

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 88890141.0

51 Int. Cl. 4: **B 21 J 7/14**
B 21 J 5/00

22 Anmeldetag: 10.06.88

30 Priorität: 12.06.87 AT 1506/87

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.01.89 Patentblatt 89/03

84 Benannte Vertragsstaaten: DE FR GB IT SE

71 Anmelder: **GFM Gesellschaft für Fertigungstechnik und
Maschinenbau Gesellschaft m.b.H.**
Ennsnerstrasse 14
A-4403 Steyr (AT)

BÖHLER GESELLSCHAFT M.B.H.
Postfach 96
A-8605 Kapfenberg (AT)

72 Erfinder: **Hojas, Hans, Dr.-Ing.**
Ulrichstrasse 44
A-4400 Steyr (AT)

Hildebrand, Franz. Ing.
Hainweg 4
A-8605 Kapfenberg (AT)

Kroissenbrunner, Walter
Burgstallweg 30
A-8605 Kapfenberg (AT)

Hribernik, Bruno, Dipl.-Ing.
Gloriettsiedlung 11
A-8600 Bruck/Mur (AT)

Mitter, Werner, Dr.-Ing.
Laintal 15
A-8793 Trofaiach (AT)

Preininger, Günter, Dipl.-Ing.
Jahngasse 18
A-8793 Trofaiach (AT)

Bauer, Robert, Dipl.-Ing.
Peter Tunnergasse 15
A-8605 Kapfenberg (AT)

Sonnleitner, Josef
Haldenweg 9
A-8740 Zeltweg (AT)

54 Verfahren und Schmiedemaschine zur Herstellung von Verbundkörpern.

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von zwei- oder mehrlagigen Verbundstäben aus zylindrischen, zentrisch zueinander angeordneten Lagen unterschiedlicher Werkstoffe aufweisenden Werkstücken bzw. Vormaterialkörpern unter Einsatz von in einer zur Stabachse senkrechten Ebene gleichzeitig auf das Werkstück einwirkenden, insbesondere schlagenden oder drückenden und dieses verformenden Werkzeugen. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß das Werkstück fortschreitend über seine Länge im Verformungsbereich der zumindest einen Abschnitt mit einer kegeligen Arbeitsfläche besitzenden Werkzeuge einer Verformung zu zumindest einem (Kreis)Kegelstumpf unterworfen wird.

Beschreibung

Verfahren und Schmiedemaschine zur Herstellung von Verbundkörpern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Verbundstäben gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Ferner betrifft die Erfindung eine Radial-Schmiedemaschine gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 8.

Verbundstäbe bestehen aus zwei oder mehreren Werkstoffen, welche unterschiedliche mechanische und/oder chemische Eigenschaften aufweisen und vorzugsweise im Maschinen-, Apparate- und Werkzeugbau etc. Einsatz finden, wenn gleichzeitig mehrere unterschiedliche Beanspruchungen an dem Teil auftreten.

Versuche zur Verbundmaterialherstellung durch Walzen oder durch Pressenschmieden des aus zwei Lagen bestehenden Vormaterials sind bekannt, lassen sich jedoch erfolgreich nur bei bestimmten Werkstoffen durchführen bzw. führen auch aufgrund unterschiedlicher Festigkeits- und Fließeigenschaften der Werkstoffe bei der Warmformgebungstemperatur zu Bindungsfehlern.

Es ist auch bekanntgeworden, Radialschmiedemaschinen mit vier gleichzeitig schlagenden Hämmer für die Verbundstahlherstellung einzusetzen, um einen mehrseitigen Druck auf das Schmiedestück zu bewerkstelligen. Auch dieses Verfahren hat sich nicht durchgesetzt, weil bei der Schmiedung bzw. Warmformgebung mit den üblichen Werkzeugen (Hämmern) stellenweise (teilweise) keine metallische Verbindung zwischen den Teilen aus verschiedenen Werkstoffen gebildet wird und beim Verbundschmieden unbeabsichtigte geometrische Ausbildungen des Kernmaterials bzw. der Bindefläche auftreten.

Ziel der Erfindung ist die Erstellung eines Verfahrens mit dem mehrlagige Verbundstäbe aus festen und/oder pulverförmigen Vormaterialkomponenten unter Erzielung einer vollkommenen metallischen Bindung zwischen den Werkstofflagen bzw. einer optimalen Verbundstruktur, einer praktisch 100 %igen Dichte der Erzeugnisse, einer geforderten Maßhaltigkeit und einem hohen Ausbringen hergestellt werden können.

Dieses Ziel wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art gemäß den Merkmalen des Kennzeichens des Patentanspruches 1 erreicht. Eine leistungsfähige Schmiedemaschine, insbesondere zur Durchführung dieses Verfahrens, wird gemäß den Merkmalen des Kennzeichens des Patentanspruches 8 erstellt. Aufgrund dieser Vorgangsweise und Werkzeugausbildung kann das Werkstück einem die gewünschte Verbindung der Lagen mit sich bringenden Schmiedevorgang unterworfen werden, wobei die Verformung gering ist, jeweils weitgehend den gesamten Umfangsbereich erfaßt und nicht durch einen unkontrollierten radialen Materialfluß beeinträchtigt wird. Der Schmiedevorgang läuft in kürzester Zeit ab und erlaubt hohe Verarbeitungskapazitäten.

Es hat sich überraschenderweise gezeigt, daß, wenn drei oder mehrere Rundhämmer in Radialschmiedemaschinen gleichzeitig schlagend auf den

Vormaterialkörper einwirken, das Voreilen der oberflächennahen Materialzonen vermindert wird und optimale Verhältnisse betreffend die Spannungen und den Materialfluß im Hinblick auf eine vollkommene metallische Bindung zwischen den Werkstoffen, eine praktisch 100 %ige Dichte der Erzeugnisse, eine geforderte Maßhaltigkeit beim Verformen und ein hohes Ausbringen geschaffen werden.

Der Einfluß der Hammergeometrie beim Verbundschmieden von Rundstäben auf die Spannungen und Verzerrungen an der Kontaktfläche ist von großer Bedeutung, da beim Schmieden von Rundverbunden die Gefahr des Aufreißens bereits verbundener Teile der Kontaktfläche besteht. Außer der Oberflächenbeschaffenheit von Hüllen- und Kernmaterial sind dabei die an der Kontaktfläche während des Schmiedens auftretenden Spannungen beachtenswert.

Es hat sich weiters überraschend gezeigt, daß Hämmern mit, insbesondere gleichmäßig, gekrümmter Arbeitsfläche wegen der größeren Umschließung des Werkstückes einen relativ zu Flachhämmern höheren hydrostatischen Spannungsanteil hervorrufen und damit die Gefahr des Wiederauftrennens an den Kontaktflächen geringer ist und die Druckspannungen gleichmäßig und tief in einem großen Bereich des Schmiedestücks ausgebildet werden.

Dies ermöglicht die uneingeschränkte Herstellung von Zwei- und Mehrfach-Verbundstäben aus Vormaterialkörpern, welche aus festen und/oder pulverförmigen Teilen zusammengesetzt sind und beispielsweise den folgenden Aufbau aufweisen können (die Aufzählung der Schichten erfolgt von außen nach innen).

1. Fest-Fest
2. Fest-Fest-Fest usw.
3. Fest-Pulver
4. Fest-Pulver-Fest usw.
5. Pulver-Fest
6. Pulver-Fest-Pulver usw.
7. Pulver-Pulver
8. Pulver-Pulver-Pulver usw.
9. Pulver-Pulver-Fest usw.
10. Fest-Fest-Pulver usw.

Wird die Außenschicht des Verbundstabes aus Metallpulver erzeugt, so ist dafür eine Kapselung erforderlich. Sollte der Verbundstahl aus zwei Metallpulvern unterschiedlicher Zusammensetzung erzeugt werden, so sind diese Pulver vorzugsweise durch eine dünne rohrförmige Blecheinlage zu trennen. Diese Blecheinlage muß mit beiden Werkstoffen eine metallische Bindung eingehen bzw. eine Bindehilfe darstellen können. Während der Verformung des Vormaterials wird die Stärke des Trennbleches wesentlich vermindert.

Dabei ist vorteilhaft, wenn am Vormaterialkörper der Spalt zwischen den Werkstückteilen und/oder das eingefüllte Pulver einer Vakuum- und/oder Schutzgasbehandlung ausgesetzt und verschlossen wird (werden), worauf das Aufwärmen auf Verformungstemperatur erfolgt. Vorab kann noch ein

Vorverdichten (z.B. des Pulvers) bzw. eine Vorverformung erfolgen.

Die Erfindung wurde durch Berechnungen sowie durch praktische Beispiele bzw. Versuche der Verbundmaterialherstellung und Untersuchungen des Produktes bestätigt.

Weitere erfindungsgemäße Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen zu entnehmen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 eine schematische Darstellung des Rundverbund-Schmiedens durch Radialumformung, a) Hämmer mit Flachbahn (Flachhämmer), b) Hämmer mit gekrümmter Bahn (Rundhämmer); Fig. 2 auftretende Spannungen beim Rundverbund-Schmieden; Fig. 3 (0° Drehung) und 4 (13,5° Drehung) Vergleiche der Normalspannung δ_r an der Grenzfläche Hülle - Kern für Flachhammer und "Rundhammer". Die Spannungen sind aufgetragen als Funktion der Bogenlänge, wobei als Längeneinheit eine Elementbreite gewählt wurde. Es sind die Verhältnisse nach dem ersten Schlag (0° Drehung) und nach dem zweiten Schlag (13,5° Drehung) dargestellt; Fig. 5 (0° Drehung) und 6 (13,5° Drehung) einen Vergleich der Tangentialspannungen δ_t an der Grenzfläche Hülle - Kern für Flachhammer und "Rundhammer" (Auftragung analog Fig. 7, 8); Fig. 7 (0° Drehung) und 8 (13,5° Drehung) einen Vergleich der Mittelspannung δ_m an der Grenzfläche Hülle - Kern für Flachhammer und "Rundhammer"; Fig. 9 (0° Drehung) und 10 (13,5° Drehung) einen Vergleich der Schubspannungen τ_{rt} an der Grenzfläche Hülle - Kern für Flachhammer und "Rundhammer"; Fig. 11 und 12 eine Abbildung der Verschleißgeschwindigkeiten zu Ende des ersten Schlages für Flachhammer und für "Rundhammer"; Fig. 13 den Kraftverlauf über dem Arbeitshub der Hämmer (Vergleich Flachhammer - "Rundhammer"); Fig. 14 eine Tabelle mit Spannungswerten im Zentrum für Flachhammer und "Rundhammer"; (Die Fig. 3 bis 14 basieren auf den Ergebnissen der Berechnungen, die durch Versuche bestätigt wurden); Fig. 15 eine schematische Ansicht einer Vierhammerschmiedemaschine; Fig. 16 einen schematischen Schnitt; Fig. 17 einen Schnitt senkrecht zur Werkstückachse; Fig. 18 einen Schnitt durch die Werkzeuge einer Dreihammerschmiedemaschine; Fig. 19 einen Schnitt durch einen auf einer Flachhammerschmiedemaschine hergestellten Verbundrundstab; Fig. 20 und 21 Schnitte durch auf einer Rundhammermaschine hergestellte Verbundstäbe; Fig. 22 ein Werkzeug mit einer Mehrzahl von Abschnitten mit unterschiedlichen kegeligen Arbeitsflächen; Fig. 23 ein Werkzeug mit Arbeitsflächen mit zum Teil gekrümmten Erzeugenden und Fig. 24 einen Schnitt eines Werkstückes.

Die für die Berechnungen herangezogenen geometrischen Verhältnisse beim Verbundschmieden mit Flach- und "Rundhammer" sind in Fig. 1a und 1b schematisch dargestellt. Die vier Hämmer sind jeweils gleichzeitig im Eingriff. Nach jedem Schlag wird der Stab in Achsrichtung von links nach rechts

gemäß Fig. 1a und 1b vorgeschoben und dabei auch gedreht. Repräsentativen Betriebsbedingungen entsprechend wurde ein Drehwinkel je Hub von 13,5° und ein Verformungsweg der Hämmer je Schlag von 0,447 mm angenommen, um Untersuchungen über die Effizienz des neuen Verfahrens anstellen zu können. Untersucht wurde ein Rundverbund mit dem Kaltarbeitsstahl X 155 CrMo 12 1 als Kern und dem Einsatzstahl 16 MnCr 5 als Hülle. Zu Beginn der Verformung betrug der Außendurchmesser des Hüllenmaterials 180 mm und der Innendurchmesser 85 mm. Der Krümmungsradius der Rundhämmer wurde mit 100 mm angenommen.

Kern und Hülle hatten einen Elastizitätsmodul und eine Querdehnungszahl von $E = 10^5 \text{ N/mm}^2$ und $\gamma = 0,3$.

Es wurde elastisch-ideal-plastisches Materialverhalten vorausgesetzt mit einer Fließspannung von $50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ für den Kern und $42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ für die Hülle. Die Verformungstemperatur wurde mit 1200°C festgesetzt.

In Fig. 2 sind die einzelnen auftretenden Spannungs-komponenten dargestellt. Falls die Normalspannung in radialer Richtung eine Zugspannung ist (positives Vorzeichen), bewirkt sie bei entsprechendem Betrag ein Aufreißen an der Kontaktfläche. Die Schubspannungen τ_{rt} und τ_{rz} hingegen können an der Kontaktfläche ein Abscheren des Mantels vom Kern bewirken.

Die Tangentialspannung δ_t kann allenfalls ein Aufreißen in Längsrichtung bewirken. Eine derartige Gefährdung wird hier nicht in Betracht gezogen, da lediglich die Kontaktfläche eine potentielle Schwachstelle darstellt.

Die Mittelspannung δ_m stellt den hydrostatischen Anteil des Spannungs-tensors dar und gibt einen Hinweis auf Spröbruchge-fährdung. Je höher δ_m im Zugbereich liegt, desto eher ist mit einem Aufreißen an der Kontaktfläche zu rechnen bzw. eine metallische Verbindung wird verhindert. Je tiefer diese Spannung hingegen im Druckbereich (negatives Vorzeichen) liegt, desto eher werden vorhandene Fehlstellen an ihrer Ausbreitung gehindert oder sogar geschlossen. Bei extrem hohen hydrostatischen Drücken werden sogar spröde Materialien, wie z.B. Gesteine, plastisch verformbar.

Fig. 3 und 4 zeigen den Verlauf der in radialer Richtung wirkenden Normalspannung δ_r über die Kontaktfläche Hülle - Kern. Als Funktion der Bogenlänge dieser Linie sind die Mittelwerte der Spannungen aufgetragen, die für benachbarte Hüllen- und Kernelemente berechnet wurden. Als Längeneinheit wurde eine Elementbreite gewählt, d.h. die Länge der Grenzlinie zwischen zwei benachbarten Elementen (in diesem Beispiel $8,34 \text{ mm} = (42,5 \text{ mm} \cdot \pi/2) : 8$). Für den ersten Schlag (0° Drehung, Fig. 3) verlaufen die Kurven aus Symmetriegründen bezüglich der Bogenmitte spiegelbildlich. In den von den Hämmern nicht gedrückten Bereichen herrscht im Falle des Flachhammers in radialer Richtung eine Zugspannung von etwa 10 bis 15 N/mm², während beim "Rundhammer" durchgehend Druckspannungen auftreten (Fig. 3). Bei Ende des zweiten Schlages (nach 13,5° Drehung) sind wegen des bereits deformierten Werkstückes die oben erwähn-

ten Symmetrien nicht mehr vorhanden (Fig. 4).

Hier ergaben sich im Falle des Flachhammers radiale Zugspannungen über die halbe Bogenlänge, während bei Verwendung des "Rundhammers" durchgehend Druckspannungen auftreten.

Die Tangentialspannungen (Fig. 5, 6) liegen in allen Fällen im Druckbereich bis etwa 40 N/mm², wobei beim Schmieden mit dem Rundhammer wiederum die höheren Spannungen auftreten.

Die den hydrostatischen Druckanteil charakterisierende Mittelspannung liegt bei Ende des ersten Schlages im nicht gedrückten Teil des Werkstückes um etwa 3 N/mm² Zug (Fig. 7) während bei Verwendung des "Rundhammers" durchgehend Druckspannungen zwischen 10 N/mm² und 35 N/mm² auftreten. Hier zeigt sich besonders deutlich die beim Rundhammer geringere Gefahr des Aufreißen an den Kontaktflächen. Nach dem zweiten Schlag erreicht die Mittelspannung auch bei Verwendung des Flachhammers lediglich in einem Teil des Kontaktbereiches geringfügige positive Werte (Fig. 8).

Die Schubspannungen τ_t und τ_z (siehe Fig. 2) können ein Abscheren an den Kontaktflächen bewirken. In den Fig. 9 und 10 sind die Spannungen τ_t für Flach- und "Rundhammer" über der Bogenlänge aufgetragen. Sie erreichen einen Maximalwert von ca. 20 N/mm², wobei in diesem Fall keine nennenswerten Unterschiede zwischen Flach- und Rundhammer festzustellen sind. Der Maximalwert der Schubspannung τ_z beträgt für den Flachhammer ca. 16 N/mm², beim Rundhammer liegt er bei etwa 2 N/mm², also ein vergleichsweise wesentlich günstigerer Wert. Auf eine graphische Darstellung dieser Schubspannung wurde verzichtet. In Ergänzung dazu zeigt Fig. 14 einen Vergleich der im Zentrum des Kernmaterials nach 0,447 mm Arbeitsweg des Hammers auftretenden Spannungen bei Verwendung von Flach- und "Rundhammer". In Achsrichtung (z-Richtung) treten sowohl für Flach- als auch "Rundhammer" Zugspannungen im Bereich zwischen etwa 20 bis 40 N/mm² auf, die für den Flachhammer jeweils höher liegen. Beim ersten Schlag (0° Drehung) ergeben sich für den Flachhammer in tangentialer und radialer Richtung geringe Zugspannungen von etwa 2,8 N/mm², während beim Rundhammer fast zehnmal so hohe Druckspannungen auftreten.

Beim zweiten Schlag (13,5° Drehung) liegen sowohl Tangential- als auch Radialspannung im Druckbereich (6 bis 7 N/mm² beim Flachhammer und 28 bis 29 N/mm² beim "Rundhammer"). Die Mittelspannung δ_m liegt bei Verwendung des Flachhammers in der Größenordnung von 10 N/mm² Zug, während sich für den "Rundhammer" Druckspannungen derselben Größenordnung ergeben. Damit ist auch für das Zentrum die geringe Reißgefahr beim Rundverbund-Schmieden mit "Rundhämmern" quantitativ belegt.

Die Fig. 11, 12 zeigen die Geschwindigkeitsfelder des Materialflusses nach dem ersten Schlag für den Flach- bzw. den "Rundhammer" (Arbeitshub des Hammers 0,447 mm). Die Pfeile sind proportional den Verschiebungsgeschwindigkeiten in den jeweiligen Punkten. Im Vergleich zum Flachhammer zeigt

sich bei Verwendung des "Rundhammers" ein wesentlich stärkerer Materialfluß. Den Vorteilen des "Rundhammers" gegenüber dem Flachhammer, nämlich geringere Reißgefahr und stärkere Durchverformung, steht ein etwas höherer Kraftbedarf gegenüber.

Fig. 13 zeigt den Kraftverlauf über dem Arbeitshub der jeweiligen Hämmer. Die Kraft ist auf eine gedrückte Länge von 95,14 mm bezogen. Zu Ende des ersten Schlages (0° Drehung), also nach 0,447 mm Arbeitshub beträgt der Kraftbedarf beim "Rundhammer" etwa das Doppelte im Vergleich zum Flachhammer. Zu Ende des zweiten Schlages (13,5° Drehung) beträgt dieser Unterschied nur mehr etwa 30 Relativprozent. Für den zweiten Schlag wurde auch der Kraftverlauf bis zum Zweifachen des ursprünglich angenommenen Arbeitshubes berechnet.

Insgesamt ergibt sich also, daß trotz des höheren Kraftbedarfs der Schmiedemaschine für das Rundverbund-Schmieden ein Hammer mit entsprechendem Hohlschliff einem solchen mit Flachbahn vorzuziehen ist, da die erzielten Vorteile des Verbundwerkstoffs beträchtlich sind. Dies wurde rechnerisch und durch Versuche belegt.

Es hat sich erwiesen, daß beim Schmieden von Rundverbunden die gewählte Hammergeometrie auf das Verschweißen der Kontaktflächen günstigen Einfluß hat. Hämmer mit hohl geschliffener Bahn bewirken wegen der größeren Umschließung des Werkstückes bezüglich Verschweißung der Kontaktflächen Hülle - Kern günstigere Spannungsverhältnisse als Hämmer mit Flachbahn. Durch die Verwendung eines sogenannten Rundhammers ergeben sich sowohl eine bessere Durchverformung als auch Druckspannungen an der Kontaktfläche Hülle - Kern, während bei Verwendung von Flachhämmern dort Zugspannungen auftreten.

Wie Fig. 20 und 21 zeigen, ergeben sich bei der erfindungsgemäßen Vorgangsweise Rundstäbe, bei denen die einzelnen Lagen im Schnitt trotz der Verformung konzentrisch angeordnet sind und längs ihrer Verbindung zylindrische Form besitzen. In Fig. 19 ist im Vergleich dazu ein Schnitt durch einen auf einer Flachhammer-Schmiedemaschine hergestellten Rundstab gezeigt, bei dem die Einwirkung der einzelnen Schläge der Flachhämmer zu erkennen ist; die Lagen sind zueinander nicht mehr konzentrisch; die Unregelmäßigkeiten bewirken eine verringerte Festigkeit und verschlechtern das Verschleißverhalten.

Fig. 15 ist schematisch das Schmieden eines aus zwei Lagen 2, 2' bestehenden Werkstückes zu entnehmen, das mit vier Hämmern 4 mit kegelförmigen Schlagflächen 6 einen Verbundrundstab 1 herstellt.

Fig. 16 zeigt schematisch im Schnitt die Herstellung eines Verbundrundstabes 1, bei dem die innere Lage 2 von einem Metallpulver gebildet ist, das zusammengebacken und mit der äußeren Lage 2' verschweißt wird, wobei das Werkstück in den Hämmern 4 zu einer einem Kegelstumpf 5 entsprechenden Außenform verformt wird. Alternativ könnte die äußere Lage von einem in einer Blockkapsel befindlichen Metallpulver gebildet sein, das mit

einem inneren Kern verbundgeschweißt wird.

Fig. 17 zeigt einen Schnitt durch die Hämmern 4 einer Vierhammer-Radialschmiedemaschine und ein Werkstück mit drei Lagen 2, 2', 2'', wobei die mittlere Lage 2'' eine Pulverschicht, z.B. aus Ni-Pulver sein kann, die die Verbindung der beiden anderen Schichten 2 und 2' verstärkt bzw. eine Kohlenstoffverarmung einer der Schichten bzw. die Ausbildung von spröden Phasen verhindert.

Fig. 18 zeigt einen Schnitt durch eine Dreihammer-Radialschmiedemaschine und ein Werkstück, bei dem eine innenliegende Pulverschicht 2'' von Schichten 2 und 2' aus verschiedenen Metallen umgeben ist.

Die Verformung soll jeweils den ganzen Umfang des Werkstückes 3 gleichseitig erfassen; dazu bilden die Schmiedewerkzeuge 4, die jeweils eine Arbeitsfläche 5 in Form einer Kegelstumpfmantelfläche aufweisen in ihrer unteren Totpunktlage einen möglichst geschlossenen Kegelstumpf 6. Die Zwischenräume zwischen den Werkzeugen 4 in der unteren Totpunktlage werden möglichst gering gehalten. Die Werkzeuge 4 schlagen gleichzeitig in einer Ebene und, um das Entstehen von Graten zu vermeiden bzw. um ein gleichmäßiges Durchschmieden zu erreichen, wird das Werkstück mit einem nicht weiter dargestellten Manipulator nicht nur axial vorgeschoben, sondern auch nach jedem Arbeitshub um einen gewissen Winkel um seine Achse gedreht.

Fig. 22 zeigt einen Schnitt durch Werkzeuge 4, die eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Kegelstumpfabschnitten A,B,C bilden. Die Anzahl der Abschnitte und der Neigungswinkel der einzelnen Wandflächen 5 der Werkzeuge, der den augenblicklichen Verformungsgrad des Werkstückes bestimmt, wird in Abhängigkeit von den zu schmiedenden Materialien gewählt. Es könnten z.B. auch nur ein Abschnitt oder auch Abschnitte mit gleicher Neigung vorgesehen sein, zwischen denen Abschnitte mit unterschiedlicher Neigung liegen. Auch der in Fig. 1b dargestellte Rohrhammer zeigt zwei Kegelstumpfabschnitte unterschiedlicher Konizität.

Es ist ferner möglich, daß die Erzeugenden der Kegelstümpfe keine Geraden sind sondern nach innen oder außen gekrümmt sind, sodaß die Schlagflächen in zwei zueinander senkrechten Richtungen gekrümmt sind. Die Übergänge zwischen den Kegelstumpfabschnitten können gerundet sein. Ein derartiges Werkzeug ist in Fig. 23 dargestellt. Der Bereich A weist kegelige Arbeitsflächen 5 auf, während die Bereiche B und D ins Werkzeuginnere gebauchte und der Bereich C eine nach außen gebauchte Arbeitsfläche 5 besitzt. In der unteren Totpunktlage bilden die Arbeitsflächen des Werkzeuges somit die Form einer Anzahl gebauchter Kegelstümpfe.

Fig. 24 zeigt den Aufbau eines Vormaterialkörpers bestehend aus einem inneren Pulverkern 2'', der in einem Rohr 2 angeordnet ist, das an seiner Stirnseite 8 nach dem Evakuieren verschlossen ist. Das Rohr 2 ist von einer Verbindungshilfe 7 umgeben, z.B. einer dünnen Schicht aus Ni-Pulver, die ihrerseits von einem Rohr 2' umgeben ist. Das Rohr 2' ist von einer Blechkapsel 9 umgeben, in der eine weitere Pulverlage 2'' angeordnet ist.

Zu bemerken ist, daß die Verformung der Werkstücke durch Aufschlagen oder Aufdrücken der Werkzeuge vorgenommen werden kann.

Beim Schmieden von Werkstücken, die zumindest eine Pulverschicht als Lage umfassen, werden die Pulverschichten in Blechkapseln eingeschlossen und auf einen Kern aufgebracht oder in eine Lage des Vormaterialkörpers bildendes Rohr eingeschoben. Es ist auch möglich, das Pulver direkt auf einen Kern aufzubringen und sodann von außen einzukapseln. Vorteilhafterweise erfolgt das Erwärmen des Pulvers nach einer Evakuierung und einem Verschuß des Pulverraumes oder unter Schutzgas.

Zwischen Lagen aus festem Material bzw. zwischen Lagen aus festem Material und Blechkapseln können Verbindungshilfen in Form von dünnen Blecheinlagen, von Pulverschichten, z.B. aus Ni, von auf eine Lage aufgetragenen galvanischen, plasmaabgelagerten od.dgl. Schichten, z.B. aus Ni, usw. angeordnet werden, die mit den benachbarten Lagen stabile metallische Verbindungen eingehen.

Besonders vorteilhaft sind Verbundstoffe unterschiedlicher Eigenschaften (hartzäh, warmfest-zäh, hochfestkorrosionsbeständig, verschleißfest-zäh, hochlegiertniedriglegiert usw.) mit günstigen Eingriffen in das Gefüge und besserer Verbindung der einzelnen Lagen herstellbar. Als Material für die einzelnen Lagen kommen Stähle und Legierungen aller Art, z.B. Werkzeugstähle, in Frage; die gefertigten Verbundwerkstoffe werden z.B. zur Erzeugung von Maschinenteilen, Stempel, Hochdruckrohren, Werkzeugen usw. verwendet.

Die Schmiedetemperaturen werden beim vorliegenden Verfahren in Anlehnung an die für die eingesetzten Legierungen bekannten Temperaturen gewählt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Beispielen näher erläutert:

Beispiel 1:

Ein vorgeschmiedeter und bearbeiteter Rohrkörper mit den Abmessungen:

Außendurchmesser 180 mm

Innendurchmesser 90 mm

aus der Stahlmarke nach DIN 16 MnCr5 wurde mit Pulver der Legierungs-marke: X 155 CrVMo 12 1 gefüllt, worauf durch ein Rütteln eine Pulververdichtung erfolgte. Unter weiterem Rütteln wurde der Pulverraum evakuiert und gasdicht verschlossen. Der Rohling wurde in 6 Stunden auf eine Schmiedetemperatur von 1200°C erwärmt und anschließend in einer Vierhammer-Radialschmiedemaschine unter Verwendung von Rundhämmern, auf eine Dimension rd. 100 mm, mit einem Verformungsgrad von 3,24 zu 1 geschmiedet. Die Rundverbundstange wurde nach einer Ultraschallprüfung, bei welcher keinerlei Bindungsfehler zwischen den Schichten festgestellt werden konnten, geteilt.

Aus dem 1. Teil wurden Prägematrizen für die Herstellung von Münzen gefertigt. Nach entsprechender Härtebehandlung des Verbundteiles erfolgte die Einbringung der Gravur. Im praktischen Gebrauch zeigt sich, daß die extreme Radialbeanspruchung die bei konventionellen Materialien zu

von Spitzkerben ausgehenden Rissen führt, keine Materialtrennungen verursachten. Weiters wurde festgestellt, daß die Gravuroberfläche im Vergleich mit konventionell hergestellten Materialien eine wesentlich höhere Haltbarkeit und Güte erbrachte. Aus dem 2. Teil der Verbundstange wurde eine Kaltumformmatrize für die Herstellung von Pflugschrauben bzw. Torbandschrauben gefertigt. Bei der Erzeugung dieser Schrauben treten in der Matrize hohe Aufweitungsspannungen sowie Verschleißerscheinungen auf. Beim praktischen Einsatz konnte eine 3-fache Haltbarkeit dieser Matrize erreicht werden, welche die hohe Qualität der Werkstoffe und des metallischen Verbundes offenlegte.

Beispiel 2:

Ein konventionell hergestellter Stabstahl der Legierungsmarke C45 nach DIN mit einem Durchmesser von 300 mm wurde mit einer Kapsel aus Kohlenstoffstahl, welche einen Durchmesser von 380 mm aufwies, konzentrisch verbunden. Der Zwischenraum zwischen Kapselmantel und Kern wurde mit Schnellstahlpulver der Legierungsmarke S 12-0-5-5 gefüllt und durch Vibration vorverdichtet. Danach erfolgte unter Einwirkung von Vibration ein Evakuieren mit nachfolgendem Verschließen der Kapsel.

Nach Aufwärmen des Rohlings auf eine Schmiedetemperatur von 1175°C erfolgte die Warmverformung mit Rundhämmern auf einen Außendurchmesser des Verbundstabes von 250 mm, was einem Verformungsgrad von 2,3 zu 1 entspricht. Nach dem Weichglühen des Rohlings erfolgte die Rohfertigung eines Walzenfräasers. Die folgende Härtung des Rohlings war auf die Schnellstahllegierung des Außenteils abgestimmt, wonach die Fertigbearbeitung durch Schließen durchgeführt wurde. Die spanabhebende Bearbeitung sowie auch das Schleifen waren wesentlich einfacher und kostensparender durchzuführen, wodurch die entsprechende Qualität und Homogenität des Außenmaterials offengelegt wurde. Weiters kam es während des Härtingsprozesses zu keinerlei Verzugerscheinungen. Im praktischen Betrieb erwies sich, daß auch bei Schlagbeanspruchungen dieser Verbundfräser keinerlei Rißbildungen, die üblicherweise von der innenliegenden Keilnut ausgehen, zeigte. Weiters waren die Standzeiten, die erreicht werden konnten, im Vergleich mit konventionell hergestellten Fräsern das 1,9-fache. Dies ist besonders hervorzuheben, weil eine Werkzeuggeometrie verwendet wurde, welche wesentlich höhere Schnittleistung erbringt, jedoch bei konventionell hergestellten Fräsern extrem hohe Verschleißerscheinungen zeigt.

Beispiel 3:

Zur Herstellung von Strangpreßmatrizen für das Verpressen von Kupfer wurde ein Verbundstahl folgend erzeugt: In einem vorgeschmiedeten und bearbeiteten Rohrkörper einer Legierung (Werkstoffnummer 1.7765) mit einem Außendurchmesser von 170 mm und einem Innendurchmesser von 120 mm wurde ein Kern aus Automatenstahl (Werkstoff-

nummer 1.0737) mit einem Außendurchmesser von 80 mm zentrisch eingebracht. Der Zwischenraum wurde mit legiertem Pulver (Werkstoffnummer 2.4979) gefüllt, wonach eine Vorverdichtung durch Pressen erfolgte. Das luftdichte Verschließen des Pulverraumes wurde nach dem Evakuieren durchgeführt. Nach dem Aufwärmen des Rohlings auf eine Temperatur von 1180°C erfolgte eine Schmiedung mit Rundhämmern auf einen Verbundstabdurchmesser von 100 mm, was einer Verformung von 2,9 zu 1 entspricht. Nach dem Abkühlen erfolgte die Einbringung einer zentrischen Bohrung in den Verbundkörper, welche besonders vorteilhaft durchgeführt werden konnte, weil der Hauptteil des zu entfernenden Materials aus Automatenstahl bestand. Nach dem Normalisieren und Anlassen des fertigbearbeiteten Warmpreßwerkzeuges wurde dieses im praktischen Betrieb erprobt und erbrachte eine gegenüber herkömmlichen Werkzeugen 2,8-fache Standzeit.

Beispiel 4:

Für eine ultrahochbeanspruchte Hohlschnecke wurde ein Rundverbundstahl folgend gefertigt. In einer Kapsel wurde ein Rohr mit einem Innendurchmesser von 100 mm und einem Außendurchmesser von 200 mm achssymmetrisch eingestellt. Sowohl der Außenraum zwischen dem Rohr der Kapsel, welche einen Durchmesser von 380 mm aufwies, als auch der Innenraum des Rohres wurden mit Legierungspulver (Werkstoffnummer 1.7220) gefüllt, welches unter Rütteln vorverdichtet wurde. nach dem Vakuumbehandeln unter weiterem Rütteln sowie nach dem luftdichten Abschluß erfolgte das Aufwärmen des Rohlings auf eine Temperatur von 1175°C innerhalb von 7 Stunden. Nach dem Durchwärmen erfolgte die Warmverformung an einer Radial-Schmiedemaschine unter Einsatz von Rundhämmern mit einem Kegelwinkel von 6°. Der Endquerschnitt betrug 280 mm, was einer Verformung von 1,84 zu 1 entsprach. Nach dem Weichglühen erfolgte die Bearbeitung des Rohlings, wobei zentrisch eine Bohrung mit einem Durchmesser von 55 mm eingebracht wurde und die Außenzone mit einer spiralförmigen Schneckenkontur versehen wurde. Beim anschließenden Wärmebehandeln bzw. Vergüten dieses Maschinenteiles trat keinerlei Verzug auf, weil die Bindungsflächen achssymmetrisch und konzentrisch vorlagen. Im praktischen Betrieb konnte bei diesem höchstbeanspruchten Maschinenteil eine extrem hohe Standzeitverbesserung von 11,5-fach erzielt werden, weil einerseits der Verschleißwiderstand der Arbeitszonen wesentlich erhöht war andererseits die zähe Zwischenschicht aus Vergütungsstahl die Zug- und Biegebeanspruchungen dieser Hohlschnecke aufnahm, wodurch eine Rißbildung bzw. der vorzeitige Bruch vermieden werden konnten.

Beispiel 5:

Ventilspindeln sind einer hohen Torsionsbeanspruchung ausgesetzt und müssen insbesondere im Bereich des Ventilsitzes eine entsprechende Ver-

schleißfestigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Für die Ventilspindelproduktion wurde Verbundmaterial hergestellt, wobei der Rohling aus einem Außenrohr mit einem Durchmesser von 80 mm bzw. einem Innendurchmesser von 60 mm bestand, in welches mit einem Spiel von durchschnittlich 0,8 mm ein Innenzylinder eingefügt wurde. Das Außenrohr was aus der Legierung entsprechend Werkstoffnummer 1.4116, der Innenteil aus einem Material entsprechend Werkstoffnummer 1.4006 gebildet. Vor dem Aufwärmen des Rohlings erfolgte ein Spülen des ringförmigen Zwischenraumes mit Edelgas und nachher ein Verschließen des Ringspalts zur Vermeidung des Eintrittes von Sauerstoff. Die Rundhammerschmiedung auf der Radial-Schmiedemaschine wurde bei einer Temperatur von 1150° mit einer Verformung von 1,78 zu 1 durchgeführt. Die Ventilspindeln wiesen im praktischen Einsatz eine wesentlich gesteigerte Qualität auf, die sich durch verbesserte Bruchsicherheit und Lebensdauer dokumentierte.

Beispiel 6:

In einem Rohrkörper (Werkstoffnummer 1.7228) wurde ein um 2 mm im Durchmesser geringerer Vollzylinder (Werkstoffnummer 2.4631) plziert. In den Zwischenraum erfolgte die Einbringung eines Bindungshelfers im gegebenen Fall Nickelpulver. Nach dem Abschließen des Ringspaltes erfolgte ein Warmschmieden mit einem Verformungsgrad von 1,27 zu 1. Die anschließende Ultraschallprüfung sowie die Mikroerprobung erbrachten, daß eine vollkommene metallische Bindung zwischen den Werkstoffen vorlag, wobei die Zwischenlage aus einer konzentrischen dünnen weitgehend aus Nickel bestehenden porenfreien Schicht bestand. Durch Zugproben sowie Kerbschlagbiegeproben wurde nachgewiesen, daß diese Zwischenschicht eine wesentliche Verbesserung der Festigkeit in der Bindezone bewirkte.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von zwei- oder mehrlagigen Verbundstäben aus zylindrischen, zentrisch zueinander angeordneten Lagen unterschiedlicher Werkstoffe aufweisenden Werkstücken bzw. Vormaterialkörpern unter Einsatz von in einer zur Stabachse senkrechten Ebene gleichzeitig auf das Werkstück einwirkenden, insbesondere schlagenden oder drückenden und dieses verformenden Werkzeugen, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück fortschreitend über seine Länge im Verformungsbereich der zumindest einen Abschnitt mit einer kegeligen Arbeitsfläche besitzenden Werkzeuge einer Verformung zu zumindest einem (Kreis)Kegelstumpf unterworfen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser des Werkstückes im Zuge der Verformung, vor-

zugsweise entsprechend einem Verformungsgrad von 1,2 : 1 bis 4 : 1, insbesondere 1,5 : 1 bis 3 : 1, gegebenenfalls in mehreren aufeinanderfolgenden Verformungsbereichen, verkleinert wird und das Werkstück mit diesem kleineren Durchmesser aus dem Verformungsbereich geführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück im Verformungsbereich einer Anzahl von aufeinanderfolgenden Verformungen zu Kegelstümpfen mit zueinander verschiedener Neigung der Umfangsflächen bzw. unterschiedlicher Konizität unterworfen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Zuge der Verformung die Flächen des bzw. der am Werkstück ausgebildeten Kegelstumpfes (stümpfe) mit einem Neigungswinkel von 2 bis 20° zur Längsachse des Werkstücks ausgebildet wird (werden).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück zwischen den Verformungen schrittweise um seine Längsachse, vorzugsweise um Winkel kleiner als 45°, gedreht wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Lage des Werkstückes von einer Schicht eines Metallpulvers gebildet wird, die von zumindest einer Lage eines festen Materials umgeben ist und/oder zumindest eine Lage eines festen Materials umgibt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten aus Metallpulver von zylindrischen Blecheinlagen umschlossen sind und/oder um einen Kern aus festem Material angeordnet sind, wobei zwischen dem Material der Blecheinlagen und einer diese umgebenden Lage im Zuge der Verformung eine metallische Bindung ausgebildet wird.

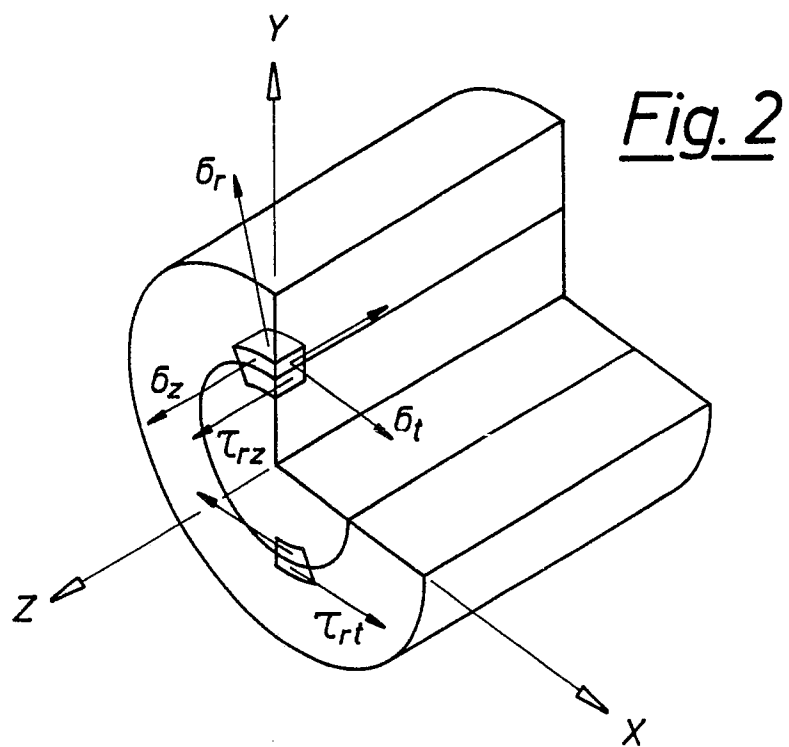
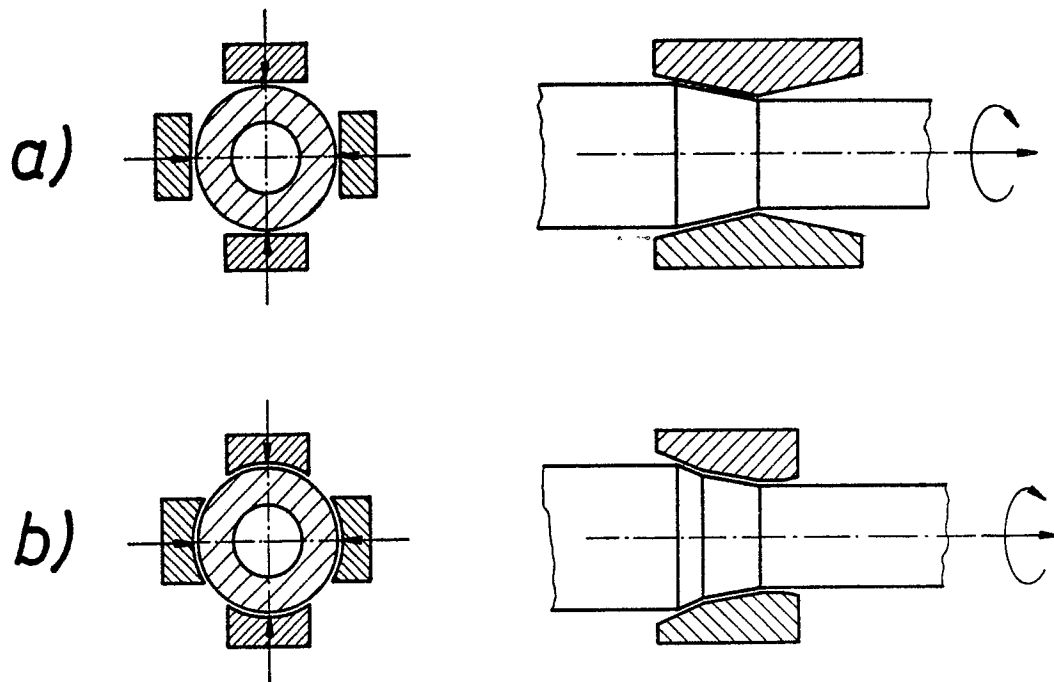
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Werkstück vor der Verformung zwischen einzelnen Lagen Zwischenschichten als Verbindungshilfe, z.B. 0,1 bis 4 mm, insbesondere 0,2 bis 3 mm, dicke Schichten aus z.B. Ni-Pulver, galvanisch, durch Flammen- oder Plasmaspritzen auf die Lagen aufgebraute Schichten od.dgl., ausgebildet werden.

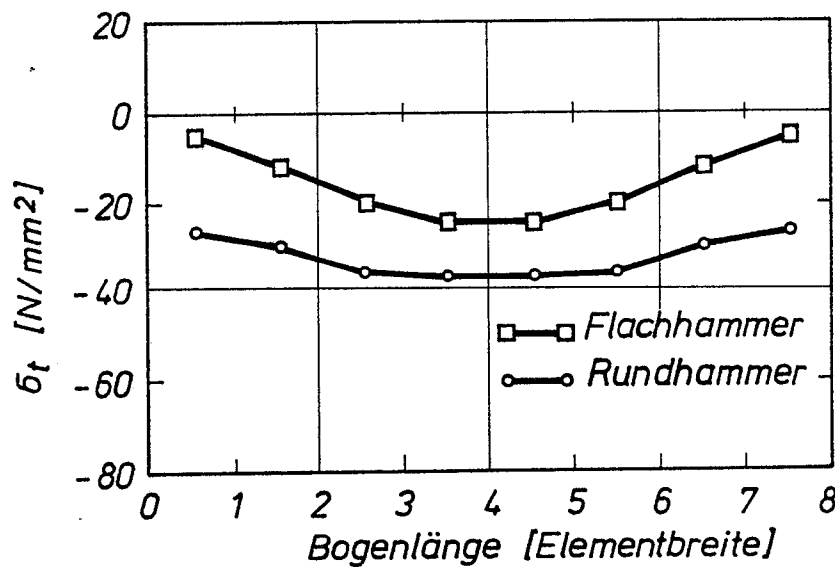
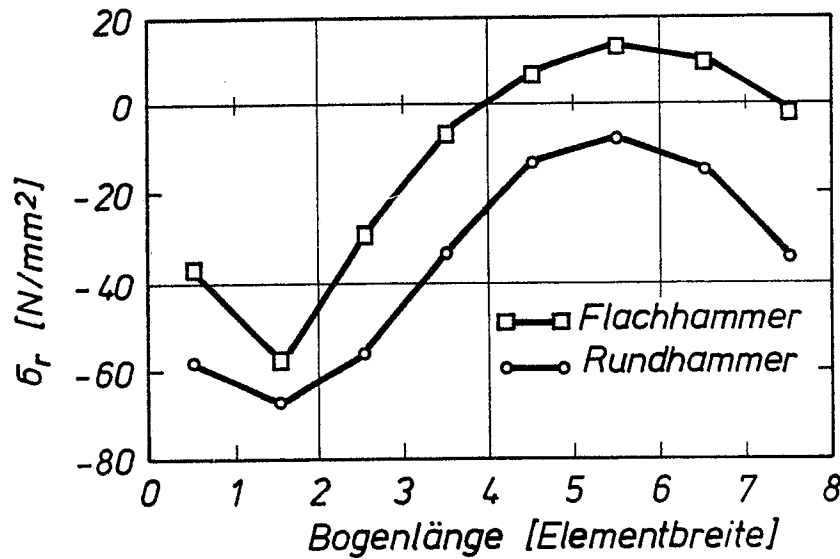
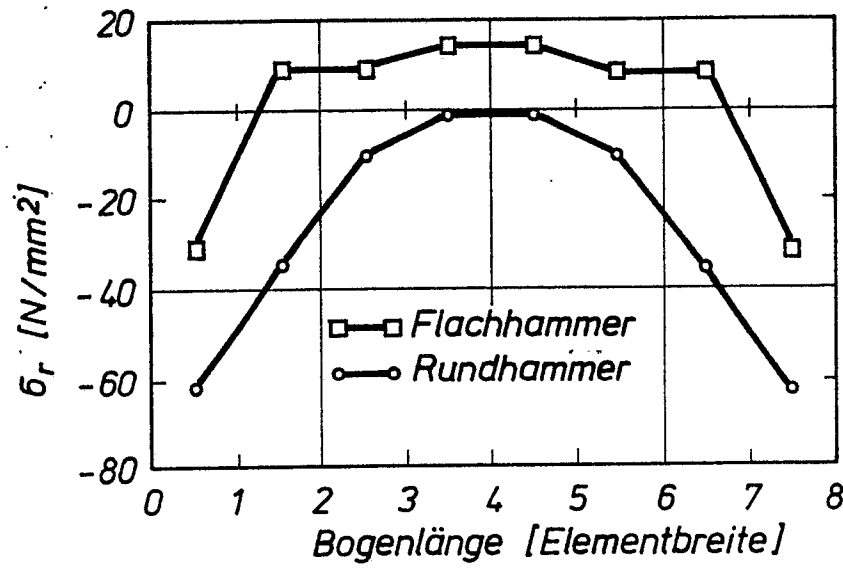
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des Verformungsbereiches größer als das 0,5-fache des Durchmessers des verformten Werkstückes ist, vorzugsweise dem Durchmesser des verformten Werkstückes entspricht.

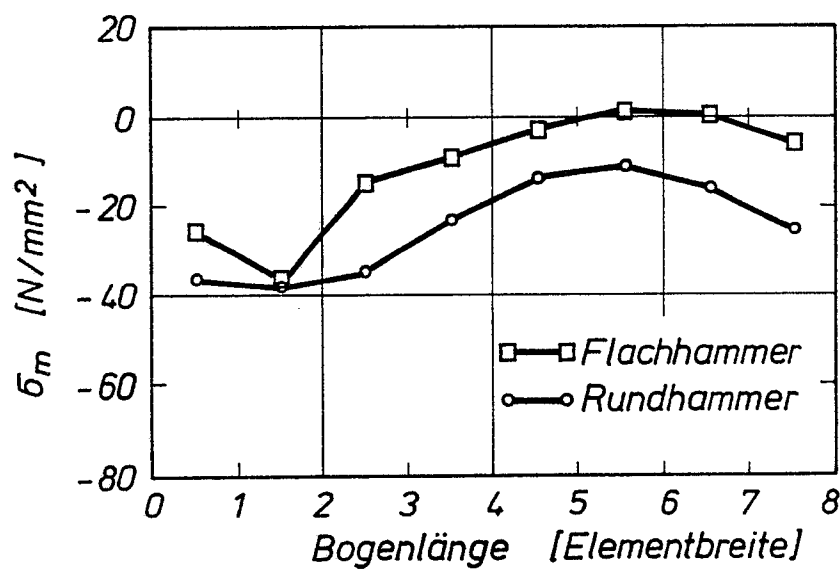
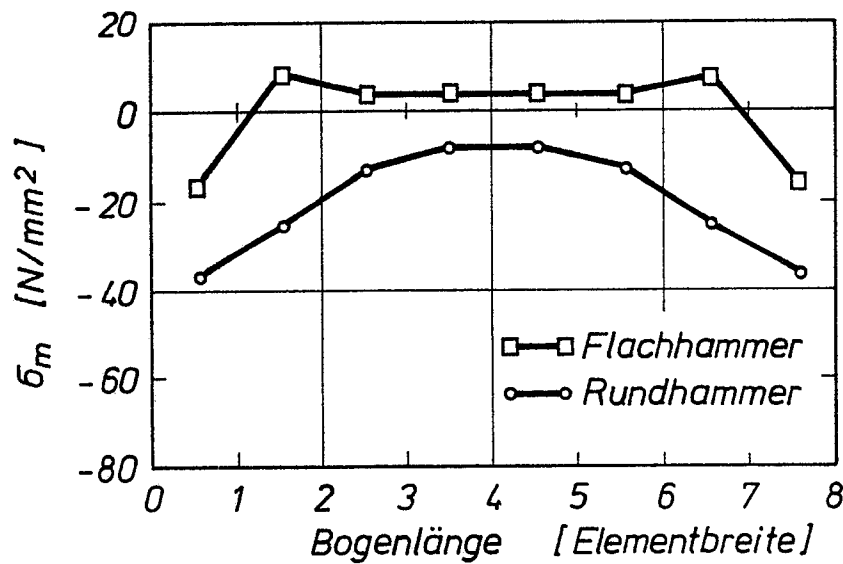
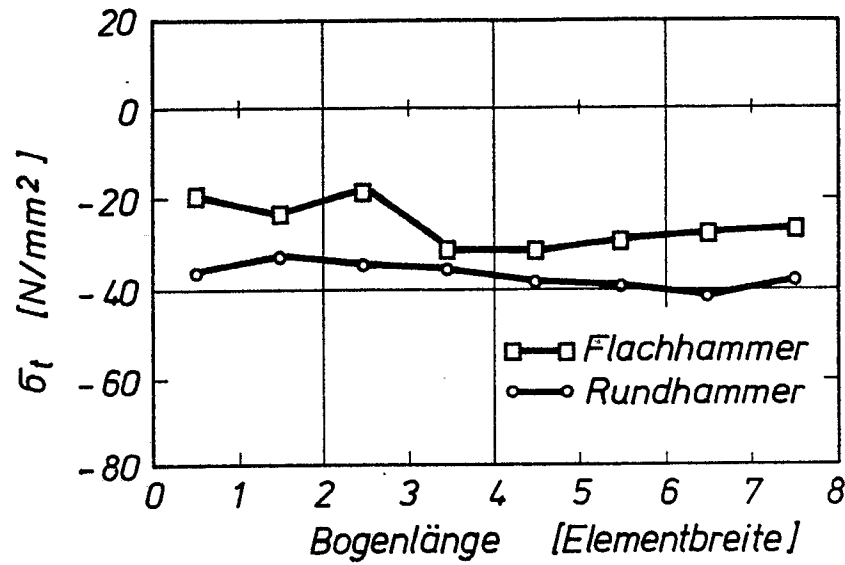
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verformung des Werkstückes mit einer Radialschmiedemaschine mit Werkzeugen bzw. Hämmern durchgeführt wird, deren Arbeitsflächen zumindest einen Abschnitt aufweisen, der dem Mantel eines Kegelstumpfes angepaßt ist.

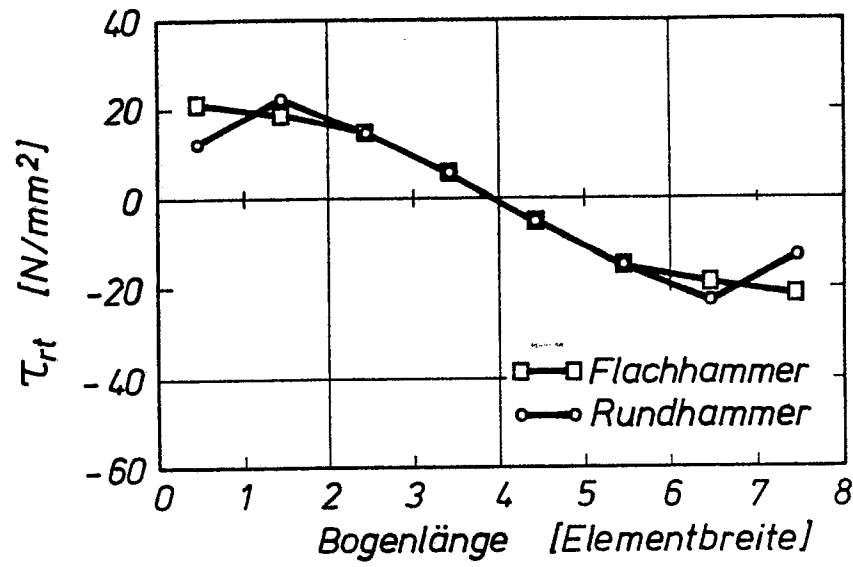
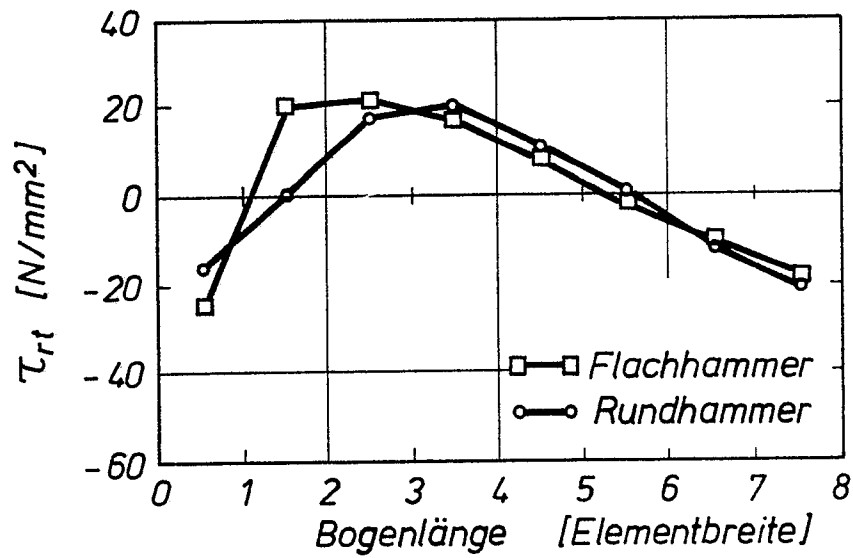
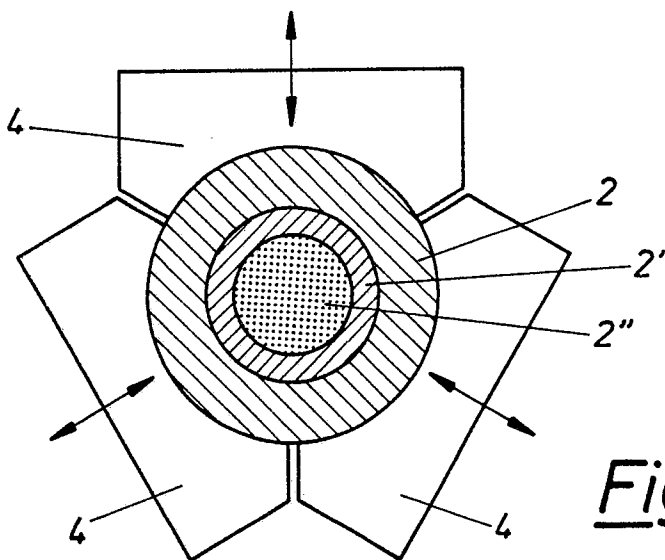
11. Radial-Schmiedemaschine zum Herstellen

- von stangenförmigen, zwei- oder mehrlagigen Verbundwerkstoffen bzw. Rundstäben durch Schmieden, vorzugsweise zum Warmschmieden von zentrisch zueinander angeordnete Werkstofflagen aufweisenden Werkstücken 5
bzw. Vormaterialkörpern, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß drei oder mehrere, vorzugsweise vier, gleichzeitig in einer Ebene auf das Werkstück 10
einwirkende, insbesondere schlagende oder drückende Werkzeuge (4) vorgesehen sind, die Arbeitsflächen (5) mit zumindest einem kegeli- 15
gen Abschnitt aufweisen, die in der unteren Totpunktlage der Werkzeuge (4) sich zu zumin-
dest einem (Kreis)Kegelstumpf (6) ergänzen.
12. Radial-Schmiedemaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der große Durchmesser des von der Arbeitsfläche der Werkzeuge gebildeten Kegelstumpfes dem Durchmesser des unverformten Werkstückes 20
(3) angepaßt ist bzw. diesen übersteigt und daß der kleine Durchmesser des Kegelstumpfes demgegenüber, vorzugsweise entsprechend einem Verformungsgrad von 1,2 : 1 bis 4 : 1, 25
insbesondere 1,5 : 1 bis 3 : 1, verkleinert ist.
13. Radial-Schmiedemaschine nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß der von den Werkzeugen (4) in ihrer unteren Totpunktlage gebildete Kegelstumpf in Durch- 30
satzrichtung des Werkstückes von mehreren Kegelstumpfabschnitten (A,B,C) gebildet ist, wobei die Flächen der einzelnen Kegelstumpf-
abschnitte unterschiedliche Neigungswinkel zur Durchsatzrichtung bzw. unterschiedliche 35
Konizität besitzen.
14. Radial-Schmiedemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der von den Werkzeugen in ihrer unteren Totpunktlage gebildete Kegelstumpf bzw. die 40
aufeinanderfolgenden Kegelstümpfe unterschiedlicher Konizität zumindest abschnittwei-
se nach außen oder nach innen gekrümmte Erzeugende besitzt (besitzen).
15. Verwendung einer Radial-Schmiedema- 45
schine mit kegelige Arbeitsflächen aufweisen-
den Werkzeugen, die in der unteren Totpunktlage der Werkzeuge (4) einen (Kreis)Kegelstumpf (6) bzw. mehrere aufeinanderfolgende Kegel- 50
stümpfe mit einem dem Durchmesser des unverformten Werkstückes (3) angepaßten
bzw. diesen übersteigenden großen Durchmes-
ser und einem demgegenüber, vorzugsweise
entsprechend einem Verformungsgrad von 1,2 : 1 bis 4 : 1, insbesondere 1,5 : 1 bis 3 : 1, 55
verkleinerten kleinen bzw. kleinsten Durchmes-
ser bilden, für das Verbundschmieden von
stangenförmigen aus zwei oder mehreren zen-
trischen Lagen aufgebauten Werkstücken zu
zwei- oder mehrlagigen Rundstäben. 60

Fig. 1





Fig. 9Fig. 10Fig. 18

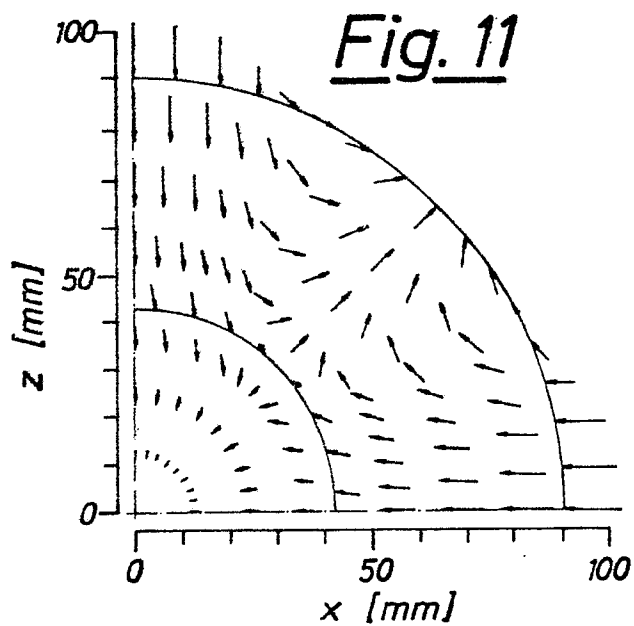
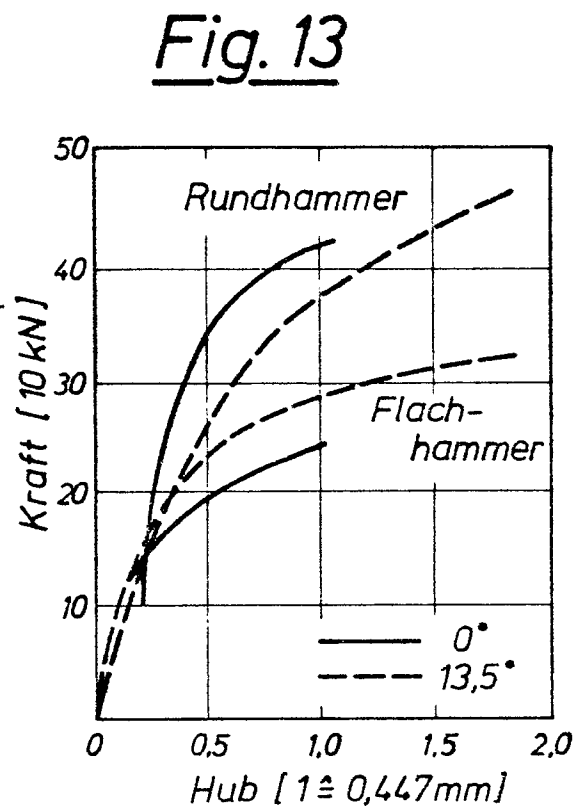
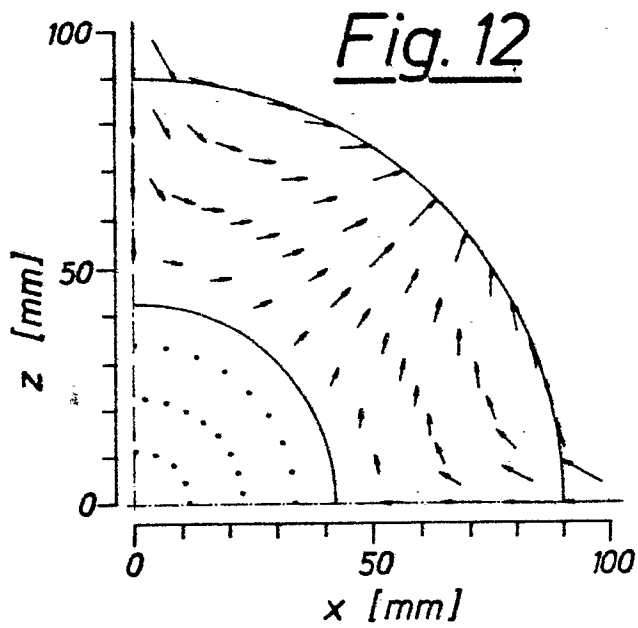
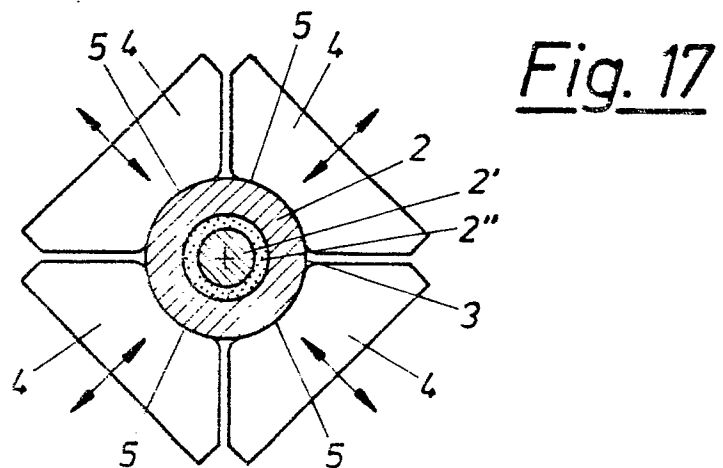
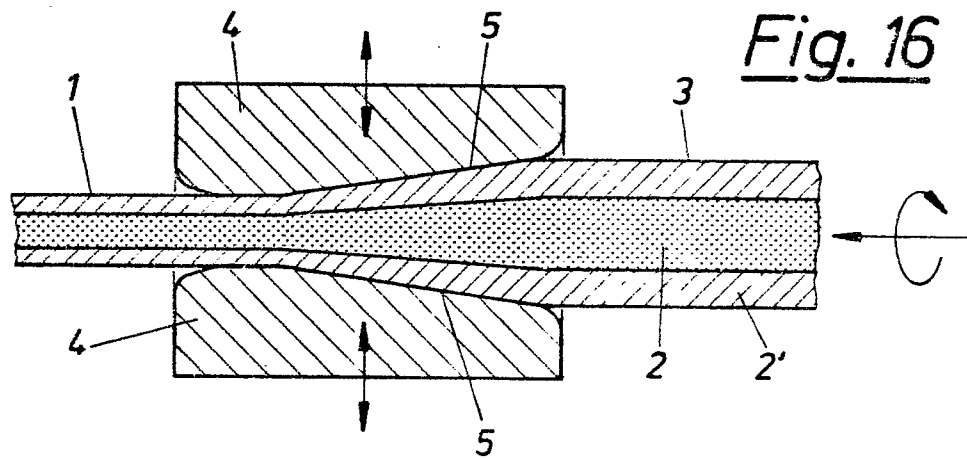
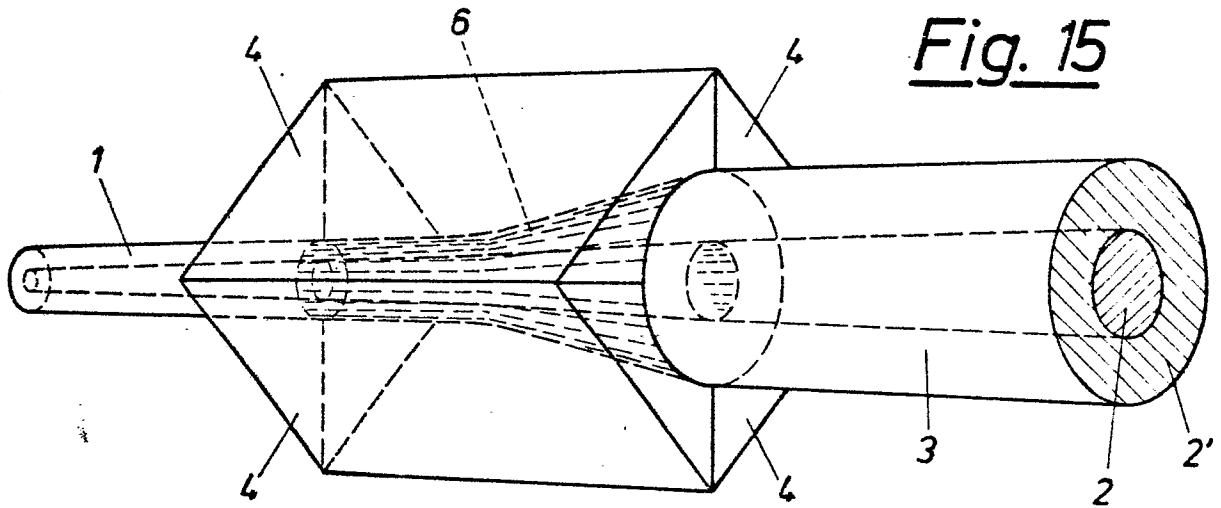


Fig. 14

		σ_z	σ_t	σ_r	σ_m	τ
0°	Flachhammer	28,28	2,80	2,78	11,29	-0,008
	Rundhammer	26,39	-24,47	-22,37	-6,82	0,000
13,5°	Flachhammer	43,08	-6,26	-6,75	10,02	1,53
	Rundhammer	20,98	-29,33	-27,71	-12,01	1,50



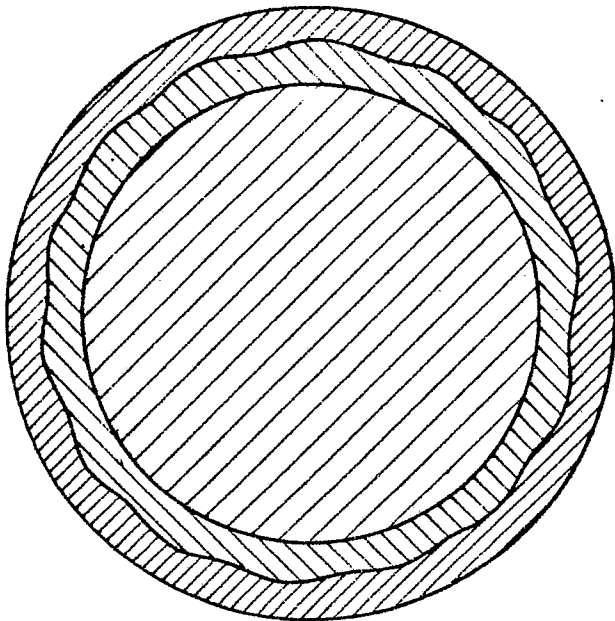


Fig. 19

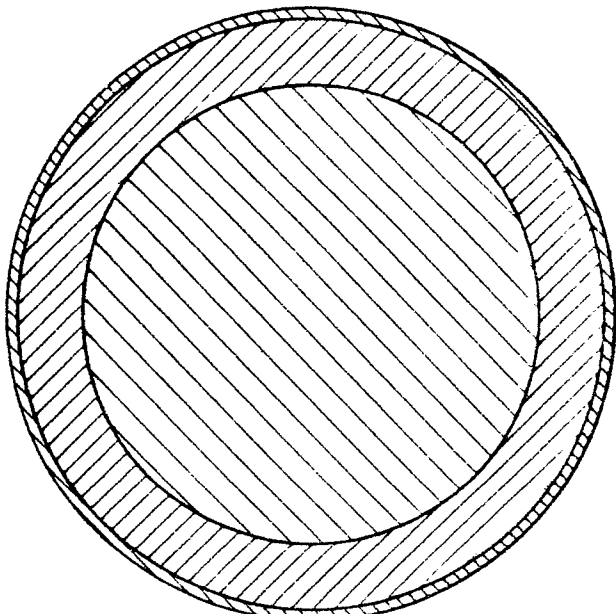


Fig. 20

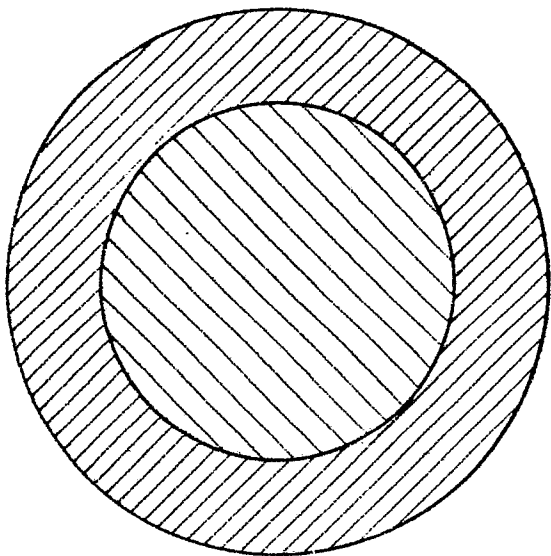


Fig. 21

Fig. 22

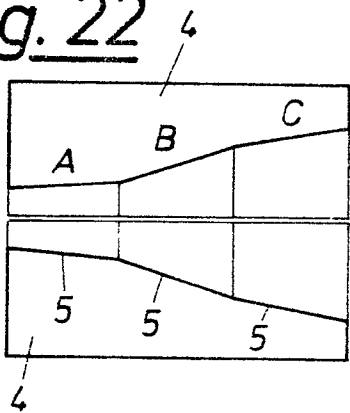


Fig. 23

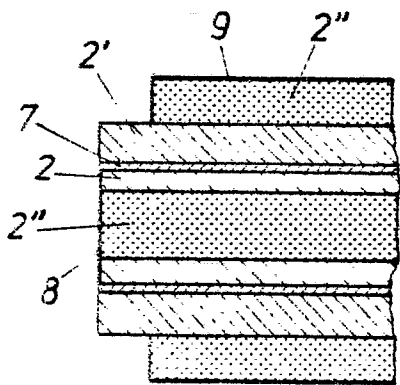
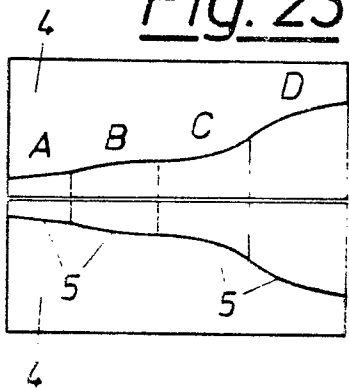


Fig. 24