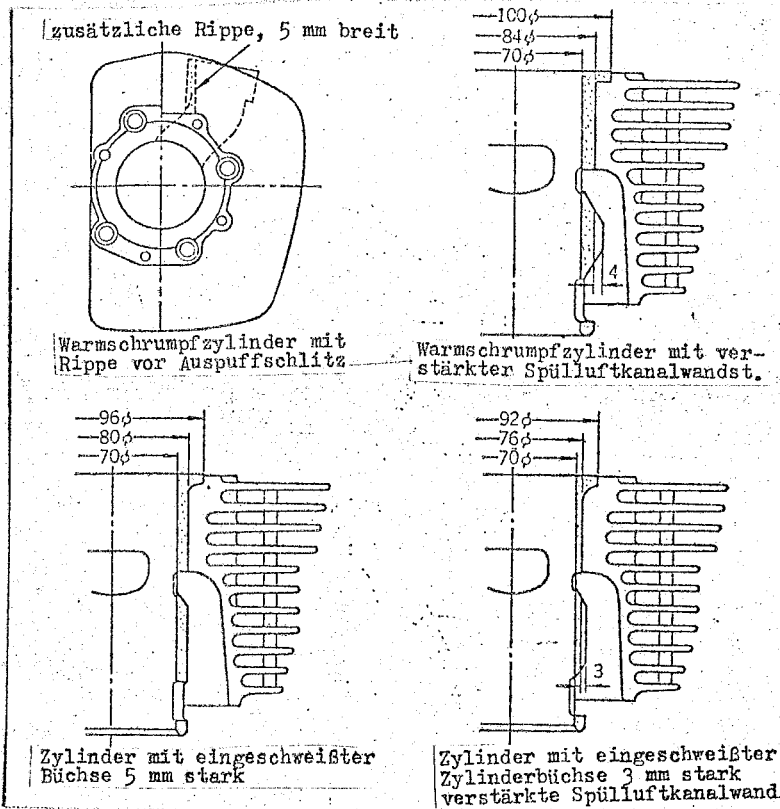


Abb. 6 Zylinder, bei denen man Maßnahmen gegen die Deformation ergriffen hat

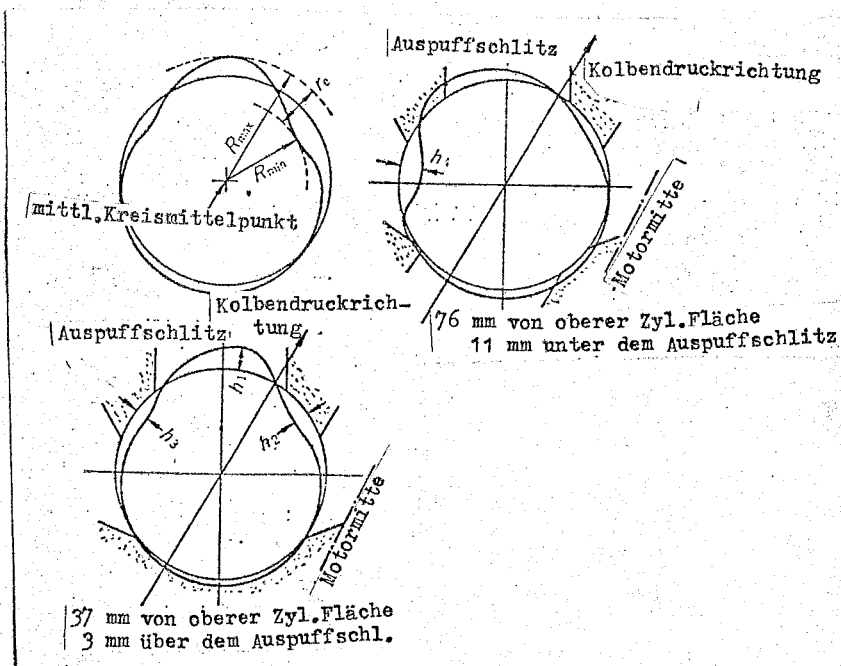


Abb. 7 Das Verfahren der Anzeige der Größe der Deformation

- r_e : Grad der Unrundheit im Radialverfahren (Verfahren des mittleren Kreismittelpunktes)
- h_1 : maximaler Wert der nach außen gehenden Deformation über dem Auspuffschlitz
- h_2 : maximaler Wert der nach innen gehenden Deformation der Zylinderwand zwischen Spülluftschlitz und Auspuffschlitz (auf der Seite der Motormitte)
- h_3 : wie oben, jedoch auf der der Motormitte entgegengesetzten Seite
- h_4 : max. Wert der nach innen gehenden Deformation der Zylinderwand am Spülluftkanal auf der der Motormitte entgegengesetzten Seite

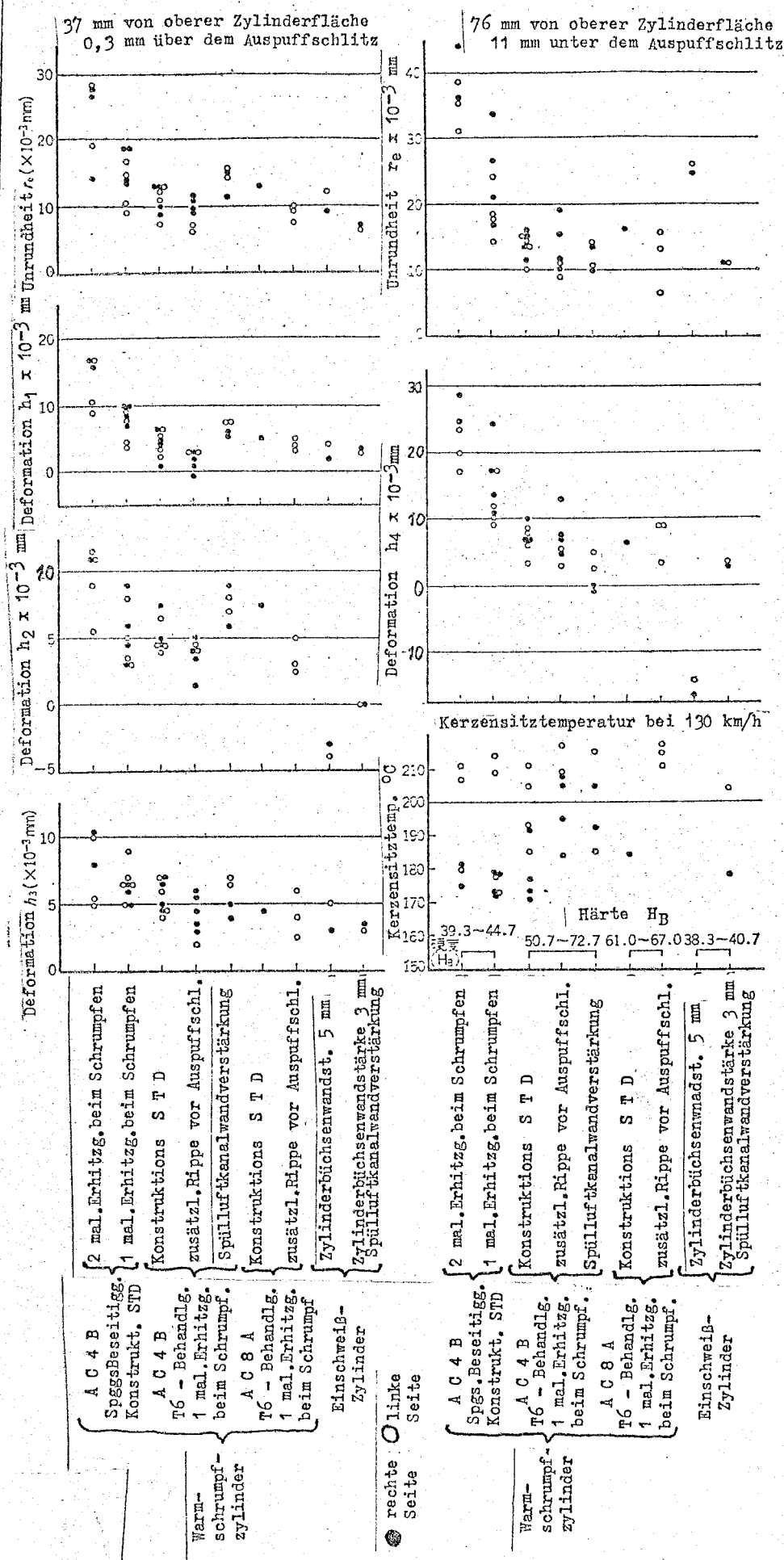


Abb. 8 Vergleich zwischen einem Zylinder mit durch Warmschrumpfen ein-
gebrachter Zylinderbüchse und einem Zylinder mit durch Auftrags-
festschweißen eingebrachter Zylinderbüchse

- (5) Zylinder mit eingeschweißter Zylinderbüchse
- (α) Zylinder mit einer Zylinderbüchsendicke von 5 mm;
 - (β) Zylinder, bei denen man bei einer Zylinderbüchsendicke von 3 mm am Spülluftkanal die Aluminiumwandstärke verstärkt hat.

Die konstruktiv veränderten und verbesserten Teile des Zylinders, an denen man die jeweiligen oben erwähnten Maßnahmen durchgeführt hat, sind in der Abb.6 dargestellt.

Bei den Betriebsversuchen wurde mit Hilfe eines Dynamometers eine der Fahrtwiderstandskraft entsprechende Last zum Angreifen gebracht und die Kühlluftgeschwindigkeit wurde aufgrund der Leistung eines Gebläses mit 119 km/Stunde konstant genommen. Hinsichtlich der Betriebszeit nahm man zunächst einen 30 Minuten dauernden Betrieb mit einer Drehzahl, welche einer Fahrtgeschwindigkeit von 100 km/Stunde entsprach und dann nahm man einen 30 Minuten dauernden Betrieb mit einer Fahrtgeschwindigkeit von 130 km/Stunde entsprechenden Drehzahl.

Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in der Abb.8 dargestellt. Das Verfahren der Darstellung der Deformationsgröße ist in der Abb.7 dargestellt. Zum Vergleich haben wir in der Abb.8 die Kerzensitztemperatur während des Betriebes des Motors sowie die Härte (H_B) des Zylindergehäuses nach dem Betrieb hinzugefügt.

Der Abb.8 können wir folgendes entnehmen:

(1) Die größte Deformation wird bei den Zylindern festgestellt, bei denen man das Zylindergehäusematerial lediglich einer Spannungsbeseitigungsbehandlung unterworfen hatte, und bei denen man die Erhitzung im Ofen beim Warmschrumpfen zweimal ausgeführt hatte.

(2) Eine Verstärkung des Zylindergehäuses bei Zylindern, in welche die Zylinderbüchsen durch Warmschrumpfung eingebracht

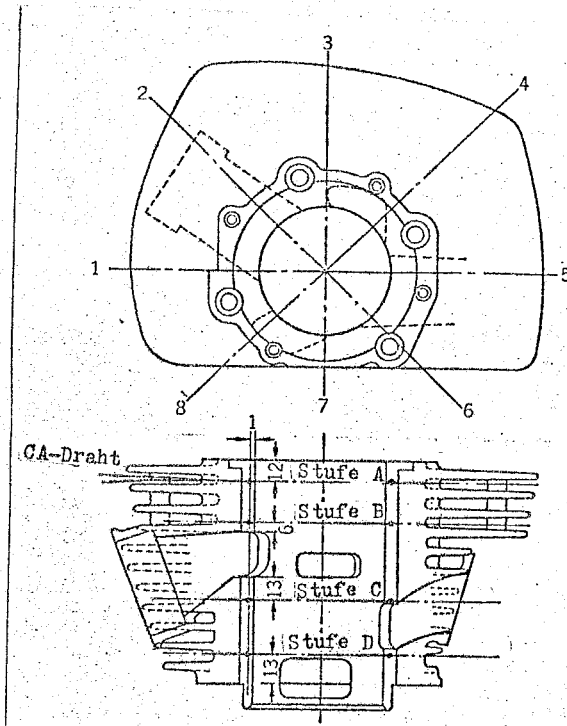


Abb.9 Die Temperaturmeßstellen

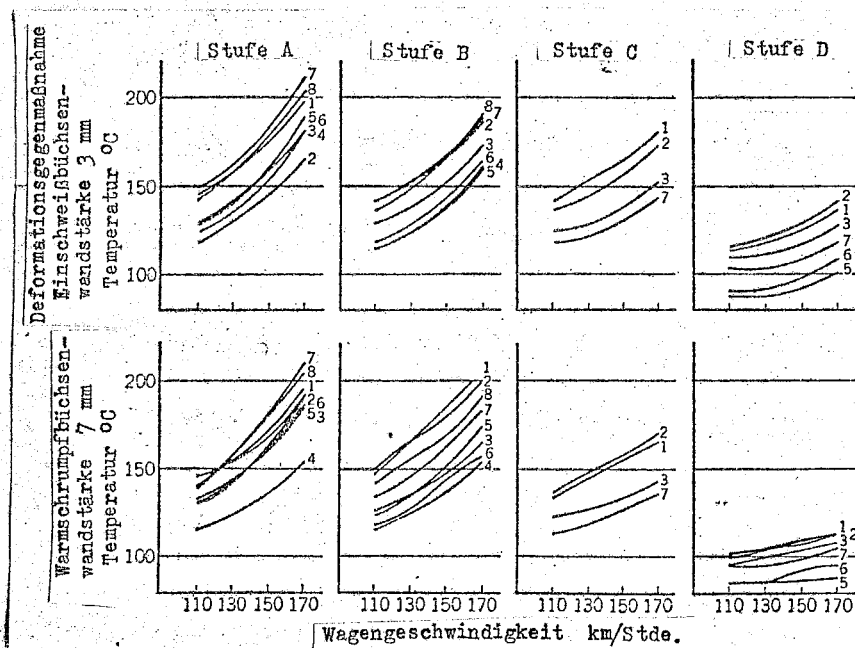


Abb.10 Die Zylindertemperaturen

Tafel 1

Der Zusammenhang zwischen der Wagengeschwindigkeit, der Motordrehzahl und der am Hinterrad abgegebenen Leistung

(km/h)	110	130	150	170
Geschw.				
Motordrehzahl (rpm)	4302.4	5084.7	5867.0	6649.2
Leistung am Hinterrad (PS)	15.0	20.0	26.0	34.5

Tafel 2

Der Vergleich des Kraftstoffverbrauches (l/Stunde)

(Geschw., km/h)	110	130	150	170
Zylinder				
Warmschrumpfbüchsenwandst. 7 mm	8.7	11.9	14.3	17.7
Einschweißbüchsenwandst. 3 mm	8.4	11.6	13.5	15.8

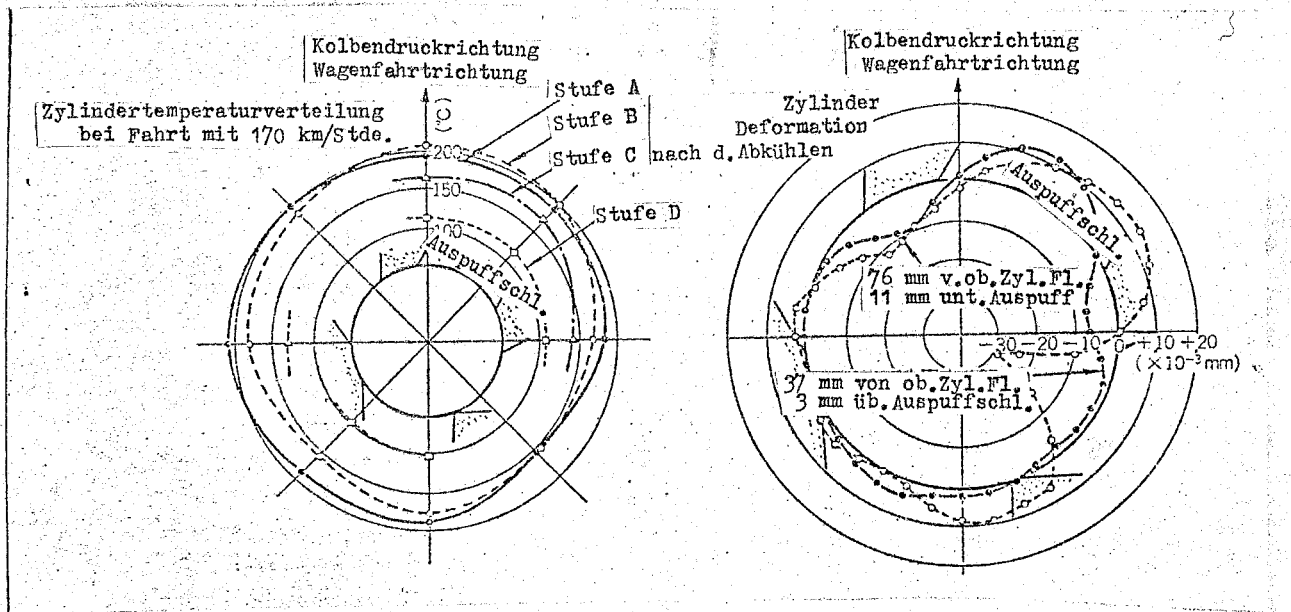


Abb. 11 Temperaturverteilung und Deformation bei einem Zylinder mit durch Warschrumpfen eingebrachter Zylinderbüchse (rechte Seite)

werden, erweist sich, bei verbesserter Konstruktion des Zylindergehäuses, als wirkungsvoll.

(3) Für die Deformation ist es nahezu ohne Bedeutung, ob man nun das Material AC 4 B oder das Material AC 8 A verwendet.

(4) Bei den Zylindern, welche man der T_6 -Behandlung unterworfen hat, ist die Deformation im ganzen genommen nur ganz gering. In diesem Falle ist jedoch die Deformation (h_2) der Teile, welche mit der Warmschrumpfung zusammenhängen, kaum verbessert worden.

(5) Bei den Zylindern, bei denen die Zylinderbüchse durch Auftragschweißung eingeschweißt wurde, ist die Deformation am geringsten und auch die Schwankungen sind ganz gering. Bei einer Dicke der Zylinderbüchse von 5 mm jedoch bekommen wir an der Stelle des Spülluftkanalschlitzes, weil dort keine Aluminiumwandstärke vorhanden ist, außenseitig eine sehr starke Deformation.

2.3 Die Temperaturmessungen bei den Zylindern mit Warmschrumpfzylinderbüchse und bei den Zylindern mit durch Auftragschweißung eingeschweißter Zylinderbüchse

Bei einem Zylinder, dessen Zylinderbüchse man durch Warmschrumpfen eingebracht hat und bei einem Zylinder, in den man eine Zylinderbüchse von 3 mm Dicke von äußerst geringer Deformation durch Auftragschweißung eingebracht hat, wurde ein CA-Draht von 0.65 mm \emptyset , wie wir dies in der Abb.9 sehen, eingelassen und mit Hilfe dieses Drahtes wurde die Temperaturverteilung untersucht.

In der Tafel 1 haben wir die den verschiedenen Wagengeschwindigkeiten während der Fahrt entsprechenden Motordrehzahlen sowie die Leistung des hinteren Rades zusammengestellt.

Die Meßergebnisse haben wir in der Abb.10 aufgezeichnet. In den Punkten 4-6 und in dem Punkt 8 der Stufe C sowie in den

Punkten 4 und 8 der Stufe D hat man deshalb keine Messungen gemacht, weil an diesen Stellen der Spülluftkanal bzw. der Ansaugschlitz durchgeht; im Punkt 1 der Stufe B bei dem Zylinder mit eingeschweißter Zylinderbüchse konnte wegen einer Drahtunterbrechung nicht gemessen werden.

Bei dem Zylinder mit durch Warmschrumpfen eingebrachter Zylinderbüchse ist der Temperaturunterschied in der Längsrichtung (zwischen A und D) sehr groß, während er bei dem Zylinder mit eingeschweißter Zylinderbüchse klein ist. Es ist anzunehmen, daß dies von dem Unterschied der Wärmeleitung und der Wärmekapazität herrührt. Zum Vergleich haben wir in der Tafel 2 den jeweiligen Kraftstoffverbrauch zusammengestellt. In der Abb. 11 haben wir einen Vergleich der Temperaturverteilung und der Deformation bei einer Fahrt mit 170 km/Stunde aufgezeichnet, ein Zusammenhang zwischen der Temperatur während der Fahrt und der Zylinderdeformation nach der Fahrt wurde jedoch nicht festgestellt.

3. Zusammenfassung

Die Schlußfolgerungen, welche wir aus unserer Forschungsarbeit ziehen konnten, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Bei dem Verfahren des Einbringens der Zylinderbüchse durch Warmschrumpfen wird die Deformation kleiner, wenn man die Wandstärke der Zylinderbüchse und die Wandstärke des Zylindergehäuses größer macht und wenn man den Warmschrumpfdruck verringert, es ist jedoch schwierig, die Deformation auf breiter Basis zu reduzieren.
- (2) Eine T_6 -Behandlung des Zylindergehäusematerials sowie die Anbringung von Rippen und zusätzlicher Wandstärke an den Teilen mit mangelnder Festigkeit (vor dem Auspuffschlitz, im Spülluftkanal usw.) sind wirksame Maßnahmen für die Reduzierung

der Deformation (beim Warmschrumpfverfahren).

(3) Im Falle eines Zylinders, dessen Zylinderbüchse durch Warmschrumpfen eingebracht wird, ist es nicht wünschenswert, den Zylinder beim Warmschrumpfen sehr lange im Ofen zu erhitzen, da hierdurch die Deformation erhöht wird.

(4) Bei einem Zylinder mit durch Auftragschweißung eingeschweißter Zylinderbüchse ist die Deformation gering und auch die Schwankungen sind klein. An den Stellen jedoch, wo die Aluminiumwandstärke fehlt, wie etwa am Spülluftkanal ist außenseitig die Deformation groß.

(5) Wenn wir hinsichtlich der Temperaturverteilung einen Vergleich zwischen einem Zylinder mit durch Warmschrumpfen eingebrachter Zylinderbüchse und einem Zylinder mit durch Auftragschweißung eingeschweißter Zylinderbüchse anstellen, dann sind die Temperaturdifferenzen in der Längsrichtung bei dem Zylinder mit eingeschweißter Zylinderbüchse kleiner.

(6) Bei einem Zylinder mit durch Warmschrumpfen eingebrachter Zylinderbüchse sind die Schwankungen der Deformation auch bei gleichen Prüfstäben, die man vom Gießen bis zur Fertigbearbeitung hergestellt hat, sehr groß.

(7) Zwischen der Temperaturverteilung im Zylinder während des Betriebes und der Deformation des Zylinders nach dem Betrieb ist kein Zusammenhang zu erkennen.

4. Schlußwort

Die vorliegende Forschungsarbeit bezieht sich auf das durch die Deformation des Zylinders hervorgerufene Festfressen, sie legt den Schwerpunkt auf die Verringerung der Deformation des Zylinders in der Durchmesser-richtung, deshalb wurde auf die Deformation des Zylinders in der Längsrichtung überhaupt

nicht eingegangen. Bei Zylindern mit kleiner Bohrung gibt es auch bei dem Verfahren des Einbringens der Zylinderbüchse durch Warmschrumpfen eine Möglichkeit, die Deformation durch Wärmebehandlung des Zylindergehäusematerials sowie durch zusätzliche Verstärkung der Wandstärken des Zylindergehäuses usw. zu reduzieren; bei Zylindern mit großer Bohrung, wie wir sie bei unseren Versuchen benützt haben, dürfte dies jedoch schwieriger sein. Bei den Zylindern mit durch Auftragschweißung eingeschweißter Zylinderbüchse gibt es an den Stellen, wo das Festfressen problematisch werden könnte, nahezu überhaupt keine Deformation, bis jetzt jedenfalls ist noch nicht ein einziges Mal ein Festfressen aufgetreten; an der Stelle des Spülluftkanales jedoch ist auch bei den Zylindern, wo man eine zusätzliche Verstärkung der Aluminiumwandstärken vorgenommen hat, bei länger dauerndem Betrieb und Hand in Hand mit den härter werdenden Betriebsbedingungen die Tendenz einer fortschreitenden Deformation festgestellt worden.

Literaturhinweise

- 1) Mioka: Die neuesten, die Unrundheit betreffenden Probleme; Jap. Zeitschrift "Kikai no Kenkyu" (Die Maschinenforschung), Bd. 18, Heft Nr. 7.
- 2) Metals Handbook: 1955, Supplement.
- 3) Muranoue u. a.: Die Wärmedeformation von Zylinder und Kolben (1. Bericht) Messungen an luftgekühlten Zweitaktmotoren nach dem Schnellstopverfahren; Referate der japanischen Automobilingenieurgesellschaft, Nr. 741.