



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

51 Int. Cl.³: B 21 C
B 21 C

9/00
3/14

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



12 PATENTSCHRIFT A5

625 141

21 Gesuchsnummer: 11373/77

22 Anmeldungsdatum: 16.09.1977

30 Priorität(en): 16.09.1976 AT 6865/76

24 Patent erteilt: 15.09.1981

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.09.1981

73 Inhaber:
PVL Physikalische Versuchsanstalt Dr. B.
Langenecker, Wenigzell/Steiermark (AT)

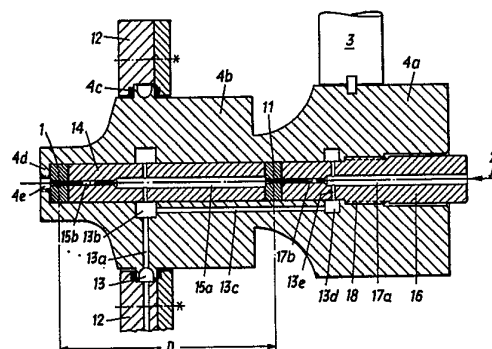
72 Erfinder:
Dr. Bertwin Langenecker, Wenigzell/Steiermark
(AT)

74 Vertreter:
A. Braun, Braun, Héritier, Eschmann AG,
Patentanwälte, Basel

54 Verfahren zum Ziehen von Drähten, Stangen, Rohren und dergleichen, und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

57 Drähte, Stangen, Rohre und dergleichen werden mittels Ziehösen (1, 11) unter Verwendung von Makroschall gezogen, wobei die Ziehösen hydrodynamisch geschmiert werden. Vorzugsweise wird die Verformungsgeschwindigkeit gleich oder grösser als die Schallschnelle gewählt.

Die Ziehvorrichtung enthält einen Ultraschallumformer (3), ein die Ultraschallwellen in Makroschallwellen umwandelndes und verstärkendes Horn (4a) und im Wirkungsbereich der Makroschallwellen angeordneter, senkrecht zum Drahtdurchlass stehender erster Ziehstein (11). Diesem ersten Ziehstein (11) ist im Abstand eines Vielfachen der halben Wellenlänge der Makroschallschwingung oder anderer Schwingungskomponenten, wie Biege- wellen, Transversalwellen, Dehnungswellen, ein zweiter Ziehstein (1) nachgeschaltet. Jedem der Ziehsteine (1, 11) ist ein vom Draht (2) durchlaufener Kanal (15b, 17b) vorgeschaltet, dessen Durchmesser in einem die hydrodynamische Schmierung gewährleistenden Ausmass grösser ist als der Durchmesser des zu ziehenden Drahtes.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Ziehen von Drähten, Stangen, Rohren und dergl. mittels Ziehstäben unter Verwendung von Makroschall, dadurch gekennzeichnet, dass die Ziehstange hydrodynamisch geschmiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schmiermittel mit hohem Druck, z. B. mittels Pumpen, in die Ziehstange hineingepresst wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verformungsgeschwindigkeit gleich oder grösser als die Schallschnelle gewählt wird.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem Ultraschallumformer, einem die Ultraschallwellen verstärkenden Horn und mindestens einem im Makroschallbereich angeordneten, senkrecht zum Draht gerichteten Ziehstein, dadurch gekennzeichnet, dass dem Ziehstein ein vom Draht durchlaufener Kanal vorgeschaltet ist, dessen Durchmesser grösser ist als der Eintrittsdurchmesser der Ziehstange, so dass eine hydrodynamische Schmierung ohne Abreissen des Schmiermittelfilms erzielt werden kann.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4 für Makroschall bestimmter Frequenz, dadurch gekennzeichnet, dass dem Ziehstein im Abstand eines Vielfachen der halben Wellenlänge der angewendeten longitudinalen Makroschallgeschwindigkeit oder anderer Schwingungskomponenten, wie Biege- und Transversalwellen, Dehnungs- und Torsionswellen, ein weiterer, hydrodynamisch geschmierter Ziehstein vorgeschaltet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ziehsteine (1, 11) und die Rohre (14, 16) in einer gemeinsamen, einseitig offenen Bohrung des Hornes angeordnet und gemeinsam in dieser kraftschlüssig, z. B. mittels einer Verschraubung, in ihrer Lage sicherbar sind, wobei die Verschraubung in einem Bewegungsknoten von Rohr und Horn angeordnet ist.

Der Gegenstand der Erfindung bildet ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ziehen von Drähten, Stangen, Rohren und dgl. mittels Makroschall (d. i. Ultraschall grosser Amplitude) unter Verwendung der hydrodynamischen Schmierung.

Es ist bekannt [aus Literatur nachweis F. Blahe und B. Langenecker «Dehnung von Zink-Kristallen unter Ultraschalleinwirkung»; die Naturwissenschaften, 20, 556 und 557 (1955) und B. Langenecker, C. W. Fountain und V. O. Jones, «Ultrasonics: An Aid to Metal Forming?»; Metal Progress (1964)], dass die zur Aufrechterhaltung der plastischen Verformung von metallischen Werkstoffen notwendigen äusseren Zug- oder Druckspannungen durch einwirkenden Makroschall genügend grosser Intensität beträchtlich herabgesetzt werden können, was Anwendungsmöglichkeiten in der metallverarbeitenden Industrie in Aussicht stellt. Auf diesem Effekt der Verminderung der äusseren Verformungskräfte durch einwirkenden Ultraschall beruhen mehrere patentrechtlich geschützte Verfahren und Vorrichtungen (US-PS 2 638 207; 2 568 303 und AT-PS 246 082), die in ihrer Konzeption auf die in den vorerwähnten Zeitschriften beschriebene Anordnung zurückgehen. Der zur Wirkung gelangende Ultraschall wird in einem Konverter (Umformer) durch Umwandlung von elektrischen Signalen in mechanische Schwingungen erzeugt und in einem in Richtung seiner Längsachse schwingenden Horn verstärkt. In der Regel wird in einem der Bewegungsbäume des akustisch schwingenden Hornes der Ziehstein angeordnet, in welchem die Verformung des Drahtes (in der Folge sind immer auch Stangen, Rohre, Profildrähte u. dgl. gemeint) stattfindet. Nur in der AT-PS 246 082 wird der Ziehstein (Düse) in Bewegungsknoten, d. h. also im Spannungs-

bauch, des in stehender Ultraschallschwingung befindlichen Düsenträgers (Hornes) angebracht.

Alle diese und ähnliche Verfahren und Vorrichtungen sind nur bei Ziehgeschwindigkeiten besonders wirksam, die nicht grösser als etwa die sogenannte Schallschnelle sind. Unter der Schallschnelle v eines Schallfeldes versteht man die sich räumlich und zeitlich periodisch ändernde Geschwindigkeit der schwingenden Teilchen. Sie wird durch die Gleichung $v =$

$A \cdot \omega \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$ gegeben; worin A die Amplitude, ω die Kreisfrequenz und c die Schallgeschwindigkeit bedeuten.

Demgemäss sind nennenswerte Effekte von Makroschall auf die Metallplastizität bei den bisher üblichen Frequenzen von weniger als 100 kHz – in der Regel 20–30 kHz – bei Ziehgeschwindigkeiten unter einigen Metern pro Sekunde möglich. Da in der industriellen Praxis schwer verformbare Werkstoffe (z. B. Molybdän, Wolfram u. a. m.) konventionell, also ohne die Anwendung von Makroschall, wesentlich langsamer gezogen werden, als der Schallschnelle entspricht, bringt in allen diesen Fällen die Einwirkung von Makroschall nach den zitierten Verfahren und Vorrichtungen tatsächlich beträchtliche Steigerungsmöglichkeiten der Ziehgeschwindigkeiten mit sich und ermöglicht es auch, die Querschnittsabnahme je Ziehstufe gegenüber den bisher üblichen konventionellen Drahtziehverfahren erheblich zu erhöhen und dadurch die Produktivität der üblichen Drahtziehverfahren beträchtlich zu steigern.

Ausserdem ist es möglich, Drähte auch aus solchen Werkstoffen herzustellen, die bei den bisher üblichen konventionellen Verfahren entweder gar nicht oder nur durch Zufuhr von Wärme (durch Aufheizen des Drahtes) gezogen werden können. Das Aufheizen der Drähte bringt es mit sich, dass die Werkstoffeigenschaften durch die thermische Einwirkung nachteilig beeinflusst werden können, und dies macht mitunter eine geeignete Nachbehandlung zur Wiedererlangung bzw. zur Erzielung der gewünschten Drahteigenschaften notwendig.

Das Makroschall-Ziehverfahren erspart das Aufheizen solcher Drähte aus Werkstoffen, die sich bei Raumtemperatur nicht oder nur sehr schwach ziehen lassen, so dass sehr wohl unter Makroschalleinwirkung bei Raumtemperatur gezogen werden kann. Man erspart sich auch die bei verschiedenen Werkstoffen, z. B. hochlegierten Stahldrähten, notwendigen chemischen Vor- und Nachbehandlungen, die teils zum Schutz des Werkstoffes vor dessen thermischer Behandlung notwendig sind bzw. die dann bei den konventionellen Verfahren aufgebracht werden müssen, wenn ansonsten das Schmiermittel am Werkstoff nicht anhaftet, sobald der Draht durch die Ziehstange gezogen wird. Das Makroschallverfahren bietet also neben einer Produktivitätssteigerung auch noch Einsparungen mit sich, indem das Aufheizen und auch die allfällige chemische Vor- und Nachbehandlung (z. B. das «Bondern») gegenüber konventionellen Verfahren entfallen kann.

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich im Sinne der oben angeführten Beschränkung durch die Schallschnelle auf Verformungsgeschwindigkeiten, die unter einigen Metern pro Sekunde liegen. Unter Verformungsgeschwindigkeit ist die zeitliche Ableitung der Formänderung Φ zu verstehen:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \dot{\Phi},$$

wobei nach der Fliesstheorie von Mises von der Annahme ausgegangen wird, dass die Verfestigung und damit die für eine bestimmte Formänderung benötigte Fliessspannung nur von der aufgewendeten, auf das Volumen bezogenen plastischen Arbeit und nicht von der Art und Weise der Formänderung abhängt. Die Bestimmungsgleichung für Φ kann unter der Voraussetzung, dass die Hauptformänderungsrichtungen und das

Verhältnis der Formänderungszuwächse $d\phi_1:d\phi_2:d\phi_3$ während der Umformung konstant bleiben, wie folgt bestimmt werden:

$$\phi = \sqrt{\frac{2}{3} (\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2)}.$$

Mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit, wenn man also gleich der Schallschnelle oder noch schneller verformt, nimmt der eingangs erwähnte Effekt von Makroschall auf die Metallplastizität zusehends ab, bis er schliesslich bei sehr hohen Geschwindigkeiten gänzlich verschwindet.

In der Zeichnung ist in Fig. 1 eine Ziehvorrichtung gemäss dem Stand der Technik dargestellt, die im wesentlichen auch bei der Erfindung verwendet wird. Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung.

Das Prinzip der zitierten vorbekannten Verfahren und Vorrichtungen sei an Hand der Fig. 1 erläutert:

Der Ziehstein 1 ist senkrecht zur Längsachse des Drahtes angeordnet und damit in oder mehr oder weniger geneigt zur Längsachse eingebaut, die dem Konverter 3 (Ultraschallumformer) und dem die Ultraschallwellen verstärkenden Horn 4 zukommt (vgl. US-PS 3 212 312 und US-PS 2 638 207). Bei diesen und ähnlichen bisher bekanntgewordenen Ultraschallverfahren läuft der zu verformende Draht 2 entlang der Längsachse des gesamten akustischen Systems hindurch. Selbst bei gedrungener Bauweise sind solche für Frequenzen von etwa 20–30 kHz ausgelegte Bauelemente 25–50 cm lang, was in der Wellenlänge $\lambda = c/u$ des üblicherweise angeordneten Ultraschallfeldes begründet ist. Weil überdies das notwendige Schmiermittel den Kanal in der Längsachse des akustischen Systems, durch welchen der Draht hindurchgezogen wird, allmählich verstopfen kann, wird das in seiner Eigenfrequenz schwingende System gedämpft. Damit wird aber die Güte des schwingenden Systems herabgesetzt, was zu einer Vergeudung von Ultraschallenergie führt. (Es wird nämlich die Resonanzkurve des schwingenden Systems verflacht und damit der Wirkungsgrad des Systems herabgesetzt). Überdies kann das Schmiermittel im Inneren des Konverters 3 zu Kurzschluss zwischen den Elektroden und damit zu Betriebsausfällen führen.

Es ist von Vorteil, im Abstand D vom Ziehstein eine Reflektorrolle 5 vorzusehen, bei der der zu ziehende Draht fest anliegt oder um den vollen Umfang der Reflektorrolle herum aufgelegt werden kann, wobei vorzugsweise der Abstand D ein Vielfaches der halben Wellenlänge des angewendeten Ultraschallfeldes betragen soll. Anstelle der Reflektorrolle kann man im Abstand D auch einen zweiten Ziehstein anordnen und dadurch denselben Effekt, nämlich das Ausbilden von stehenden Wellen, erzielen.

Der von der Vorratsspule 7 abzuziehende Draht 2 wird von der Reflektorrolle 5 zu den durch den Motor 9 über ein anpassendes Getriebe 10 angetriebenen Ziehteller 6 geführt. Wenn man die bei der Verformung auftretenden Kräfte messen will, empfiehlt es sich, eine Zugkraftmessdose 8 zwischen Reflektorrolle 5 und Ziehteller 6 anzuordnen.

Das erfindungsgemässe Verfahren hebt die erwähnte Geschwindigkeitsbegrenzung für die Verformung auf und eröffnet damit den uneingeschränkten Einsatz der angestrebten Effekte von Makroschall bis zu den höchsten derzeit in der Praxis der Draht-, Rohr- und Stangenherstellung angewendeten Verformungsgeschwindigkeiten. Einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens liegt der an Hand der Fig. 1 erläuterte Aufbau zugrunde, jedoch mit dem wesentlichen und entscheidenden Unterschied in der Ausführung, in der Anordnung und damit in der Funktion der Bauelemente Ziehstein 1, Konverter 3, Horn 4 und reflektierende Ebene im Abstand D, der in Fig. 1 als Abstand von der Umlenkrolle 5 oder durch Anbringung eines zweiten Ziehsteins im Abstand D angegeben

worden ist. Die Bauelemente sind vor dem Ziehteller 6 (oder vor einer sonstigen beliebigen Zugvorrichtung anstelle von 6) und vor einer allenfalls verwendeten Zugkraft-Messvorrichtung 8 und damit nach der Vorratsspule 7 anzuordnen und werden an Hand der Fig. 2 näher beschrieben.

Das wesentliche Merkmal besteht in der sinnvollen Vereinigung der Aktivierung von Umformprozessen durch Ultraschalleinwirkung im Sinne der eingangs erwähnten Effekte mit der hydrodynamischen Schmierung. Diese Art der Schmierung ist schon vor längerer Zeit bekanntgeworden und wird beispielsweise beim Schmieren von Lagern angewendet; (dem Autofahrer ist ein in seinen physikalischen Effekten gleichartiges Phänomen unter «Aqua-Planing» beim Fahren auf nasser Fahrbahn mit erhöhter Geschwindigkeit bekannt).

Für diese Schmierung ist charakteristisch, dass sie erst bei erhöhten Relativgeschwindigkeiten, beispielsweise eines Drahtes gegenüber der Wandung einer engen Röhre (mit nicht viel grösserer Bohrung als dem Drahtdurchmesser) in Erscheinung tritt. Die hydrodynamische Schmierung kommt dadurch zustande, dass das Schmiermittel einerseits am Draht und andererseits an der Rohrwand anhaftet und durch die gegenseitige Bewegung von Draht und Rohr Scherungskräfte im Schmiermittel auftreten, die schliesslich Druckkräfte erzeugen, die genügend gross sind, um das Schmiermittel auch bei hohen Ziehgeschwindigkeiten ohne Abreissen des Schmierfilmes in die Verformungszone (etwa in den Ziehstein) hineinzudrücken. Ohne diesen hydrodynamischen Effekt können Schmiermittelfilme bei hohen Ziehgeschwindigkeiten abreißen und zum Verreiben im Ziehstein und somit zum Betriebsausfall führen. Der hydrodynamische Schmiereffekt gewährleistet also Verformungsgrade bei hohen Verformungsgeschwindigkeiten mit geringem Verschleiss der Ziehwerkzeuge. Ohne die Anwendung von Makroschall kann man aber derartige Schmiermitteleffekte nur dann nützen, wenn man zum Anfahren entsprechende Hochdruckpumpen verwendet, denn der hydrodynamische Effekt setzt eine verhältnismässig hohe Mindestverformungsgeschwindigkeit und damit auch eine hohe Ziehgeschwindigkeit voraus. Mittels Hochdruckpumpen muss also zunächst der hohe Schmiermitteldruck erzeugt werden, wenn man mit einer solchen Ziehanlage anfahren will, und da die Hochdruckpumpen kostspielig und voluminös sind, bringen die Hochdruckpumpen einen dementsprechend hohen Aufwand an Kosten und Instandhaltung mit sich. Denn es sind nämlich bis zu 10 000 atü notwendig, und dementsprechende Pumpanlagen.

Mit Makroschall kann hingegen gerade beim Anfahren aus dem Stillstand besonders effektiv gearbeitet werden. Da überdies die Anfahrtspitze, die sich selbst bei den vorerwähnten Hochdruckpumpen einstellen würde, unter Ultraschalleinwirkung wesentlich vermindert werden kann, ist es möglich, von vornherein mit wesentlich grösseren Querschnittsabnahmen anzufahren. Mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit, wenn man sich also im Bereich der oben erwähnten Schallschnelle befindet, nimmt der Effekt des Makroschalles im Sinne der obigen Ausführungen auf die Metallplastizität ab, aber gleichermassen nimmt die Wirkung der hydrodynamischen Schmierung von sich aus zu. Durch geeignete Dimensionierung der Einlaufkanäle, die man erfindungsgemäss vor dem Ziehstein anbringt und die sich erfindungsgemäss innerhalb des Ultraschallsystems befinden, kann ein kontinuierlicher Übergang der dominierenden Rolle von Makroschalleffekt auf hydrodynamischen Schmiereffekt erreicht werden. Dazu wird an Hand der Fig. 2, die ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung darstellt, das erfindungsgemässe Verfahren beispielsweise erläutert:

Im Ziehstein 1 wird der Draht 2 verformt, der in Fig. 2 von rechts nach links gezogen wird. Die Ultraschallschwingungen, erzeugt im Konverter 3, werden in ihrer longitudinalen Aus-

breitungsrichtung im ersten Teil 4a des Hornsystems um 90° gedreht. Dadurch schwingt auch der zweite Teil 4b des Hornsystems in der Richtung der Längsachse des Drahtes 2, so dass der angenähert im Bewegungsbauch des Hornsystemteiles 4b befindliche Ziehstein 1 die Schwingungen in Ziehrichtung mitmacht. Das Hornsystem, das senkrecht zur Zeichenebene eine geringere Dicke aufweist als in der Zeichenebene, weist einen Halteringsring 4c auf, der in den Flanschen 12 festgehalten und damit an die Ziehmaschine befestigt werden kann. Durch den Flansch führt man das Schmiermittel zu, das durch die Öffnung 13 und durch die Kanäle 13a und 13b an den durch das dickwandige Rohr 14 zum Ziehstein 1 einlaufenden Draht 2 herangeführt wird. Dort, wo das Schmiermittel in das innere des Rohres 14 und damit an den Draht 2 gelangt (es ist dies übrigens der Bereich des Bewegungsknotens des Hornsystems), weist das Rohr 14 eine verhältnismässig grosse Bohrung 15a auf, deren Durchmesser bis zu einem Mehrfachen des Drahtdurchmessers betragen kann. Erst im Bereich 15b des Rohres 14 ist der Innendurchmesser nur wenig (einige zehntel Millimeter) grösser als der Durchmesser des Drahtes 2 und so tritt hier der hydrodynamische Effekt ein, der dazu führt, dass mit zunehmender Ziehgeschwindigkeit der Druck zunimmt, mit dem das Schmiermittel in die Verformungszone des Ziehsteins 1 eingedrückt wird.

Um die stehende Welle zustandezubringen, kann man entweder völlig analog zu den Ausführungen an Hand der Fig. 1 im Abstand D ausserhalb des in Fig. 2 veranschaulichten Hornsystems eine Umlenkrolle oder einen zweiten Ziehstein anordnen, oder aber man kann innerhalb des in Fig. 2 gezeigten Hornsystems im Abstand D einen zweiten Ziehstein 11 einsetzen. Den Abstand D hält das Rohr 14, welches natürlich für verschiedenartige Werkstoffe, die zu ziehen sind, an die obigen akustischen Bedingungen angepasst, also der Wellenlänge λ der zu ziehenden Werkstoffe entsprechen muss. Man kann nun auch vor diesem zweiten Ziehstein 11 ein Rohr 16 einbringen, welches wiederum eine zunächst weite Innenbohrung 17a und dann, im Nebenbereich des Ziehsteins 11, jene enge Innenbohrung 17b aufweist, die zu dem beschriebenen hydrodynamischen Schmiereffekt vor dem zweiten Ziehstein

11 führt. Das Schmiermittel kann prinzipiell gesondert von der oben beschriebenen Schmiermittelfuhr zum Ziehstein 1 erfolgen, also auch vor dem Einlauf in das in Fig. 2 gezeigte Hornsystem, man kann aber auch durch den Kanal 13c das Schmiermittel in den Raum 13d transportieren, von wo es durch radiale Bohrungen 13e im Rohr 16 in die erwähnten Innenbohrungen 17a und 17b eintritt. Zur Beförderung des Schmiermittels zu den Rohren 14 und 16 genügt je nach Viskosität des Schmiermittels ein geringer Überdruck über Atmosphärendruck. Der hydrodynamische Schmierdruckeffekt tritt ja von diesem Förderdruck unabhängig durch die oben erwähnten Effekte bei entsprechender Dimensionierung (Länge und Weite der Innenbohrungen 15b und 17b) in Erscheinung.

Zu erwähnen ist noch das Gewinde 18, mit dem das Rohr 16 verschraubt wird, so dass es das ganze Paket aus Ziehstein 1 und Ziehstein 11 samt den beiden Rohren 14 und 16 zusammenhält, indem es gegen den Auslauf 4d im Hornsystemteil 4b drückt. Das Gewinde 18 ist übrigens vorteilhafterweise angenähert im Bewegungsknoten des Hornsystems anzuordnen.

Das Hornsystem 4a und 4b stellt eine den bisher beschriebenen Ultraschall-Aktivierungselementen für Ziehsteine überlegene Bauform dar, die nicht nur die Verstärkung der mechanischen Schallamplituden, die vom Konverter 3 herrühren, gewährleistet, sondern sich auch durch besonders praxisnahe Konstruktion auszeichnet. Der bzw. die Ziehsteine 1 und 11 sind sehr handlich einzusetzen und auszuwechseln. Ferner ist das erfindungsgemässe Schmieren beider Ziehsteine bestens möglich. Auch ist die Erweiterung des Hornsystems 4a und 4b durch Anschrauben von weiteren Ultraschallbauelementen mittels Gewinde 4e gewährt, beispielsweise kann man an dieses System in-line ein Ultraschallreinigungssystem ansetzen.

Zur Ausbildung der stehenden Welle genügt es, wenn die Querschnittsverringerung des Drahtes im Ziehstein 11 gering ist oder der Draht in diesem Ziehstein bloss eng geführt ist. Der Abstand D ist von der Wellenlänge des angewendeten Schallfeldes abhängig, wobei Longitudinalschwingungen oder andere Schwingungskomponenten, wie Biege- und Torsionsschwingungen, Dehnungsschwingungen, vorgesehen werden können.

FIG.1

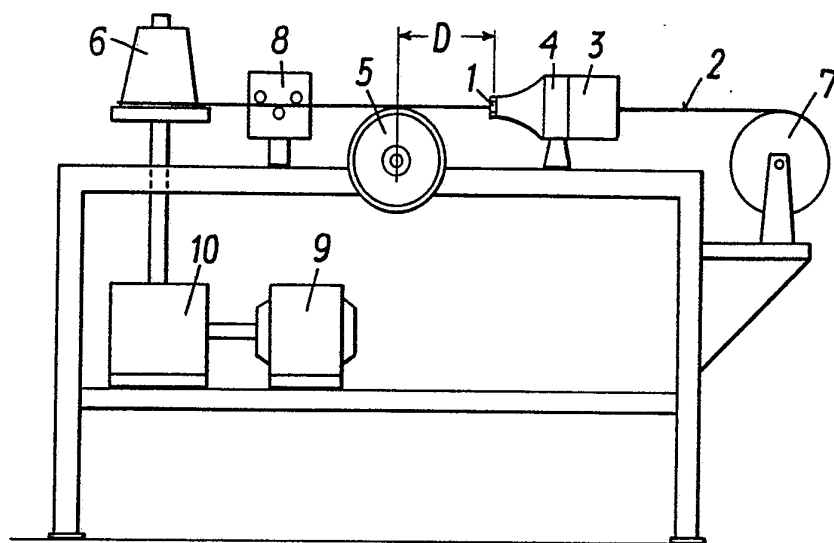


FIG.2

