



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 17 536 A1** 2004.11.04

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 17 536.9**

(22) Anmeldetag: **16.04.2003**

(43) Offenlegungstag: **04.11.2004**

(51) Int Cl.7: **H01F 41/06**

(71) Anmelder:
STATOMAT GmbH, 61184 Karben, DE

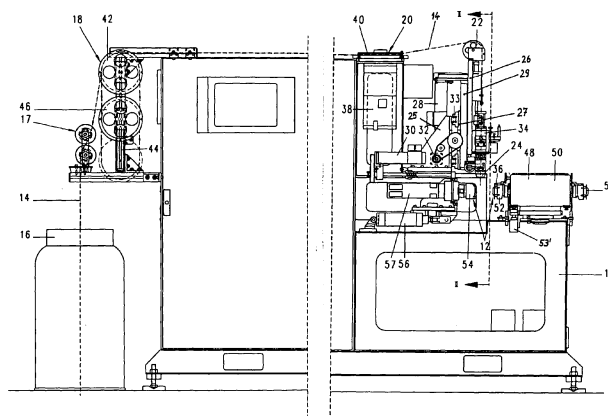
(72) Erfinder:
Fichtner, Karl-Heinz, 63755 Alzenau, DE

(74) Vertreter:
Beyer & Jochem Patentanwälte, 60322 Frankfurt

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Wickeln von Spulen für elektrische Geräte**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wickeln von Spulen für elektrische Geräte und Maschinen auf eine im Querschnitt im wesentlichen rechteckige Umfangsfläche (36). Es wird dabei ein von einer Vorratsrolle (16) abgezogener Wickeldraht (14) mittels eines als Drahtbremse (20) wirkenden Elektromotors (38) mit entgegengesetzt zur Drahtabzugsrichtung angetriebener Drahtbremsrolle (40) unter einer steuerbaren Zugspannung durch einen Drahtführer (24) der Spule (41) zugeführt. Als Drahtbremse (20) wird ein Servomotor (38) verwendet, dessen Drehmoment in Abhängigkeit von der momentanen Drehwinkelstellung der Relativbewegung zwischen der Spule (41) und dem Drahtführer (24) gesteuert wird. Die von dem Servomotor (38) auf den Wickeldraht (14) ausgeübte Zugspannung wirkt während des gesamten Wickelvorgangs auf den Wickeldrahtabschnitt zwischen dem Drahtführer (24) und der Spule (41). Eine von dem Servomotor (38) zurückgezogene Drahtlänge wird unter Beibehaltung einer reibschlüssigen Anlage des Wickeldrahts (14) an der Drahtbremsrolle (40) zwischen dieser und der Vorratsrolle (16) vorübergehend gespeichert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Wickeln von Spulen für elektrische Geräte und Maschinen, insbesondere Spulen für Stator und Rotoren von Elektromotoren und Generatoren, auf eine im Querschnitt im wesentlichen rechteckige Umfangsfläche, wobei ein von einer Vorratsrolle abgezogener Wickeldraht mittels eines als Drahtbremse wirkenden Elektromotors mit entgegengesetzt zur Drahtabzugsrichtung angetriebener Drahtbremsrolle unter einer steuerbaren Zugspannung durch einen Drahtführer der Spule zugeführt wird.

Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, die Spulen eines Stators unmittelbar auf dessen Eisenkern zu erzeugen, indem der Wickeldraht während des Wickelvorgangs Windung für Windung in die Statornuten eingelegt wird. Das Verfahren ist verhältnismäßig langsam. Rationeller ist es, die Spulen entweder mittels einer rotierend antreibbaren Schablone oder eines um eine feststehende Schablone umlaufenden Drahtführers, eines sog. "Flyers", vorzuwickeln und dann axial in den Stator einzuziehen. Allerdings lassen sich mit diesem Verfahren nur Füllfaktoren von bis zu etwa 90% erzielen. Außerdem ergeben sich verhältnismäßig große Wickelköpfe an den Stirnseiten des Stators.

[0003] Um höhere Füllfaktoren zu erreichen und die Drahtlänge in den Wickelköpfen zu minimieren, ist es auch schon bekannt, mittels Flyer Spulen für Stator möglichst genau in der Form, die sie nach der Montage im Stator einnehmen sollen, auf im Querschnitt rechteckigen Trägerkörpern, die während des Wickelvorgangs undrehbar gehalten werden, vorzuwickeln und diese anschließend zusammen mit den Spulen an dem Eisenkern eines Stators zu montieren. Die zur Durchführung dieses Verfahrens vorgesehene, bekannte Spulenwickelmaschine hat zwischen einer Drahtbremse mit einem Wirbelstrommotor und dem Flyer einen Drahtspeicher in Form einer gewichts- und federkraftbelasteten Tänzerrolle, die vorübergehend eine mehr oder weniger große Drahtschleife bildet und auf diese Weise Ungleichmäßigkeiten der Drahtabzugsgeschwindigkeit kompensiert. Die Bremswirkung des Wirbelstrommotors kann durch ein Potentiometer oder Programm gesteuert werden.

[0004] Leider hat ein Wirbelstrommotor ein verhältnismäßig großes Massenträgheitsmoment und damit eine für eine Drehmomentsteuerung in Abhängigkeit von der Drehwinkelstellung der Wickelbewegung ungeeignete Momentenkennlinie, ganz abgesehen davon, daß eine Wirbelstrombremse nur bei hohen Drehzahlen bzw.

[0005] Drahtabzugsgeschwindigkeiten in der Lage ist, ein zum Biegen eines verhältnismäßig dicken Wickeldrahts ausreichendes Drehmoment zu erzeugen. Um unabhängig von der Drahtabzugsgeschwindigkeit die Zugspannung im Draht in jeder Phase der Wickelbewegung momentan zwischen dem Wert 0 und einem Maximalwert, z.B. entsprechend einem Drehmoment von 30 Nm, steuern zu können, wären Zusatzeinrichtungen erforderlich, die aber separate Antriebe benötigten, welche eine elektrische, pneumatische, hydraulische oder mechanische Totzeit mit sich bringen und dadurch die Dynamik des Wickelprozesses behindern würden.

[0006] Darüber hinaus verursachen Rechteckspulen beim Wickelvorgang ungleichförmige Abzugsgeschwindigkeiten und erfordern deshalb ein massearmes Drahtabzugssystem, das bei der bekannten Wickelvorrichtung nicht gegeben ist. Auch eine kontinuierliche Drahtzugsteuerung ist nicht möglich, weil zeitweise der Drahtzug zwischen dem Flyer und der Spule nicht durch die Drahtbremse, sondern durch die Belastung und Beschleunigung der Tänzerrolle bestimmt ist.

Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Wickeltechnik für solche Spulen, die bereits durch den Wickelvorgang in ihrer endgültigen äußeren Form hergestellt werden und dann zu montieren sind, dahingehend weiterzuentwickeln, daß im automatisierten Wickelprozeß die Genauigkeit der Lage der einzelnen Spulenwindungen und damit die reproduzierbare Formgenauigkeit der Spulen insgesamt verbessert wird. Dazu ist es erforderlich, den Draht jeweils in exakt definierten Lagen in die Spule zu wickeln. Diese soll in jeder Drahtlage auf den Hauptflanken in Längsrichtung möglichst planparallel, also nicht konvex ausbauchend, gewickelt werden. Weiterhin bedingt die Erfindungsaufgabe in Verbindung mit dem im Radialschnitt durch einen runden Stator konischen Querschnitt der Statornuten und der darin aufgenommenen Spulenstränge, daß die äußeren Lagen in Stufen konisch steigend zu wickeln sind, wobei die Verlegekreuzungen des Drahts in den Wickelköpfen liegen müssen. Daraus ergibt sich als Anforderung an die Spulenwickelmaschine, daß sich während des Wickelvorgangs zumindest bei den örtlich definierten Übergängen jeweils von einer Drahtlage zur nächsten die Zugspannung im Wickeldraht vorübergehend reduzieren und dann wieder erhöhen läßt, um mit verhältnismäßig geringem Drahtzug den Draht im Spulenkopf über eine oder mehrere Windungen hinweg kreuzend verlegen und anschließend mit hohem Drahtzug exakt einbiegen zu können. Auch zum Biegen des Kupferdrahts, der normalerweise einen Durchmesser zwischen 0,4 und 1,7 mm hat, an den Spulenecken braucht man einen phasenweise erhöhten Drahtzug.

[0008] Vorstehende Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die Kombination der Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Dabei bildet die Verwendung eines Servomotors als Drahtbremse die Voraussetzung dafür, daß die Bremskraft in Abhängigkeit von der momentanen Drehwinkelstellung der Relativbewegung zwischen der Spule und dem Drahtführer gesteuert werden kann. Ein hochdynamischer Servomotor, wie z.B. aus der Baureihe 1FK7 der Firma Siemens, ist im Gegensatz zu einer Wirbelstrombremse in seinem die Bremskraft bestimmenden Drehmoment von der Drehzahl unabhängig, und sein Massenträgheitsmoment beträgt weniger als 1/10 des Massenträgheitsmoments einer Wirbelstrombremse, die wenigstens bei einer Drehzahl von 1500 U/min dasselbe Bremsmoment erzeugen kann. Infolge des wesentlich kleineren Massenträgheitsmoments des eingesetzten Servomotors kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Drahtbremse sehr schnell auf Steuerbefehle reagieren und theoretisch jeweils nach einem kleinen Winkelschritt der umlaufenden Wickelbewegung eine gegenüber dem vorhergehenden geänderte Bremskraft erzeugen.

[0009] Das weitere erfindungsgemäße Merkmal, daß die von dem Servomotor auf den Wickeldraht ausgeübte Zugspannung während des gesamten Wickelvorgangs auf den Wickeldrahtabschnitt zwischen dem Drahtführer und der Spule wirkt, bedeutet mit anderen Worten, daß sich zwischen der Drahtbremse und dem Drahtführer kein Drahtspeicher befindet, weil dieser in bestimmten Arbeitsphasen den Drahtabschnitt zwischen dem Drahtführer und der zu wickelnden Spule mit einer anderen Zugspannung beaufschlagen würde als die steuerbare Drahtbremse. Andererseits wird jedoch ein Drahtspeicher gebraucht, und deshalb sieht das erfindungsgemäße Verfahren einen Drahtspeicher zwischen der Drahtbremsrolle und der Vorratsrolle vor. Der Drahtspeicher nimmt die vorübergehend von dem Motor der Drahtbremse zurückgezogene Drahtlänge auf und wirkt dabei mit einer Zugkraft auf den Wickeldraht, die für eine im wesentlichen rutschfreie, reibschlüssige Anlage des Wickeldrahts an der Drahtbremsrolle erforderlich ist. Die Notwendigkeit, mittels des Servomotors Wickeldraht zurückzuziehen und dem Drahtspeicher zuzuführen, ergibt sich z.B. immer dann, wenn bei Bewegungen des Drahtführers relativ zu der zu wickelnden Spule die Länge des Drahtabschnitts zwischen der Spule und der Drahtvorratsrolle verkürzt wird.

[0010] In der bevorzugten praktischen Ausführungsform der Erfindung wird eine ununterbrochene reibschlüssige Anlage des Wickeldrahts an der Drahtbremsrolle durch eine in Drahtabzugsrichtung vor dieser angeordnete Drahtrückzieheinrichtung erzeugt, wodurch auf den Drahtabschnitt zwischen dieser und der Drahtbremsrolle eine Mindestzugspannung ausgeübt wird.

[0011] Beim Wickeln von Draht auf eine im Querschnitt im wesentlichen rechteckige Umfangsfläche liegt der Draht normalerweise in den Eckbereichen an und hat die Tendenz, sich zwischen den Eckbereichen radial nach außen zu wölben. Gewünscht ist jedoch eine Lage des Drahts parallel zu den ebenen Teilflächen der im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche. Um dies zu erreichen, wird vorgeschlagen, daß der Wickeldraht von dem Drahtführer oder durch Umlenkung zwischen diesem und der Spule derart bogenförmig gekrümmt wird, daß er mit der konvex gekrümmten Seite an der im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche oder den bereits darauf gewickelten Spulenwindungen zur Anlage kommt. Zu diesem Zweck kann der Drahtführer Umlenkrollen aufweisen, die den Draht in einer bestimmten Richtung biegen, wobei die Krümmungsrichtung entgegengesetzt zu der sich beim Aufwickeln ergebenden Krümmungsrichtung ist. Alternativ kann die in richtiger Richtung bogenförmige Krümmung des Wickeldrahts zwischen dem Drahtführer und der Spule z.B. dadurch erreicht werden, daß der Draht den vorzugsweise undrehbar gehaltenen, am Auslaß mit einer Biegekante ausgebildeten, z.B. düsenförmigen Drahtführer mit Bezug auf das Drehzentrum der Spule tangential verläßt, also sich normalerweise auf einer Seite an dem Drehzentrum vorbei bewegen würde. Die Spule dreht sich dabei in der Richtung, daß sich die dem Drahtführer jeweils nächstgelegene Teilfläche ihrer im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche zur anderen Seite des Drehzentrums bewegt.

[0012] Eine optimale Füllung der Statornuten mit Draht erhält man, wenn dieser zunächst derart zu einer innersten Lage auf die im Querschnitt rechteckige Umfangsfläche gewickelt wird, daß benachbarte Drahtwindungen spurgenaue nebeneinander liegen, und dann eine oder mehrere weitere Lagen gewickelt werden, in denen die Drahtwindungen jeweils in der schraubenförmigen Rille zwischen den Drahtwindungen der unmittelbar zuvor gewickelten Lage liegen, wobei nach dem Wickeln einer Lage zur Einführung des Wickeldrahts an einer bestimmten Stelle in die Rille die relative Drehbewegung zwischen der Spule und dem Drahtführer angehalten oder verlangsamt, die Zugspannung im Wickeldraht reduziert und der Drahtführer entsprechend der Richtungsänderung des Drahtes an der bestimmten Stelle positioniert wird, und anschließend nach einer relativen Drehbewegung zwischen der Spule und dem Drahtführer um einen bestimmten Drehweg und dem Einlegen des Wickeldrahts in die Rille der Drahtführer entsprechend deren Richtung ausgerichtet, die Zugspannung im Wickeldraht wieder erhöht und mit größerer Drehgeschwindigkeit weitergewickelt wird.

[0013] Bei dem zuletzt genannten Verfahren zeigt sich die Bedeutung der zuvor genannten Maßnahme der Bremsung des Drahtes mittels eines hochdyna-

mischen Servomotors unmittelbar vor dem Drahtführer. Dieselbe Maßnahme ist auch die Voraussetzung dafür, daß in weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung durch Wahl des Abstands der Stellen des Eintritts des Wickeldrahts in die Rille der jeweils zuletzt gewickelten Lage von einer der beiden Stirnseiten der Spule in mehreren Lagen übereinander eine im Querschnitt keilförmige Spule mit bestimmtem Keilwinkel erzeugt wird.

[0014] Bereits beim Wickeln der Spulen ist zu berücksichtigen, daß sie ihre äußere Form verändern, wenn sie aus der Wickelvorrichtung ausgespannt werden. Es könnten sich Schwierigkeiten bei der Montage ergeben, wenn man Spulen erzeugte, die am Ende des Wickelvorgangs, noch in der Aufspannung in der Wickelvorrichtung bereits die Form haben, die sie bei der Montage haben sollen. Daher wird das neue Verfahren vorzugsweise in einer Ausführung praktiziert, bei der die Spule während des Wickelns auf der im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche zwischen stirnseitig anliegenden Flächen unter radialer und axialer Druckspannung gehalten wird und nach Druckentlastung auf einen vorbestimmten Querschnitt schrumpft und auf eine bestimmte Länge expandiert.

[0015] Eine zur Durchführung des vorgenannten Verfahrens geeignete Wickelvorrichtung hat erfindungsgemäß als Drahtbremse einen Servomotor, dessen Drehmoment in Abhängigkeit von der momentanen Drehwinkelstellung der Relativbewegung zwischen dem Wickelwerkzeug und dem Drahtführer steuerbar ist. Der Drahtspeicher ist in Abzugsrichtung des Wickeldrahts vor der Drahtbremse angeordnet, und der reibschlüssig an der Drahtbremsrolle anliegende Wickeldraht ist während Drahtrückzugsbewegungen durch eine Andrück- oder Rückzieheinrichtung in reibschlüssiger Anlage an der Drahtbremsrolle gehalten.

[0016] Der Servomotor ist dabei vorzugsweise ein über die Stromstärke steuerbarer Synchronmotor, und die Rückzieheinrichtung ist eine durch Schwerkraft oder Federkraft belastete Tänzerrolle, die den Drahtabschnitt zwischen der Vorratsrolle und der Drahtbremse belastet und durch Verlängerung dieses Drahtabschnitts den zurückgezogenen Wickeldraht speichert.

[0017] Um die Steuerungsmöglichkeiten der vorgeschlagenen hochdynamischen Drahtbremse voll ausnutzen zu können, ist in weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß der Drahtführer zu seiner wechselnden Positionierung am Beginn und während eines Wickelvorgangs sowie beim Übergang auf eine andere Spulengröße in drei Raumachsen gesteuert verfahrbar ist. Durch gesteuerte Koordinierung der Bremskraft in jeder Drehwinkelstellung des rotierend antreibbaren Wickelwerk-

zeugs während des gesamten bei einem Wickelvorgang zurückzulegenden Drehwinkelwegs bei gleichzeitiger Steuerung der Position des Drahtführers in drei Achsen relativ zum Drehzentrum der Spule ebenfalls in Abhängigkeit der Drehwinkelstellung läßt sich jede beliebige Form von Spulen herstellen, und dies mit einer sehr hohen Wiederholgenauigkeit.

[0018] Die erfindungsgemäße Wickelvorrichtung sollte sich für eine vollautomatische Fertigung eignen. Zu diesem Zweck wird vorgeschlagen, daß das Wickelwerkzeug neben dem zu bewickelnden Bereich des Aufnahmedorns oder eines Spulenträgers eine Klemmeinrichtung aufweist, in die durch den Drahtführer der Drahtanfang einer Spule einführbar ist, und axial zwischen der Klemmeinrichtung und dem zu bewickelnden Bereich eine schräge Leitfläche und eine quer zur Drehrichtung liegende Mitnahmefläche vorhanden sind, an denen der Wickeldraht nach Beginn der Wickelbewegung zur Anlage kommt.

[0019] Weitere, ebenfalls in Richtung Automatisierung zielende Vorschläge sehen vor, daß in der Drahtzufuhr, vor dem Drahtführer eine Schälleinrichtung angeordnet ist, durch die an den die Anschlußenden der Spule bildenden Drahtabschnitten die isolierende Ummantelung abschälbar ist. Außerdem ist ein Drahtmesser vorhanden, das die Drahtenden der Spule mit ganz bestimmten Längen abschneidet.

Ausführungsbeispiel

[0020] Nachstehend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

[0021] Fig. 1A, B eine vereinfachte Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Spulenwickelvorrichtung;

[0022] Fig. 2 einen Querschnitt der Spulenwickelvorrichtung gemäß Schnittlinie II-II in Fig. 1,

[0023] Fig. 3 eine vereinfachte Draufsicht auf die Spulenwickelvorrichtung nach Fig. 1 und 2.

[0024] Fig. 4 eine schematische Darstellung des Drahtführers im Zusammenwirken mit dem Spulenträger beim Biegen des Wickeldrahts, wobei der Drahtführer in zwei verschiedenen Arbeitsstellungen gezeigt ist;

[0025] Fig. 5 und 6 Seitenansichten, z.T. im Schnitt, der Wickeleinrichtung mit einer darin erzeugten Spule und einer Klemm- und Führungseinrichtung für den Drahtanfang.

[0026] Die in Fig. 1A mit ihrer linken und in Fig. 1B mit ihrer rechten Hälfte gezeigte Wickelvorrichtung hat einen Maschinenrahmen 10, an dem eine Wickeleinrichtung 12 zum Spannen und Drehen eines Spu-

lensträger **36** sowie die nachstehend beschriebenen Teile einer Drahtzuführeinrichtung gelagert sind. Der Spulendraht **14** wird in Form einer großen, in einem Behälter aufgenommenen Vorratsrolle **16** angeliefert. Er ist von dort über eine aus zwei gebremsten Rollen bestehende Drahtbremse **17** mit einer bestimmten Bremskraft, einen Drahtspeicher **18** und eine Drahtbremse **20** mit steuerbarer Bremskraft sowie eine Führungsrolle **22** zu einem Drahtführer **24** in unmittelbarer Nähe der Wickeleinrichtung **12** geführt. Die Führungsrolle **22** und der Drahtführer **24** sind an einem eine Drahtführungseinheit bildenden Schlitten **26** gelagert, der durch einen Antrieb **28** längs einer senkrechten Führung **29** an einem Querschlitten **27** gesteuert verfahrbar ist. Dieser ist durch einen Antrieb **32** längs einer horizontalen Querführung **33** an einem Längsschlitten **25** gesteuert verfahrbar, der seinerseits durch einen Antrieb **30** entlang einer horizontalen Längsführung **31** gesteuert verfahrbar ist. Daher ist der Drahtführer **24** in drei Achsen gesteuert geführt.

[0027] Auf dem Weg von der Führungsrolle **22** zum Drahtführer **24** durchläuft der Wickeldraht eine am Schlitten **26** montierte Schälleinrichtung **34**, in der zur Freilegung der Spulenden die isolierende Lacküberzug des Wickeldrahts abschälbar und über ein angeschlossenes Rohr **35** absaugbar ist. Neben der Schälleinrichtung ist auch ein gesteuert aktivierbares Drahtmesser **37** angebracht, das durch eine Zylinder-Kolben-Einheit **39** zum Drahtführer **24** hin vorschubbbar und zurückziehbar ist.

[0028] Wie am besten aus **Fig. 1** ersichtlich, läuft der Wickeldraht **14** von der Vorratsrolle **16** über die Drahtbremse **17**, den Drahtspeicher **18**, die Drahtbremse **20** und die Führungsrolle **22** zum Drahtführer **24**. Wenn das vorderste Drahtende relativ zu einem in der Wickeleinrichtung **12** eingespannten Spulenträger **36** festgelegt worden ist und dieser rotierend angetrieben wird, zieht der rotierende Spulenträger **36** Draht **14** aus dem Drahtführer **24** und auf dem genannten Weg von der Vorratsrolle **16** ab. Dabei ist wichtig, daß sich die Drahtbremse **20** in Bewegungsrichtung des Wickeldrahts **14** unmittelbar vor der Drahtführungseinheit **26** befindet und der Drahtspeicher **18** zwischen der Drahtbremse **20** und der Vorratsrolle **16** angeordnet ist.

[0029] Die Drahtbremse **20** besteht aus einem hochdynamischen Servomotor **38**, der eine Bremsrolle **40** entgegengesetzt zur Abzugsrichtung des Wickeldrahts **14** antreibt. Der Servomotor **38** stammt z.B. aus der Baureihe 1FK7 der Firma Siemens. Er hat ein Massenträgheitsmoment von 0,0023 kg/qm und bietet im gesamten Drehzahlbereich von z.B. bis zu 1.500 U/min ein steuerbares Drehmoment von bis zu maximal 30 Nm. Dank des geringen Massenträgheitsmoments hat der Servomotor **38**, der sonst z.B. zum Antrieb der beweglichen Teile eines Roboters

dient, eine sehr gute Momentencharakteristik, d.h. er spricht sehr schnell auf Steuerbefehle an und erzeugt unabhängig von der durch die Abzugsgeschwindigkeit des Wickeldrahts **14** erzeugten Drehzahl das jeweils durch den Steuerbefehl vorgegebene Drehmoment in Gegenrichtung, so daß es als Bremsmoment wirkt.

[0030] Um die Bremskraft auf den Wickeldraht **14** zu übertragen, hat die aus Kunststoff bestehende Bremsrolle **40** einen verhältnismäßig großen Durchmesser von 200 mm. Der Wickeldraht **14** umschlingt die Bremsrolle **40** dreimal und muß unter einer bestimmten Mindestzugspannung gehalten werden, die auch dann noch wirksam ist, wenn bei bestimmten Bewegungen der Drahtführungseinheit **26** plötzlich die Weglänge des Wickeldrahts zwischen der Bremsrolle **40** und der Auflaufstelle des Drahts auf den Spulenträger **36** bzw. die darauf zu erzeugende Spule verkürzt wird. In einer solchen Phase bleibt die Haftreibung zwischen der Bremsrolle **40** und dem diese umschlingenden Draht **14** aufrechterhalten, weil der Drahtspeicher **18** gleichzeitig als Drahtrückzieheinrichtung ausgestaltet ist. Er besteht zu diesem Zweck aus einer ersten, um eine ortsfeste Achse drehbaren Rolle **42** und einer zweiten, mit ihrer Lagerung an einer senkrechten oder schrägen Führung **44** geführten und durch Gewichts- oder Federbelastung nach unten gezogenen Tänzerrolle **46**. Der Wickeldraht **14** läuft, wie in **Fig. 1** gezeigt, zunächst über die obere Umfangshälfte der oberen Rolle **42**, dann über die untere Umfangshälfte der Tänzerrolle **46** und dann nochmals über die obere Hälfte der Rolle **42** weiter zur Bremsrolle **40**. Die Tänzerrolle **46** hängt somit in einer Drahtschleife und hat durch ihre Gewichts- oder Federbelastung ständig das Bestreben, diese Schleife zu verlängern, also darin eine größere Drahtlänge zu speichern, wobei die Drahtbremse **17** verhindert, daß diese Gewichts- oder Federbelastung ausreicht, um Draht von der Vorratsrolle **16** abzuziehen. Mit der Wahl der auf die Tänzerrolle **46** wirkenden Gewichts- oder Federkraft bestimmt man die Mindestzugbelastung und -andrückkraft des Wickeldrahts **14** an den Umfang der Bremsrolle **40**. Infolge des ständig wirksamen Reibschlusses zwischen dem Draht **14** und der Bremsrolle **40** fördert der Bremsmotor **38** Draht rückwärts zum Drahtspeicher **18**, wo sich der Achsabstand zwischen den Rollen **42** und **46** vergrößert, wenn durch eine Bewegung der Drahtführungseinheit **26** der Drahtweg zwischen der Bremsrolle **40** und dem Spulenträger **36** verkürzt wird. Auch bei plötzlichen starken Änderungen der Drahtabzugsgeschwindigkeit wirkt der Drahtspeicher **18** ausgleichend. Das maximale Drehmoment, d.h. die maximale Zugkraft, die der Servomotor **38** über die Bremsrolle **40** auf den Wickeldraht **14** ausüben kann, sollte ausreichend groß sein, um einen verhältnismäßig starken Wickeldraht **14** von z.B. 1,7 mm Durchmesser zu biegen und dabei plastisch zu verformen. Daher ist für das gezeigte Ausführungsbeispiel ein

Servomotor **38** mit einem maximalen Drehmoment von 30 Nm gewählt worden.

[0031] Eine sehr wichtige Besonderheit der gezeigten Wickelvorrichtung ist die am besten aus **Fig. 4** ersichtliche Führung des Drahts **14** im Drahtführer **24** und auf dem Weg zwischen diesem und dem um seine Drehachse **48** rotierenden Spulenträger **36**. Im Drahtführer **24** wird der Draht **14** durch Biegerollen **45, 47** so gebogen, daß er mit seiner konvexen Seite auf die Umfangsfläche des Spulenträgers **36** oder eine bereits teilweise erzeugte Spule aufläuft. Die Biegeverformung ist so stark, daß sie durch die Zugspannung im Draht nicht aufgehoben wird. Der Spulenträger **36** rotiert in derjenigen Richtung, in der der Draht in der Spule eine Krümmung erhält, die entgegengesetzt ist zu der Krümmung auf dem Weg zwischen dem Drahtführer **24** und dem Spulenträger **36**. Dadurch wird erreicht, daß in der Spule **41** die darauf in mehreren Lagen übereinandergewickelten Drahtwindungen jeweils genau parallel liegen zu den ebenen Teilflächen der im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Umfangsfläche des Spulenträgers **36**.

[0032] Während des Wickelvorgangs wird der Wickeldraht **14** durch den Drahtführer **24** mit einer Genauigkeit von 0,1 mm maximaler Abweichung in jeder Wickellage bzw. Schicht Windung für Windung unmittelbar nebeneinander gelegt, zunächst auf die Umfangsfläche des Spulenträgers **36**, dann genau in die äußere, schraubenförmig umlaufende Rille zwischen den Windungen der radial innersten Lage, dann in die äußere Rille zwischen den Windungen der zweiten Lage usw. bis zur äußersten Wickellage bzw. Schicht der Spule **41**, s. **Fig. 5** und **6**. Eine Abweichung von dieser geometrisch genau vorbestimmten Parallellage der Drahtwindungen mit Bezug auf die Umfangsfläche des Spulenträgers **36** ergibt sich nur an den axialen Enden der Wickellagen bei den Übergängen des Drahts von der jeweils zuvor gerade gewickelten Lage zu der auf dieser zu erzeugenden nächsten Lage, weil es hierbei zu Verlegekreuzungen kommt, bei denen der Wickeldraht über wenigstens eine Drahtwindung hinweggeführt werden muß, bevor er in die äußere Rille der zuvor gewickelten Lage eingelegt werden kann.

[0033] Die Verlegekreuzungen werden in die sogenannten Wickelköpfe der Spule **41** gelegt, d.h. diejenigen Bereiche der Spule, die im fertig montierten Zustand eines Stators über die Stirnflächen des Statorblechpakets vorstehen. Dort beeinträchtigen die Verlegekreuzungen nicht den Füllfaktor der Statornuten. Da sich diese im Querschnitt radial von innen nach außen keilförmig erweitern, muß auch die Spule **41** so gewickelt werden, daß sie einen entsprechenden keilförmigen Querschnitt erhält und die zugeordnete Statornut möglichst vollständig ausfüllt. Dies wird dadurch erreicht, daß nur die innersten Lagen der Spule über ihre gesamte axiale Länge durchgehen. Dann

werden zunehmend kürzere Lagen erzeugt, die einen immer größeren Abstand von demjenigen axialen Ende der Spule **41** einhalten, welches sich im fertig montierten Zustand am radial inneren Ende der Statornut befindet. Die fertig gewickelte Spule **41** hat also an demjenigen axialen Ende, welches sich im fertig montierten Zustand radial außen befindet, mehr Wickellagen als am radial weiter innen liegenden Ende, s. **Fig. 5** und **6**. Dazu muß der Drahtführer **24** in der Ansicht gemäß **Fig. 1B** während des Wickelvorgangs mittels des horizontalen Längsantriebs **30** zunächst einige hin- und hergehende Bewegungen nach rechts und links über die axiale Länge der auf dem Spulenträger **36** zu erzeugenden Spule ausführen. Dann werden die hin- und hergehenden Bewegungen immer kürzer, tangieren dabei aber immer dasselbe axiale Ende der Spule.

[0034] Um nach dem Wickeln einer Lage an einer ganz bestimmten Stelle des Umfangs, nämlich in einem Wickelkopf, eine Verlegekreuzung über je nach dem zu erzeugenden Keilwinkel der Spule ein oder mehrere Spulenwindungen hinweg zu erzeugen, wird im einfachsten Fall die Drehbewegung der Spule angehalten, die Zugspannung im Wickeldraht **14** durch Veränderung des Drehmoments des Bremsmotors **38** verringert und die Position des Drahtführers **24** mittels des steuerbaren horizontalen Längsantriebs **30** so verändert, daß der Draht beim Wiedereinsetzen der Drehbewegung über ein oder zwei Drahtwindungen hinweg kreuzend sich an der vorbestimmten Stelle in die Rille zwischen den Windungen der zuletzt gewickelten Lage legt. Dann ändert der Drahtführer **24** wiederum seine Stellung mit Bezug auf die Spule, so daß bei weiterer Drehbewegung der Draht dem Verlauf der Rille folgt. Außerdem wird das Drehmoment des Bremsmotors **38** erhöht, damit der Draht zuverlässig und mit solcher Spannung in die Rille gezogen wird, daß er plastisch verformt und so gebogen wird, daß er sich zwischen den Wickelköpfen parallel zu den entsprechenden ebenen Teilflächen der Umfangsfläche des Spulenträgers **36** erstreckt. Zur optimalen Positionierung des Drahtführers **24** zur Erzeugung der Verlegekreuzungen können auch die steuerbaren Antriebe **28** und **32** mit eingesetzt werden. Diese werden außerdem dazu gebraucht, beim Übergang auf eine andere Spulengröße den Drahtführer **24** mit Bezug auf die Drehachse **48** radial weiter außen oder innen zu positionieren. Nur beispielhaft sei erwähnt, daß mit der gezeigten Vorrichtung Spulen **41** für Statorblechpakete von 25 bis 150 mm Höhe, einer Spulenbreite von 4 bis 16 mm und einer Spulenweite von 5 bis 23 mm gewickelt werden können, wobei die Spulen etwa 44 bis 120 Windungen haben. Die Arbeitszeit für die Erzeugung einer Spule einschließlich des Anhaltens oder der Verlangsamung der Wickelbewegung zur Erzeugung genau positionierter Verlegekreuzungen beträgt dabei weniger als etwa 25 bis 30 Sekunden.

[0035] Die Wickeleinrichtung **12** besteht aus zwei zusammenwirkenden Einheiten. Die eine ist ein Drehtisch **50** mit zwei diametral gegenüberliegend angeordneten Werkstück-Aufnahmedornen **52**, von denen der äußere jeweils ent- und beladen werden kann, indem eine fertige Spule **41** auf einem Spulenträger **36** durch steuerbare Greifer abgenommen und ein leerer Spulenträger **36** aufgesetzt wird, während ein in diesem Arbeitszyklus auf dem anderen Aufnahmedorn **52** sitzender Spulenträger **36** bewickelt wird. Nach Fertigstellung dieser Wicklung wird der Drehtisch **50** mittels eines Drehantriebs **53** um 180° geschwenkt und mittels einer Verriegelungseinrichtung **53'** wieder in ausgerichteter Stellung fixiert, so daß der äußere Aufnahmedorn **52** mit einem leeren Spulenträger **36** in die Wickelposition nach innen gelangt.

[0036] Die zweite größere Einheit der Wickeleinrichtung **12** ist eine Spannbacke **54**, die durch einen Kraftzylinder **56** längs einer Führung **55** zu dem in der Wickelposition befindlichen Aufnahmedorn **52** hin vorschubbbar und stirnseitig gegen den aufgespannten Spulenträger **36** mit einer solchen Kraft andrückbar ist, daß die axiale Länge der während des Wickelvorgangs erzeugten Spule trotz der verhältnismäßig hohen Zugkraft im Wickeldraht **14** auf ein bestimmtes Größtmaß begrenzt bleibt. Außerdem sind die Aufnahmedorne **52** in den axialen Bereichen, auf denen die Spulenträger **36** sitzen, radial ein wenig aufweitbar bzw. zusammenziehbar. Diese Bereiche der Aufnahmedorne **52** stützen die Spulenträger **36** radial innen ab, so daß sie während des Wickelvorgangs trotz der Zugkraft im Wickeldraht **14** einen bestimmten inneren Querschnitt behalten, der etwas größer ist als der endgültig gewünschte Querschnitt, auf den sich der Spulenträger **36** nach dem Abnehmen vom Aufnahmedorn **57** zusammenzieht.

[0037] Der Antrieb für die rotierende Bewegung der Spulenträger **36** kann auf seiten der Aufnahmedorne **52** oder, wie im Ausführungsbeispiel ein Drehantriebsmotor **57**, auf seiten der Spannbacke **54** angeordnet sein. Es muß sich um einen steuerbaren Antrieb handeln, der sich während der Wickelbewegung in bestimmten Drehwinkelstellungen des gesamten für einen Wickelvorgang notwendigen Drehwegs anhalten oder verlangsamen läßt, um positionsgenau eine Verlegekreuzung herstellen zu können.

[0038] Wenn nach Beendigung eines Wickelvorgangs die Spannbacke **54** von dem bewickelten Spulenträger **36** und dem ihn tragenden Aufnahmedorn **52** zurückgezogen worden ist, kann sich die sehr stramm gewickelte Spule **41** samt Spulenträger **36** aus Kunststoff axial ein wenig ausdehnen auf das axiale Maß, das für die Montage im Statorblechpaket vorgesehen ist. Außerdem kann sich die stramm gewickelte Spule **41** samt Spulenträger **36** nach der vorstehend erwähnten Querschnittsverkleinerung des Aufnahmedorns **52**, die z.B. mittels zusammenwir-

kender Keifflächen vorgenommen wird, im Querschnitt auf das Maß verkleinern, welches für die Montage im Statorblechpaket vorbestimmt ist.

[0039] Fig. 6 zeigt als herausgezogenes Detail einen Längsschnitt durch einen Eckbereich des im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Spulenträgers **36**, der hier nur mit seiner Innenfläche dargestellt ist. Die Besonderheit besteht darin, daß der Spulenträger **36** in seinen Eckbereichen mit sich in Umfangsrichtung erstreckenden Rillen **58** versehen ist. Die gleichmäßig über die Länge des Spulenträgers **36** verteilten Rillen **58** definieren die Lage der untersten Windungen der aus dem Wickeldraht **14** erzeugten Spule. Durch die Rillen **58** sind die untersten Spulenwindungen axial fixiert, so daß sie nicht axial verrutschen können, wenn die ersten Windungen der nächsten Spulenlage in die durch die Windungen der untersten Spulenlage gebildete schraubenförmige Rille gelegt werden, wobei die durch die Drahtbremse **20** erzeugte Zugspannung im Wickeldraht **14** normalerweise das Bestreben hätte, die Drahtwindungen der untersten Lage axial zu verdrängen. Da diese jedoch durch die Rillen **58** axial fixiert sind, haben auch die Drahtwindungen aller darüber erzeugten Drahtschichten eine stabile, definierte Lage.

[0040] Anhand von Fig. 6 läßt sich der automatisierte Start eines Wickelvorgangs erklären.

[0041] Wie gezeigt, ist an dem Aufnahmedorn **52** eine Drahtklemme **60** angebracht. In diese wird zu Beginn eines Wickelvorgangs das vordere Ende des Wickeldrahts **14** eingeführt, von dem zuvor in der Schälleinrichtung **34** die Isolierung entfernt worden ist. Das Einführen des vorderen Drahtendes **14** in die Klemmeinrichtung **60** erfolgt mittels der in Fig. 2 gezeigten Einrichtung zum schrittweisen Vorschub des Drahts **14**. Diese Vorschubeinrichtung besteht aus einer oberen, fest angeordneten Klemmzange **62** und einer unteren Klemmzange **64**, die durch eine Zylinder-Kolben-Einheit **66**, welche ebenso wie die obere Zange **62** an der Drahtführungseinheit **26** befestigt ist, in senkrechter Richtung bewegt wird. Um das vordere Drahtende in die Klemme **60** einzuführen, fährt die Zylinder-Kolben-Einheit **66** bei gelöster oberer Klemmzange **62** die den Draht **14** geklemmt haltende untere Klemmzange **69** aus ihrer oberen in die untere Stellung. Anschließend wird die obere Klemmzange **62** gespannt und die bewegliche untere Klemmzange **64** gelöst und nach oben zurückgezogen. Dieser Bewegungsablauf kann auch mehrmals wiederholt werden, um den Draht schrittweise über eine größere Strecke vorzuschieben. Vor Beginn der Wickelbewegung werden beide Klemmzangen **62**, **64** gelöst.

[0042] Nachdem das vordere Ende des Drahts **14** in der Drahtklemme **60** am Aufnahmedorn **52** fixiert worden ist, wird durch den Drehantriebsmotor **57** über die mit dem Aufnahmedorn **52** dreh-schlüssig

gekuppelte Spannzange **54** zunächst nur eine (Teil-) Umdrehung ausgeführt, wobei der Drahtführer **24** in einer Stellung steht, in welcher der Draht **14** zunächst noch nicht auf den Spulenträger **36**, sondern auf eine Umfangsfläche **68** des Aufnahmedorns **52** gelegt wird. Die hier abgelegte Drahtlänge ergibt später eines der beiden von der Spule abstehenden Anschlußenden.

[0043] Nachdem eine bestimmte Endlänge des Drahtes auf die Umfangsfläche **68** gelegt worden ist, wird der Drahtführer **24** über den Spulenträger **36** verfahren. Dabei verfängt sich der Wickeldraht **14** an einem radialen Vorsprung **70** auf der Umfangsfläche des Aufnahmedorns **52**. Durch den radialen Vorsprung **70** wird der Draht in eine Nut in der angrenzenden Endwand des Spulenträgers **36** gelenkt und gelangt durch diese in den Innenraum des Spulenträgers **36**. Danach wird der Wickelvorgang, wie oben beschrieben, ausgeführt, wobei eine mit Bezug auf den Spulenträger in axialer Richtung im wesentlichen konische Spule erzeugt wird. Am Ende des Wickelvorgangs lenkt der Drahtführer **24** den Draht auf eine Umfangsfläche der Spannbacke **54** und erzeugt dadurch das andere von der Spule abstehende Anschlußende, bevor schließlich der Draht mittels der Schere **37** abgeschnitten wird.

[0044] Es sei ergänzend erwähnt, daß statt der Drahtführungseinheit **26** auch die Wickeleinrichtung **12** in einer oder mehreren Raumachsen gesteuert einstellbar sein könnte, um den zu bewickelnden Spulenträger **36** relativ zum Drahtführer **24** in der gewünschten Weise zu positionieren. Außerdem könnte die Drahtführungseinheit **26** oder ein den Drahtführer **24** enthaltender Teil derselben durch einen Bewegungsantrieb in Längsrichtung entlang einer Führung an einem senkrecht und quer verfahrbaren Schlitten gesteuert bewegbar sein, um die bei den am häufigsten auszuführenden sprunghaften Bewegungen in Längsrichtung zu bewegendende Masse zu minimieren. Als steuerbare Verstellantriebe eignen sich z.B. positionsgenau zu steuernde Elektroantriebe in Verbindung mit Schraubenspindeln.

[0045] Die Drahtführung zwischen dem Drahtführer **24** und der Bremsrolle **40** hängt u.a. von den auf diesem Drahtabschnitt angeordneten Bearbeitungseinheiten, z.B. der Schäleinrichtung **34** und dem Drahtmesser **37** ab. Hier besteht, was die Lage der Führungsrolle **22** und weitere Drahtführungsorgane anbelangt, weitgehende Gestaltungsfreiheit, es sollten jedoch nach Möglichkeit in diesem Bereich hinter der Bremsrolle **40** keine elastischen Elemente bzw. Drahtspeicher vorhanden sein, um mittels der Drahtbremse **20** jederzeit eine definierte Zugkraft auf den Drahtabschnitt zwischen der Spule und dem Drahtführer **24** ausüben zu können.

[0046] Der Drahtspeicher **18** kann auch eine andere

Form, als dargestellt, haben. So kann z.B. die in ihrer Länge veränderliche Drahtschlaufe, in welche die Drahtbremse **20** gelegentlich Draht zurückfördert, unbelastet sein, wenn in anderer Weise, z.B. durch eine mit einer bestimmten Kraft belastete Andruckrolle, dafür gesorgt wird, daß der Draht **14** schlupffrei in Anlage an der Bremsrolle **40** gehalten wird.

[0047] Das Prinzip der Erfindung läßt sich auch bei einer Wickelvorrichtung realisieren, bei der die Spule während des Wickelvorgangs drehfest gehalten wird, während der Drahtführer die Spule umkreist. Weiterhin spielt es für die Erfindung keine Rolle, ob die Spule **41** auf einen hohlen Träger **36** aus Kunststoff oder auf ein Eisenkernsegment eines Rotors oder Stators für einen Linear- oder Drehantriebsmotor gewickelt wird. Auch Spulen ohne Träger, die auf eine Schablone gewickelt und deren Windungen nach dem Wickeln z.B. miteinander verbacken werden, können erfindungsgemäß hergestellt werden. Schließlich besteht auch keine Einschränkung hinsichtlich des Wickeldrahts. In Frage kommen z.B. Rund- und Flachdrähte sowie Paralleldrähte. Die Wickelvorrichtung kann mehrere nebeneinander angeordnete Wickelrichtungen **12** mit jeweils einer zugehörigen Drahtzuführung aufweisen, wobei die Möglichkeit besteht, die Drehantriebe der Wickelrichtungen **12** und die steuerbaren Antriebe der Drahtführungen **26** zu koppeln oder in anderer Weise zu synchronisieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Wickeln von Spulen für elektrische Geräte und Maschinen auf eine im Querschnitt im wesentlichen rechteckige Umfangsfläche (**36**), wobei ein von einer Vorratsrolle (**16**) abgezogener Wickeldraht (**14**) mittels eines als Drahtbremse (**20**) wirkenden Elektromotors (**38**) mit entgegengesetzt zur Drahtabzugsrichtung angetriebener Drahtbremsrolle (**40**) unter einer steuerbaren Zugspannung durch einen Drahtführer (**24**) der Spule (**41**) zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Drahtbremse (**20**) ein Servomotor (**38**) verwendet wird, dessen Drehmoment in Abhängigkeit von der momentanen Drehwinkelstellung der Relativbewegung zwischen der Spule (**41**) und dem Drahtführer (**24**) gesteuert wird, die von dem Servomotor (**38**) auf den Wickeldraht (**14**) ausgeübte Zugspannung während des gesamten Wickelvorgangs auf den Wickeldrahtabschnitt zwischen dem Drahtführer (**24**) und der Spule (**41**) wirkt und eine von dem Servomotor (**38**) zurückgezogene Drahtlänge unter Beibehaltung einer reibschlüssigen Anlage des Wickeldrahts (**14**) an der Drahtbremsrolle (**40**) zwischen dieser und der Vorratsrolle (**16**) vorübergehend gespeichert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine ununterbrochene reibschlüssige Anlage des Wickeldrahts (**14**) an der Drahtbremsrolle (**40**) durch eine in Drahtabzugsrichtung vor dieser an-

geordnete Drahrückzieheinrichtung (18) erzeugt wird, wodurch auf den Drahtabschnitt zwischen dieser und der Drahtbremsrolle (40) eine Mindestzugspannung ausgeübt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Drehmoment des Servomotors (38) durch Steuerung der Stromstärke gesteuert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Wickeldraht (14) von dem Drahtführer (24) oder durch Umlenkung zwischen diesem und der Spule (41) derart bogenförmig gekrümmt wird, daß er mit der konvex gekrümmten Seite an der im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche (36) oder den bereits darauf gewickelten Spulenwindungen zur Anlage kommt und durch das Aufwickeln in entgegengesetzter Richtung gekrümmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht zunächst derart zu einer innersten Lage auf die im Querschnitt rechteckige Umfangsfläche (30) gewickelt wird, daß benachbarte Drahtwindungen spurgenaue fixiert nebeneinander liegen, und dann eine oder mehrere weitere Lagen gewickelt werden, in denen die Drahtwindungen jeweils in der Rille zwischen den Drahtwindungen der unmittelbar zuvor gewickelten Lage liegen, wobei nach dem Wickeln einer Lage zur Einführung des Wickeldrahts an einer bestimmten Stelle, die sich im Stator oder Rotor in einem Wicklungskopf befindet, in die Rille die relative Drehbewegung zwischen der Spule (41) und dem Drahtführer (24) angehalten oder verlangsamt, die Zugspannung im Wickeldraht (14) reduziert und der Drahtführer (24) entsprechend der Richtungsänderung des Drahtes an der bestimmten Stelle positioniert wird, und anschließend nach einer relativen Drehbewegung zwischen der Spule (41) und dem Drahtführer (24) um einen bestimmten Drehweg und dem Einlegen des Wickeldrahts (14) in die Rille der Drahtführer (24) entsprechend deren Richtung ausgerichtet, die Zugspannung im Wickeldraht (14) wieder erhöht und mit größerer Drehgeschwindigkeit weitergewickelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch Wahl des Abstands der Stellen des Eintritts des Wickeldrahts (14) in die Rille der jeweils zuletzt gewickelten Lage von einer der beiden Stirnseiten der Spule (41) in mehreren Lagen übereinander eine keilförmige Spule (41) mit bestimmtem Keilwinkel erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Wickeln die Spule (41) gedreht wird, während der Drahtführer (24) undrehbar gehalten wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule (41) während des Wickelns auf der im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche (36) zwischen stirnseitig anliegenden Flächen unter radialer und axialer Druckspannung gehalten wird und nach Druckentlastung auf einen vorbestimmten Querschnitt schrumpft und auf eine vorbestimmte Länge expandiert.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule (41) auf einen hohlen oder massiven Spulenträger (36) mit im Querschnitt rechteckiger Umfangsfläche wickelbar ist, der mit weiteren Spulen (41) auf Spulenträgern (36) zu einem Stator oder Rotor eines elektrischen Motors oder Generators zusammenzubauen ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenträger (36) auf der die Spule (41) tragenden, im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche in den Eckbereichen des Querschnitts mit in Umfangsrichtung verlaufenden Rillen geformt wird, in die der Wickeldraht (14) beim Wickeln eingelegt wird.

11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit einem Wickelwerkzeug (52, 54), auf dem im Zusammenwirken mit einem Drahtführer (24) durch Relativdrehung auf einer im Querschnitt im wesentlichen rechteckigen Umfangsfläche (36) eine Spule (41) erzeugbar ist, und einer Drahtzufuhr mit einem als Drahtbremse (20) wirkenden Elektromotor (38) mit entgegengesetzt zur Drahtabzugsrichtung angetriebener Drahtbremsrolle (40) sowie mit einem Drahtspeicher (18) für vorübergehend zurückgezogenen Wickeldraht (14) zwischen dem Drahtführer (24) und einer Drahtvorratsrolle (16), dadurch gekennzeichnet, daß die Drahtbremse (20) ein Servomotor (38) ist, dessen Drehmoment in Abhängigkeit von der momentanen Drehwinkelstellung der Relativbewegung zwischen dem Wickelwerkzeug (52, 54) und dem Drahtführer (24) steuerbar ist, der Drahtspeicher (18) in Abzugsrichtung des Wickeldrahts (14) vor der Drahtbremse (20) angeordnet ist und der reibschlüssig an der Drahtbremsrolle (40) anliegende Wickeldraht (14) während Drahrückzugsbewegungen durch eine Andrück- oder Rückzieheinrichtung (46) in reibschlüssiger Anlage an der Drahtbremsrolle (40) gehalten ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Servomotor (38) ein über die Stromstärke steuerbarer Synchronmotor ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückzieheinrichtung eine durch Schwerkraft oder Federkraft belastete Tänzerrolle (46) ist, die den Drahtabschnitt zwischen der Vorratsrolle (16) und der Drahtbremse (20) belas-

tet und durch Verlängerung dieses Drahtabschnitts den zurückgezogenen Wickeldraht (40) speichert.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Wickeldraht (14) während des Wickelvorgangs durch ein Biegewerkzeug im Drahtführer (24) oder infolge von dessen räumlicher Anordnung relativ zum Wickelwerkzeug (52, 54) an der Auslaßkante des Drahtführers (24) nach derjenigen Seite bogenförmig verformbar ist, mit welcher sich der Wickeldraht (14) bei der vorbestimmten Wickelrichtung gegen die im Querschnitt rechteckige Umfangsfläche bzw. die sich darauf bildende Spule (41) legt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Wickelwerkzeug (52, 54) rotierend antreibbar ist, während der Drahtführer (24) undrehbar gehalten ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Drahtführer (24) zu seiner wechselnden Positionierung am Beginn und während eines Wickelvorgangs sowie beim Übergang auf eine andere Spulengröße in drei Raumachsen gesteuert verfahrbar ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Wickelwerkzeug (52, 54) zwei sich quer zur Drehachse (48) erstreckende, einander gegenüberliegende Flächen zur stirnseitigen Abstützung der Spule (41) aufweist, deren Abstand während des Wickelvorgangs etwas kleiner ist als die Soll-Länge der zu erzeugenden Spule (41) zuzüglich gegebenenfalls der Dicke von Flanschen eines Spulenträgers (36) aus Kunststoff.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Wickelwerkzeug einen Aufnahmedorn (52) hat, auf dessen Umfangsfläche die Spule (41) aufwickelbar ist oder auf den ein passender Spulenträger (36) aus Kunststoff aufsteckbar ist und der vor Beginn des Wickelvorgangs radial über das innere Sollmaß der Spule (41), gegebenenfalls vermindert um die Dicke des Spulenträgers (36), hinaus aufweitbar ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Wickelwerkzeug (52, 54) eine Spannvorrichtung zum Einspannen eines massiven Spulenträgers (36) in Form eines Eisenkernsegments mit einer im Querschnitt rechteckigen Umfangsfläche aufweist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Wickelwerkzeug (52, 54) neben dem zu bewickelnden Bereich des Aufnahmedorns (52) oder eines Spulenträgers (36) eine Klemmeinrichtung (60) aufweist, in die durch den Drahtführer (24) der Drahtanfang einer

Spule (41) einführbar ist, und axial zwischen der Klemmeinrichtung (60) und dem zu bewickelnden Bereich eine schräge Leitfläche (68) und eine quer zur Drehrichtung liegende Mitnahmefläche (70) vorhanden sind, an denen der Wickeldraht (14) nach Beginn der Wickelbewegung zur Anlage kommt, um an einer bestimmten Stelle in den Spulenträger (36) eingeführt zu werden.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß in der Drahtzufuhr, vor dem Drahtführer (24) eine Schälleinrichtung (34) angeordnet ist, durch die an den die Anschlußenden der Spule (41) bildenden Drahtabschnitten die isolierende Ummantelung abschälbar ist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß in der Drahtzufuhr vor der Schälleinrichtung (34) eine Drahtvorschubeinrichtung (62, 64, 66) angeordnet ist.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein Teil einer Gesamtvorrichtung zum gleichzeitigen Wickeln mehrerer Spulen (41) in paralleler Anordnung ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Fig. 1A

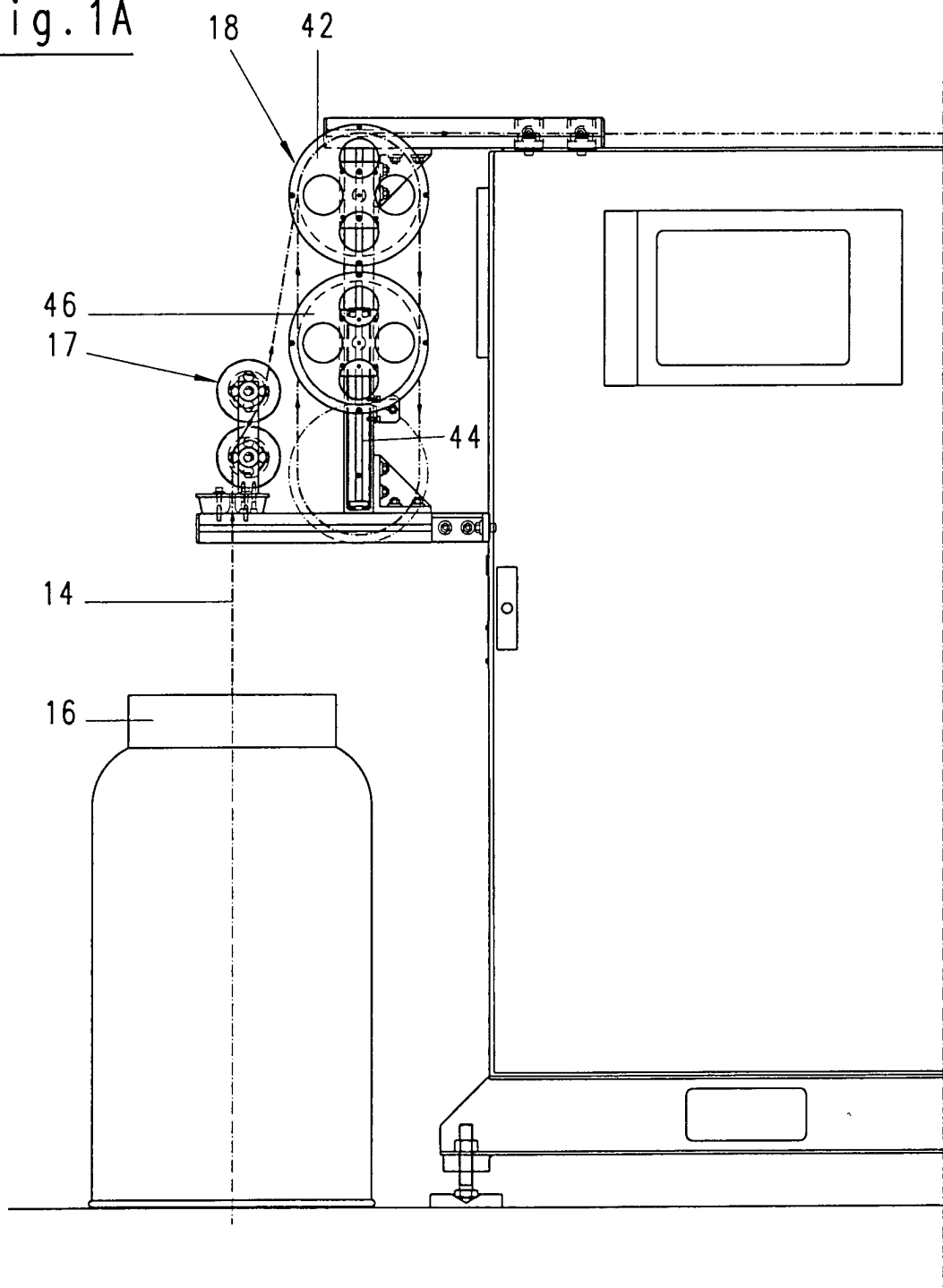


Fig. 2

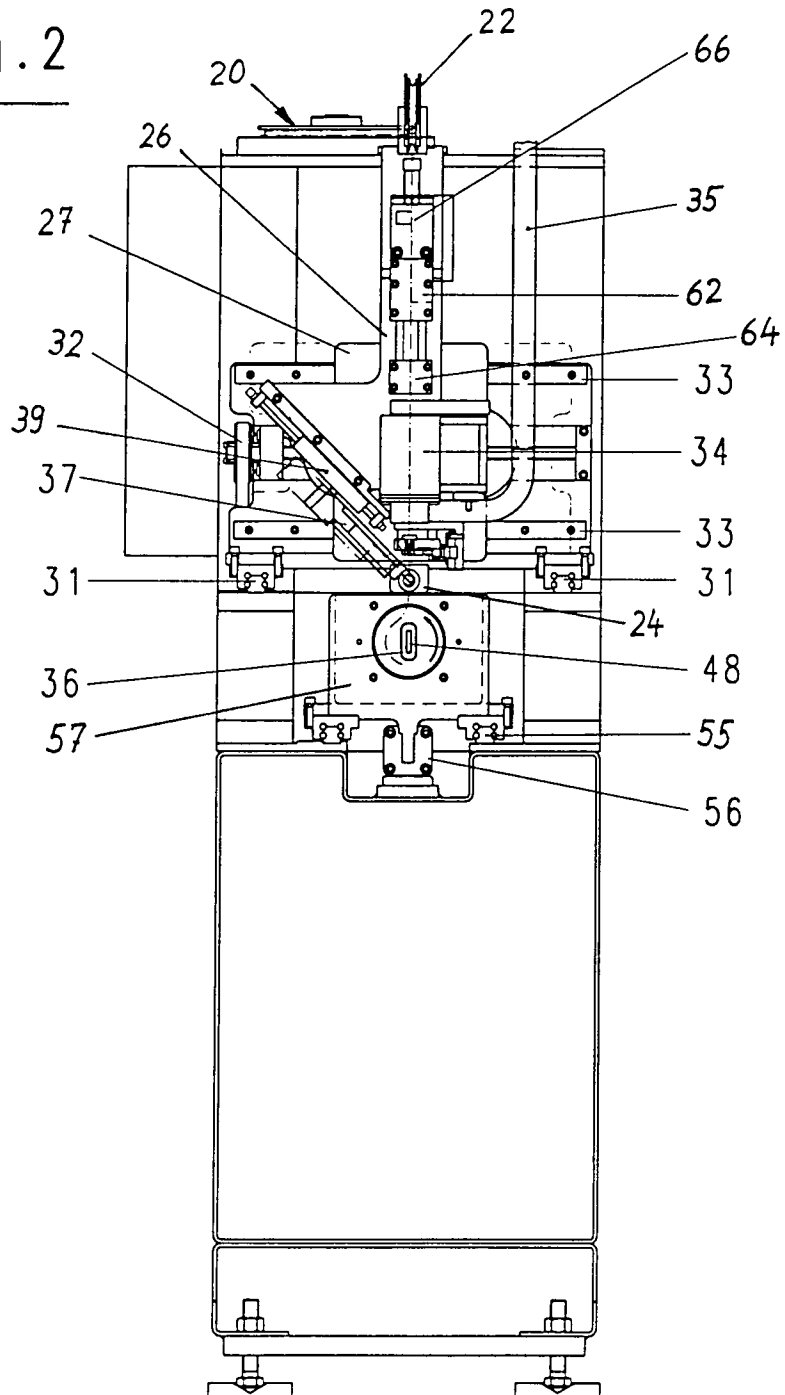


Fig. 3

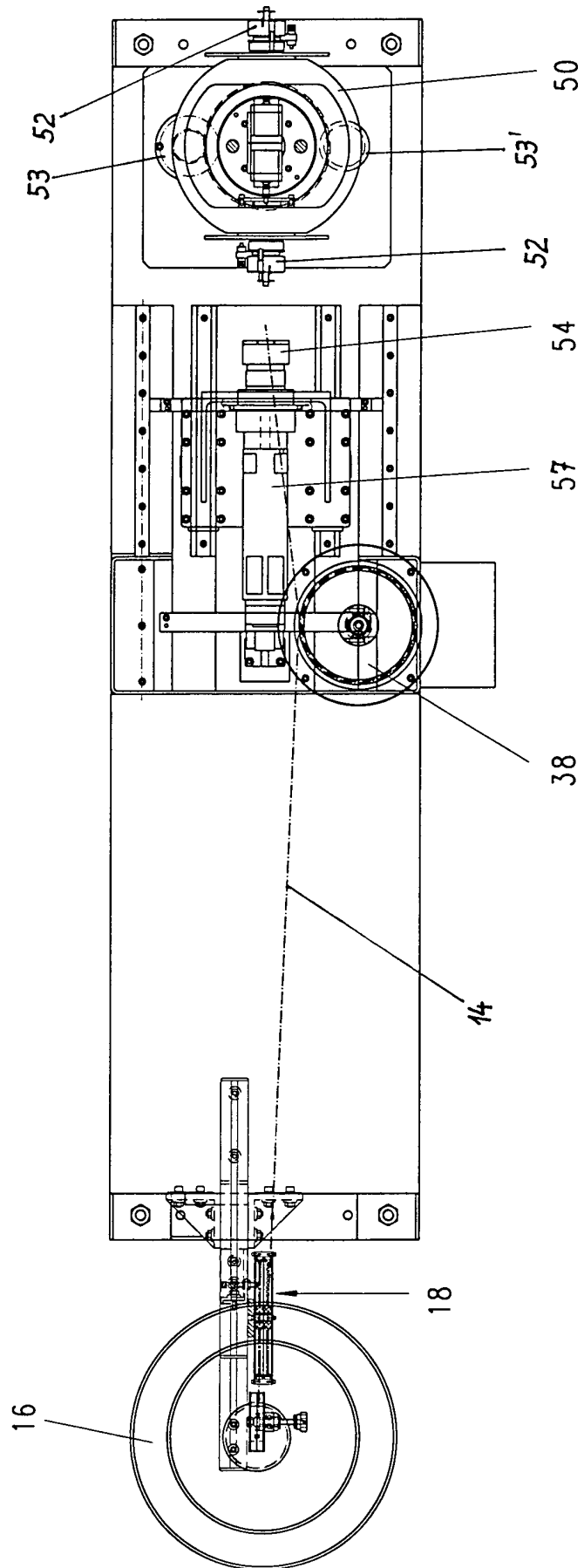


Fig. 4

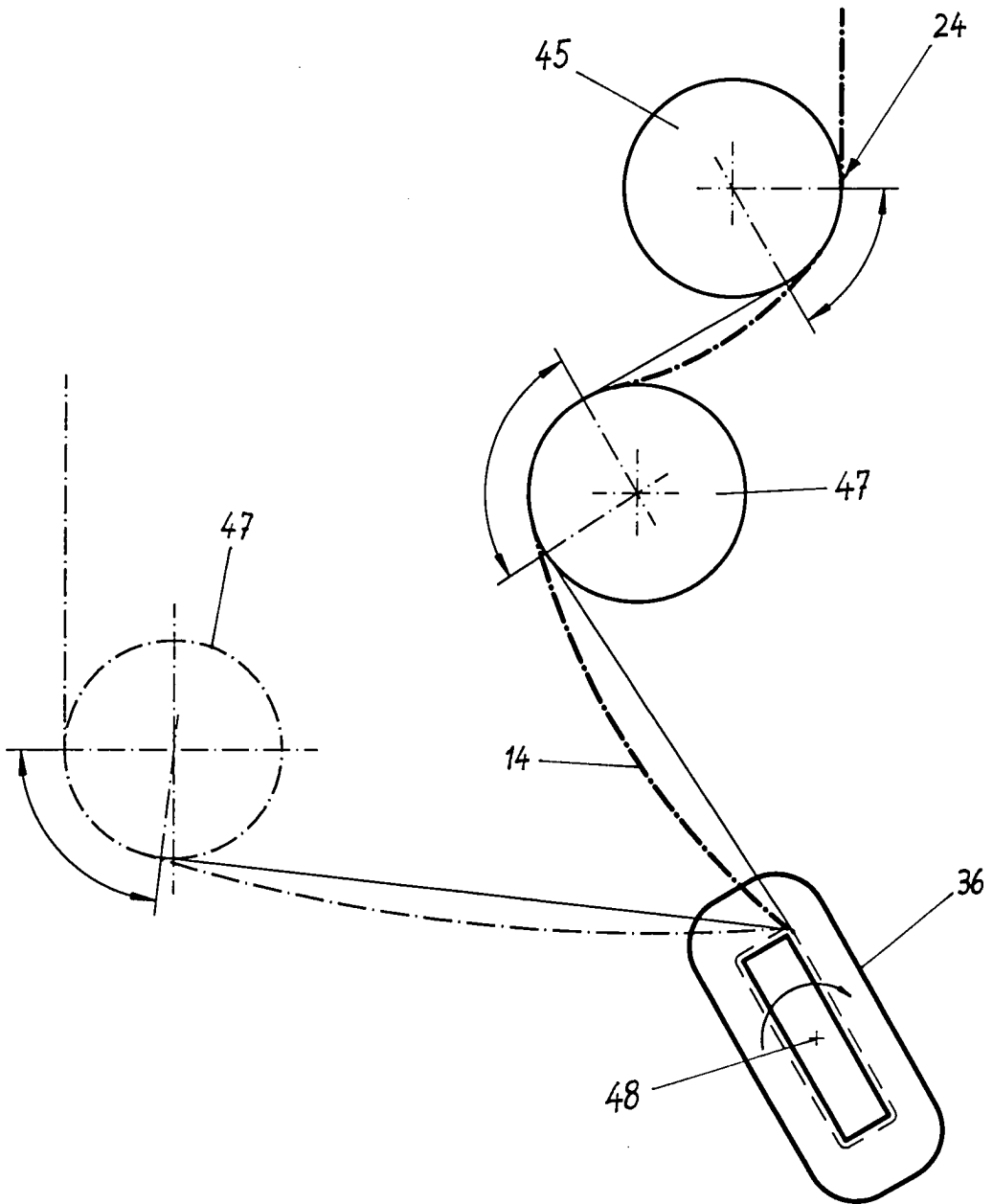


Fig. 5

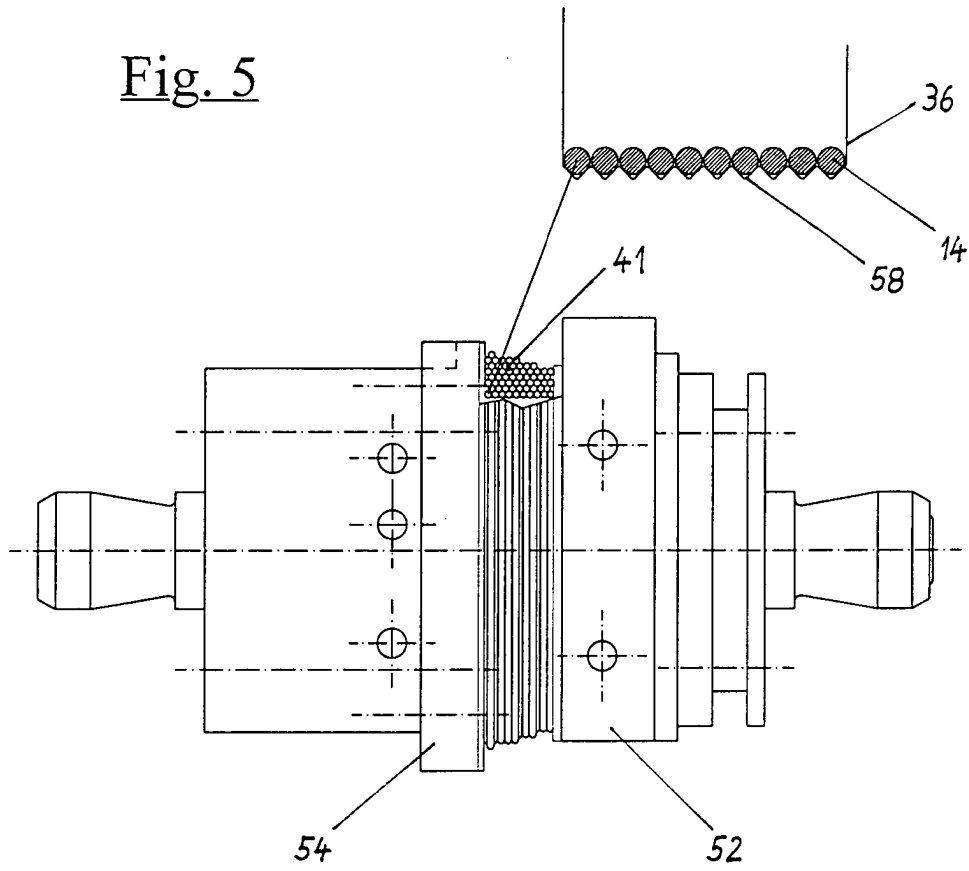


Fig. 6

