



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑪

641 911

⑳ Gesuchsnummer: 5183/79

⑦③ Inhaber:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.,
Baden

㉔ Anmeldungsdatum: 05.06.1979

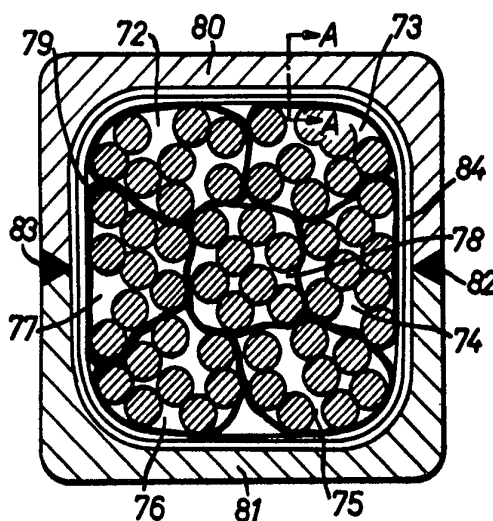
㉔ Patent erteilt: 15.03.1984

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.03.1984

⑦② Erfinder:
Hans Benz, Zürich

⑤④ **Supraleitendes Kabel.**

⑤⑦ Supraleitende Kabel enthalten eine Vielzahl einzelner Drähte, die zu Drahtbündeln und Strängen verseilt oder verflochten sind. Bei der Verwendung solcher Kabel für die Spulenwicklung von Magneten treten im Kabel starke elektromagnetische Kräfte auf, die die Drahtbündel und Stränge verformen oder gegeneinander verschieben. Um diese Bewegungen zu vermeiden, enthält das Kabel mehrere äussere Stränge 73, 74, 75, 76, die um einen mittleren Strang 78 verseilt oder mit diesem verflochten sind. Jeder Strang besteht aus mehreren Drahtbündeln, die an den Berührungspunkten oder -linien miteinander und mit einer den Strang umschliessenden Hülse 80 verlötet sind. Damit werden die Drahtbündel und Stränge zu einer mechanisch rigiden Struktur verbunden, in der sich die Teile zwischen den Lötstellen bestenfalls elastisch verformen können und mit der alle Nachteile der frei verschiebbaren Drahtbündel vermieden werden können. Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Stränge aus gitterförmig angeordneten Drahtbündeln gebildet.



PATENTANSPRÜCHE

1. Supraleitendes Kabel, enthaltend eine Vielzahl Drähte, von denen jeder eine Mehrzahl in einem Matrixmaterial eingebettete Filamente aus einem supraleitenden Material aufweist, welche Drähte zu Drahtbündeln verseilt oder verflochten und verlötet sind und welche Drahtbündel zu Strängen und welche Stränge verseilt oder verflochten sind, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erhöhung der mechanischen Festigkeit und Verbesserung der thermischen und elektrischen Leitfähigkeit sowie für eine wirksamere Matrixkühlung die Drahtbündel (25, 26; 35, 36) im Strang (Fig. 5) und von benachbarten Strängen im Bereich der Berührungspunkte oder -linien (42 bzw. 43) stoffschlüssig miteinander verbunden sind.

2. Kabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Drahtbündel (Fig. 4) und/oder die Stränge (Fig. 7) eingelagerte Stabilisierungsbänder oder -drähte (51, 52; 59) enthalten, welche im Bereich der Berührungspunkte oder -linien miteinander und mit benachbarten Drahtbündeln stoffschlüssig verbunden sind.

3. Kabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Unterdrücken von Wirbelströmen beim Erzeugen von oder bei der Verwendung in magnetischen Wechselfeldern die Drähte (Fig. 2, 3) und/oder die Drahtbündel (Fig. 4) und/oder die Stränge (Fig. 6, 7) mindestens teilweise mit einem hochohmigen, nichtmagnetischen, wärmeleitenden Material ummantelt sind und mit dieser Ummantelung (15, 19; 56; 60) sowie benachbarten Ummantelungen im Bereich der Berührungspunkte oder -linien stoffschlüssig miteinander verbunden sind.

4. Kabel nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die stoffschlüssige Verbindung eine Weichlötung ist.

5. Kabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Drahtbündel (23, 24, 25; 26, 27; 28, 29, 30; 31, 32) in mehreren Schichten gitterförmig übereinander angeordnet und in jeder Schicht parallel zueinander ausgerichtet sind, wobei die Drahtbündel benachbarter Schichten einen Winkel (39) miteinander einschliessen, dessen Winkelhalbierende in der Längsrichtung (40) des Kabels liegt.

6. Kabel nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drahtbündel (65, 66, 67) zu mehreren Schichten (62, 63, 64) gitterförmig verflochten sind.

7. Kabel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es (Fig. 10) eine Kabelhülle (80, 81) aufweist, in welche der Aufbau aus Drähten, Bündeln und Strängen eingeschlossen ist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Kabels gemäss Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die verseilten oder verflochtenen Stränge aus den verseilten oder verflochtenen bzw. gitterförmig angeordneten Drahtbündeln mit den mit einer dünnen Lötsschicht überzogenen Drähten auf den angestrebten Querschnitt vorverdichtet, danach mit einem Flussmittel getränkt, dann über den Schmelzpunkt des Lots erwärmt und bei gleichzeitiger Abkühlung auf den endgültigen Querschnitt verformt und verdichtet werden und anschliessend das überflüssige Flussmittel ausgewaschen wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein supraleitendes Kabel, enthaltend eine Vielzahl Drähte, von denen jeder eine Mehrzahl in einem Matrixmaterial eingebettete Filamente aus einem supraleitenden Material aufweist, welche Drähte zu Drahtbündeln verseilt oder verflochten und verlötet sind und welche Drahtbündel zu Strängen und welche Stränge verseilt oder verflochten sind.

Supraleitende Kabel werden insbesondere zum Wickeln von Spulen verwendet, die zum Erregen sehr starker elektromagnetischer Felder vorgesehen sind. Bei den bekannten Ausführungsformen enthält das Kabel mehrere Stränge, die aus Drahtbündeln gebildet sind. Zum Kühlen des Kabels auf die für die Supraleitung erforderliche Temperatur sind zwei Verfahren gebräuchlich, die Badkühlung, bei der die gesamte Spule in ein Kühlmittelbad eingetaucht wird, und die Zwangskühlung, bei der ein Kühlmittel durch die Zwischenräume zwischen den Drahtbündeln und den Strängen (Matrixkühlung) und/oder durch im Kabel eingebaute Kühlmittelleiter (Hohlleiterkühlung) gepresst wird. Für die Matrixkühlung vorgesehene Kabel sind notwendigerweise in eine gasdichte Hülle eingeschlossen, während für die Badkühlung vorgesehene Kabel vorteilhafterweise keine Hülle aufweisen.

Beim Erregen von Magnetspulen wirken auf die Stromleiter Kräfte, die dem vektoriellen Produkt aus dem Erregerstrom und der magnetischen Induktion entsprechen. Diese Kräfte sind gerichtet und können eine Verformung des Leiterquerschnitts und des Windungsquerschnitts sowie eine Änderung der gegenseitigen Lage benachbarter Leiter bewirken. Diese Verformungen und Lageänderung können weiter eine Verminderung des Anpressdrucks zwischen benachbarten Leitern und/oder eine Verschiebung benachbarter Leiter gegeneinander verursachen. Beide Erscheinungen sind insbesondere bei supraleitenden Kabeln sehr nachteilig.

Beim Verschieben benachbarter Leiter gegeneinander kann Reibungswärme erzeugt werden, die einen geringen, örtlich begrenzten Temperaturanstieg bewirkt, der bei der Arbeitstemperatur supraleitender Kabel besonders nachteilig ist.

Bei Kabeln mit vielen Drahtbündeln und Strängen addieren sich die Kräfte und die dadurch bewirkten Verformungen zu einer auf die Innenwand der Hülle gerichteten Kraft, die zu einer elastischen Verformung der Hülle führen kann. Bei Wicklungen mit dicht aneinanderliegenden Kabelhüllen addieren sich die Verformungskräfte der Hülle in der Richtung der Kraft, so dass auf die einzelnen Kabel nicht nur die zugeordnete Lorentz-Kraft, sondern zusätzlich die durch die mechanisch übertragene Verformung der Hülle erzeugte Kraft einwirkt.

Der vorliegenden Erfindung liegt darum die Aufgabe zugrunde, ein supraleitendes Kabel zu schaffen, dessen einzelne Leiter durch die elektromagnetischen Kräfte nur elastisch und nicht plastisch verformt und auch nicht gegeneinander verschoben werden.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe mit einem Kabel gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Drahtbündel im Strang und von benachbarten Strängen im Bereich der Berührungspunkte oder Linien stoffschlüssig miteinander verbunden sind.

Bei dem neuen supraleitenden Kabel kann mit den stoffschlüssigen Verbindungen der einzelnen Leiter wirkungsvoll verhindert werden, dass die gegenseitige Lage benachbarter Leiter verändert wird und dabei störende Reibungswärme entsteht. Auch der thermische Widerstand wird beim Erregen der Spule nicht verändert, womit eine optimale Kühlung und der rasche Ausgleich thermischer Instabilitäten gewährleistet sind. Schliesslich bilden die stoffschlüssigen Verbindungen eine selbsttragende mechanische Konstruktion, die den grössten Teil der vom elektromagnetischen Feld erzeugten Kräfte aufnimmt.

Bei einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist die stoffschlüssige Verbindung als Weichlötung ausgebildet.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Drahtbündel in mehreren Schichten gitterförmig übereinander angeordnet und in jeder Schicht parallel zueinander ausgerichtet, wobei die Drahtbündel benachbarter Schichten

einen Winkel miteinander einschliessen, dessen Winkelhalbierende in der Längsrichtung des Kabels liegt.

Nachfolgend werden einige Ausführungsbeispiele der Erfindung mit Hilfe der Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 die perspektivische Ansicht eines supraleitenden Drahts,

Fig. 2 die Draufsicht auf einen supraleitenden Draht, der mit einem hochohmigen Material umwickelt ist,

Fig. 3 die Draufsicht auf einen supraleitenden Draht, der mit einem hochohmigen Material ummantelt ist,

Fig. 4 die perspektivische Ansicht eines Drahtbündels, das eine Mehrzahl miteinander verseilter, supraleitender Drähte und stabilisierender Drähte enthält,

Fig. 5 die perspektivische Ansicht eines Strangs, der eine Mehrzahl gitterförmig angeordneter, supraleitender Drahtbündel enthält,

Fig. 6 den Querschnitt durch einen mit einem hochohmigen Material ummantelten Strang, der mehrere verflochtene Drahtbündel enthält,

Fig. 7 den Querschnitt durch einen mit einem hochohmigen Material ummantelten Strang, der mehrere mit einem hochohmigen Material umwickelte und verseilte Drahtbündel enthält,

Fig. 8 den Querschnitt durch einen Strang, der mehrere zu koaxialen Schichten geseilte Drahtbündel enthält,

Fig. 9 den schematischen Querschnitt durch ein Kabel, das mehrere verflochtene Stränge enthält, von denen jedes aus mehreren Drahtbündeln besteht,

Fig. 10 den Querschnitt durch ein Kabel, welches eine Kabelhülle aufweist,

Fig. 10a das Längsprofil eines Wärmeisolators, der in dem Kabel gemäss Fig. 10 zwischen den Strangbündeln und der Hülle eingelegt ist, gesehen längs der Schnittlinie A-A in Fig. 10,

Fig. 11 den Teilquerschnitt durch eine zum Eintauchen in ein Kühlbad vorgesehene Spulenwicklung und

Fig. 12 die schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Herstellen des neuen supraleitenden Kabels.

Die Fig. 1 zeigt einen supraleitenden Draht, der aus einer Vielzahl supraleitender Filamente 10 besteht, die zur thermischen und elektrischen Stabilisierung lose verseilt und in eine Matrix 11 aus einem elektrisch und thermisch gut leitenden Metall eingebettet sind. Der Draht ist mit einer dünnen Schicht 12 aus einem Weichlot überzogen, die das Erstellen von Lötverbindungen mit anliegenden anderen Drähten ermöglicht.

Die Fig. 2 zeigt die Draufsicht auf einen supraleitenden Draht 14, der mit einem Band 15 aus hochohmigem, wärmeleitendem Material schraubenlinienförmig umwickelt ist. Wie bereits einleitend erwähnt wurde, ist diese Umwicklung dazu vorgesehen, unerwünschte Wirbelströme zwischen benachbarten Drähten nach Möglichkeit zu verringern. Das Band 15 ist vorteilhafterweise auf der gesamten Anlagefläche mit dem Draht 14 verlötet. Bei der gezeigten Ausführungsform ist das Band so gewickelt, dass benachbarte seitliche Ränder voneinander beabstandet sind und zwischen den einzelnen Windungen eine ebenfalls schraubenlinienförmige Nut 6 gebildet ist. Bei Kabeln mit Matrixkühlung kann diese Nut als Kühlmittelekanal verwendet werden.

Es ist auch möglich, das Band mit dicht aneinanderliegenden seitlichen Rändern oder mit überlappenden Rändern auf den supraleitenden Draht zu wickeln, wenn das einfacher oder vorteilhafter ist.

Weiter ist es möglich, anstelle des angezeigten Bands 15 einen Draht aus hochohmigem, wärmeleitendem Material auf den supraleitenden Draht zu wickeln und mit diesem zu verlöten, wobei die einzelnen Windungen des Drahts wahlweise voneinander beabstandet oder dicht aneinanderliegend oder sogar mit veränderlichem Abstand voneinander aufgewickelt

sein können.

Ein geeignetes hochohmiges, wärmeleitendes Material ist eine handelsübliche Kupfer-Nickel-Legierung.

Bei der Ausführungsform gemäss Fig. 3 ist der supraleitende Draht 18 mit einer aufgelöteten Hülse 19 aus einem hochohmigen, wärmeleitenden Material ummantelt. Die Hülse weist in regelmässigen Abständen angeordnete und auf den gesamten Umfang verteilte Öffnungen 20, 21 auf, die für den direkten Zustrom des Kühlmittels zum supraleitenden Draht vorgesehen sind.

In Fig. 4 ist ein Drahtbündel gezeigt, das mehrere supraleitende Drähte 50 enthält, die mit normalleitenden, zur Stabilisierung vorgesehenen Drähten 51, 52 mit unterschiedlichem Durchmesser verseilt sind. Diese Stabilisierungsdrähte bestehen beispielsweise aus Kupfer oder Aluminium. Alle Drähte sind auf ihrer Oberfläche mit einer dünnen Lötsschicht überzogen und im Bereich der Berührungslinien miteinander verlötet.

Das verseilte Drahtbündel ist mit einer perforierten Hülse 54 aus einem hochohmigen, wärmeleitenden Material ummantelt, um unerwünschte Wirbelströme zu benachbarten Drahtbündeln nach Möglichkeit zu vermeiden.

In Fig. 5 ist ein Strang gezeigt, der als Raumgitter ausgebildet ist. Dieser Strang enthält eine Mehrzahl von Drahtbündeln 23 bis 37. Die Drahtbündel bilden Gitterschichten, wobei die einzelnen Schichten aus parallel zueinander angeordneten Drahtbündeln 23, 24, 25 bzw. 26, 27 bzw. 28, 29, 30 bzw. 31, 32 bzw. 33, 34, 35 und 36, 37 gebildet sind. Die Drahtbündel der aufeinanderliegenden Schichten schliessen einen Winkel 39 miteinander ein, der symmetrisch zu der mit dem Pfeil 40 angezeigten, dem vorgesehenen Stromfluss entsprechenden Längsrichtung des Kabels liegt. Die Drahtbündel sind im Bereich aller Berührungsstellen miteinander verlötet, was mit den eingezeichneten Lötspunkten und beispielsweise den Lötspunkten 42, 43, 44, 45, 46 gezeigt ist.

Der Strom durch den Strang ist praktisch gleichmässig auf die einzelnen Drahtbündel verteilt. Wird eines der Drahtbündel unterbrochen oder springt ein Teil eines Drahtbündels, beispielsweise wegen einer thermischen Instabilität, vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand über, dann übernehmen die benachbarten Drahtbündel die Stromleitung. Das ist in Fig. 5 am Beispiel des Drahtbündels 29 gezeigt, das einen nichtleitenden oder nicht supraleitenden Bereich 48 aufweist. Der Strom im Drahtbündel 29 fliesst dann in die Drahtbündel 31 bzw. 26, von wo er mindestens in die Drahtbündel 34 und 30 bzw. 24 und 30 weitergeleitet wird. Dabei versteht sich, dass beim Unterbruch eines Drahtbündels praktisch alle anderen Drahtbündel des Strangs einen Teil der Stromleitung übernehmen, was hier im einzelnen nicht beschrieben werden soll. Aus der Fig. 5 ist auch deutlich zu erkennen, dass die Lötspunkte zwischen benachbarten Drahtbündeln die Freiräume im Raumgitter nicht verkleinern und damit den Durchfluss des Kühlmittels nicht behindern.

Es versteht sich, dass anstelle des in Fig. 5 gezeigten und einfacherweise aus aufeinanderangeschichteten Drahtbündeln gebildeten Strangs vorzugsweise Stränge aus miteinander verflochtenen Drahtbündeln verwendet werden, die ausserdem einen kreisringförmigen Querschnitt aufweisen, wie es in der noch zu beschreibenden Fig. 8 gezeigt ist.

In Fig. 6 ist schematisch der Querschnitt durch einen Kabelstrang gezeigt, der acht Drahtbündel enthält, von denen nur das Bündel 55 mit einem Bezugszeichen identifiziert ist. Jedes Drahtbündel besteht vorzugsweise aus miteinander verseilten, supraleitenden und stabilisierenden Drähten, wie es beispielsweise in Fig. 4 gezeigt ist, oder aus verflochtenen und transponierten Drähten, deren Lage in der Mitte bzw. am Rande des Strangs periodisch vertauscht ist. Diese letztere Anordnung ermöglicht eine bessere Unterdrückung von unerwünschten induzierten Strömen. Der Strang weist eine

Umwicklung oder Ummantelung 56 aus einem hochohmigen, wärmeleitenden Material auf. Die einzelnen Drahtbündel sind an den Berührungspunkten oder -linien miteinander und mit der Umwicklung oder Ummantelung verlötet. Es versteht sich, dass die Ummantelung eine Vielzahl von Öffnungen aufweist, damit das Kühlmittel möglichst unbehindert in den Strang und an die Drahtbündel einströmen kann.

Fig. 7 zeigt schematisch den Schnitt durch eine andere Ausführungsform eines Strangs. Dieser enthält sechs Drahtbündel, von denen nur das Drahtbündel 57 mit einem Bezugszeichen identifiziert ist. Jedes Drahtbündel enthält mehrere miteinander verseilte Drähte, wie es in Fig. 4 gezeigt ist, und ist mit einem Band 58 aus einem hochohmigen, wärmeleitenden Material umwickelt, wie es in Fig. 2 für den Draht 14 gezeigt ist. Die Wicklung ist derart ausgeführt, dass die Breite der Nut zwischen benachbarten Windungen grösser ist als die Breite des Bands und die Wicklungen benachbarter Drahtbündel «ineinandergeschraubt» werden können. Die Drahtbündel sind um einen mittleren Stabilisierungsdraht 59 verseilt und von einer Ummantelung 60 eingeschlossen. Bei diesem Strang sind die Berührungspunkte oder -linien zwischen den einzelnen Drahtbündeln bzw. den daraufgewickelten Bändern und den Bändern und der Ummantelung miteinander verlötet. Wie aus der Figur zu erkennen ist, weist der Querschnitt dieses Strangs viele Freiräume auf, die zum Durchströmen und Verteilen eines Kühlmittels gut geeignet sind.

Fig. 8 zeigt den Schnitt durch noch eine andere Ausführungsform eines Strangs. Der Strang enthält einen relativ dicken Kerndraht 61 aus normalleitendem Kupfer oder Aluminium, um den drei Schichten 62, 63, 64 Drahtbündel koaxial angeordnet sind. Jede Schicht ist aus mehreren Drahtbündeln, z.B. den Drahtbündeln 65 bzw. 66 bzw. 67 geseilt. Die Schichten sind mit alternierender Drehrichtung geseilt, was durch die Pfeile 68, 69, 70 angedeutet ist. Auf diese Weise entstehen eine Vielzahl von Berührungspunkten, an denen die einzelnen Drahtbündel miteinander verlötet werden können, wobei eine relativ rigide Kabelstruktur gebildet wird, die die Drahtbündel und die Strangschichten fest in der vorgegebenen Stellung hält.

Jede der koaxial angeordneten Strangschichten kann mit einem hochohmigen, wärmeleitenden und perforierten Material ummantelt sein. Die Räume zwischen den einzelnen Strangschichten und zwischen den Drahtbündeln können als Kühlmittelkanäle für die Matrixkühlung genutzt werden.

Fig. 9 zeigt schematisch den Schnitt durch eine Ausführungsform eines Kabels, bei dem die Stränge 71, von denen jeder mehrere (nicht gezeigte) Drahtbündel enthält, für eine optimale Transponierung miteinander verflochten sind, so dass die Stellung der Stränge im Kabelquerschnitt periodisch vertauscht wird. Die Stränge sind im Bereich der Berührungspunkte oder -linien miteinander verlötet.

Fig. 10 zeigt den Schnitt durch ein Kabel, welches eine Kabelhülle aufweist. Das Kabel enthält mehrere äussere Stränge 73 bis 77, die um einen mittleren Strang 78 verseilt oder mit diesem verflochten sind. Jeder Strang besteht aus mehreren Drahtbündeln, die an den Berührungspunkten oder -linien miteinander und mit einer den Strang einschliessenden Hülle, z.B. der Hülle 79, verlötet sind. Auch die Hüllen der Stränge sind im Bereich der Berührungspunkte oder -flächen miteinander verlötet. Die Stränge sind in eine Kabelhülle eingelegt, die aus zwei U-förmigen Schalen 80, 81 zusammengesetzt ist. Diese Kabelhülle bildet die äussere Begrenzung der Kühlmittelkanäle bei der Matrixkühlung und kann, wenn sie beispielsweise aus Stahl besteht, äussere Kräfte aufnehmen und die eingeschlossenen supraleitenden Kabelteile entlasten. Beim vakuumdichten Verschweissen der beiden Schalen an den Stossstellen entsteht im Bereich der Schweissnähte 82, 83 eine sehr hohe Temperatur. Um die eingeschlossenen

Supraleiter vor dieser hohen Temperatur zu schützen, werden die Stränge vorteilhafterweise mit einem thermisch schlecht leitenden, profilierten Stahlband 84 bandagiert. Fig. 10a zeigt den Schnitt durch das Stahlband längs der Linie A-A in Fig. 10.

Fig. 11 zeigt den Schnitt durch einen Teil einer mit supraleitenden Kabeln gewickelten Spule, die für die Badkühlung vorgesehen ist. Die Wicklung enthält eine Mehrzahl supraleitender Kabel 86, die entsprechend dem in Fig. 9 gezeigten Kabel aufgebaut sind. Die Spule enthält einen Wickelkörper mit Spulenisolation 87 und Windungsisolierungen 88, zwischen denen die Kabelwindungen eingelegt sind. Die Spulen- und die Windungsisolierungen trennen die Kabelwindungen elektrisch voneinander und bilden zugleich ein wirksames mechanisches Gerüst für die gesamte Spule.

Die Isolationen sind mit grossen Öffnungen 89 bzw. 90 versehen, die das möglichst unbehinderte Durchströmen der Spule mit dem Kühlmittel ermöglichen sollen.

In Fig. 12 ist schematisch eine Anlage zur Herstellung des neuen Kabels gezeigt. Die Anlage enthält eine Einlaufstation 93 mit zwei um 90° gegeneinander versetzten Walzenpaaren. Der zur Kabelachse gerichtete Druck der Walzenpaare bewirkt eine Verformung und Verdichtung des Kabelquerschnitts und insbesondere der Berührungspunkte und -linien, wobei die vorgesehenen Verbindungspunkte oder -flächen durch plastische Verformung vergrössert werden. Das Kabel läuft dann in eine Benetzungsstation 94 ein, in der es mit einem Flussmittel getränkt wird, das die nachfolgende Verlötung begünstigt. Danach wird das Kabel durch eine mehrstufige Löt- und Kalibrierstation 95 geführt. Am Einlauf dieser Station ist eine Heizeinrichtung 97 angeordnet, die das gesamte Kabel elektrisch oder induktiv auf eine Temperatur erwärmt, die über dem Schmelzpunkt des Weichlots liegt. In der Durchlaufstation des Kabels sind nach der Heizeinrichtung zwei senkrecht zueinander ausgerichtete Nachpresswalzenpaare 98 angeordnet, in denen das Kabel nochmals zusammengepresst wird, wobei das flüssige Lot an den Berührungsstellen der Drahtbündel und der Stränge dünn-schichtige Verlotungen bildet. Den Auslauf der Löt- und Kalibrierstation bilden eine Kühleinrichtung 99 und zwei Paare senkrecht zueinander ausgerichtete Kalibrierwalzen 100. Beim Durchlauf des Kabels durch die Kalibrierwalzen wird der Kabelquerschnitt auf das vorgegebene Endmass zusammengepresst und zugleich auf eine Temperatur abgekühlt, bei der das Lot erstarrt. Hinter der Löt- und Kalibrierstation ist eine Waschstation 102 vorgesehen. In dieser Station wird das Kabel mit einem Reinigungsmittel besprüht, das allfällige Reste des Flussmittels und sonstige Verunreinigungen auswäscht.

Die beschriebene Anlage ermöglicht, ein vorbereitetes Kabel im Durchlaufverfahren zu verlöten, und das verlötete und im Querschnitt kalibrierte Kabel ist dann fertig, um in eine Hülle eingeschlossen oder auf einen zur Badkühlung vorgesehenen Spulen Kern gewickelt zu werden.

Für die beschriebene Verwendung brauchbare Weichlote sind beispielsweise Blei-Zinn- oder Zinn-Silberlote.

Es versteht sich, dass die stoffschlüssige Verbindung ebensogut durch Verschweissen oder mit einem Diffusionsverfahren erzeugt werden kann.

Beim Ziehen des Kabels durch die oben beschriebene Anlage und Zusammenpressen des Kabelquerschnitts im Einlaufwalzenpaar bzw. Nachpresswalzenpaar werden die Kabelteile plastisch verformt. Beim Einlegen des Kabels in die Hülle werden die Kabelteile ausserdem elastisch vorgespannt. Dadurch wird erreicht, dass sich die verlöteten Kabelteile unter der Wirkung elektromagnetischer Kräfte nur im Bereich dieser Vorspannung und nur elastisch verformen können und die in Wärme umgesetzte Verformungsenergie auf ein Minimum beschränkt bleibt.

Fig. 1

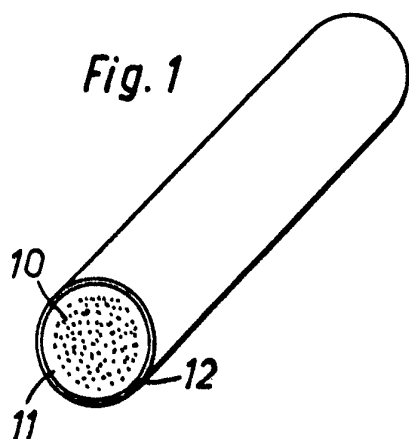


Fig. 2

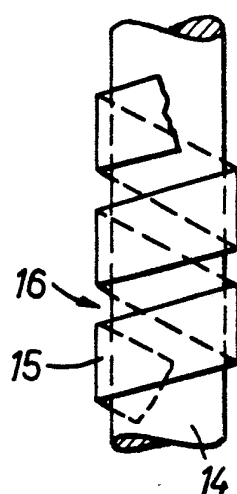


Fig. 3

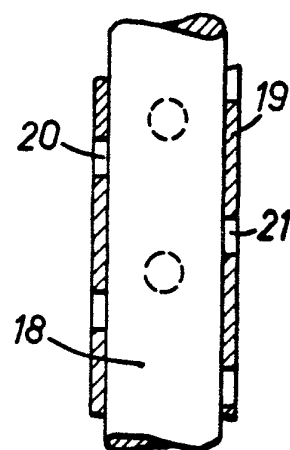
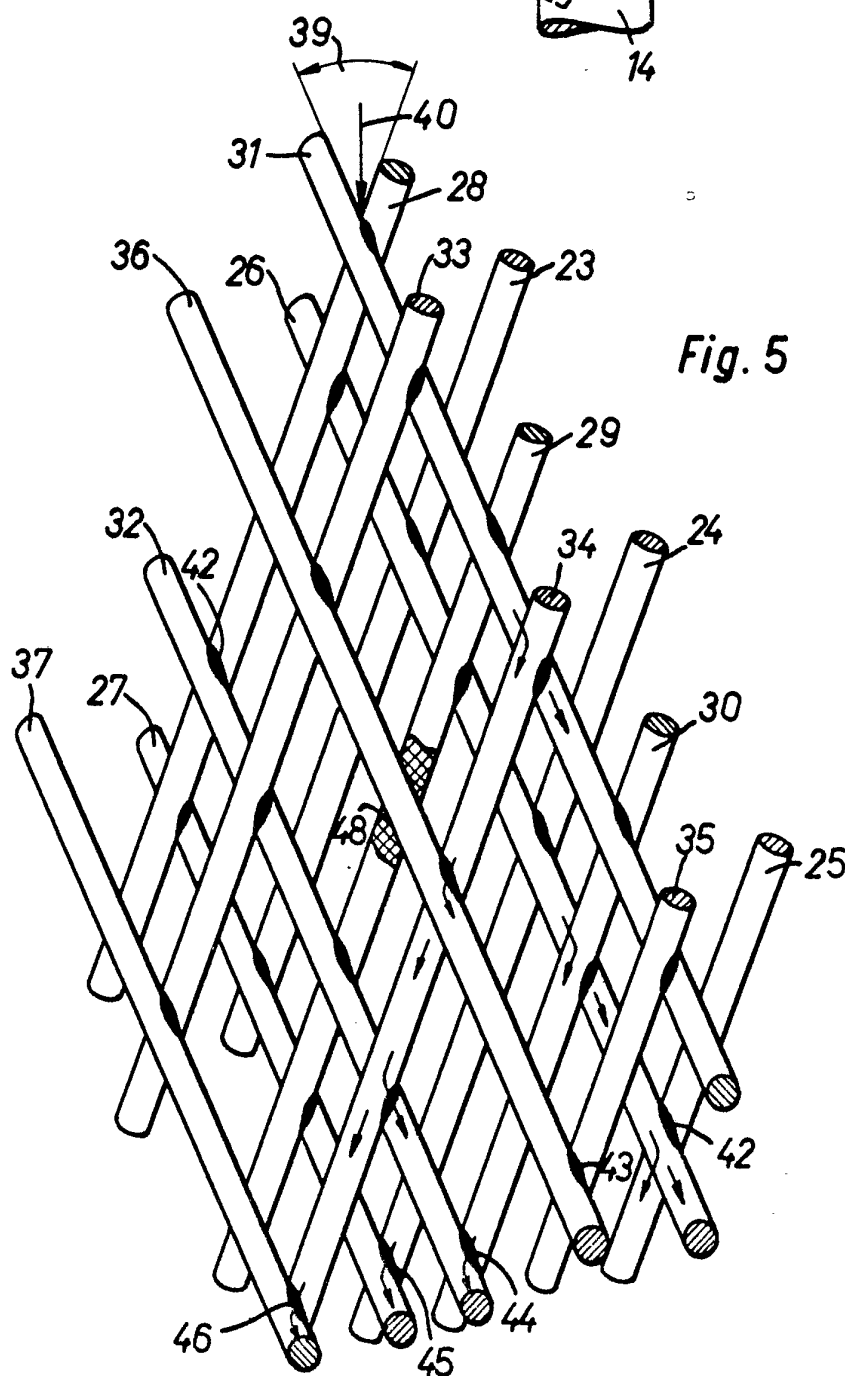


Fig. 5



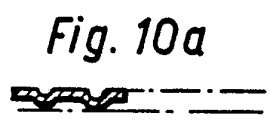
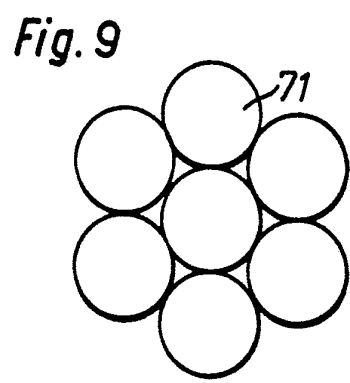
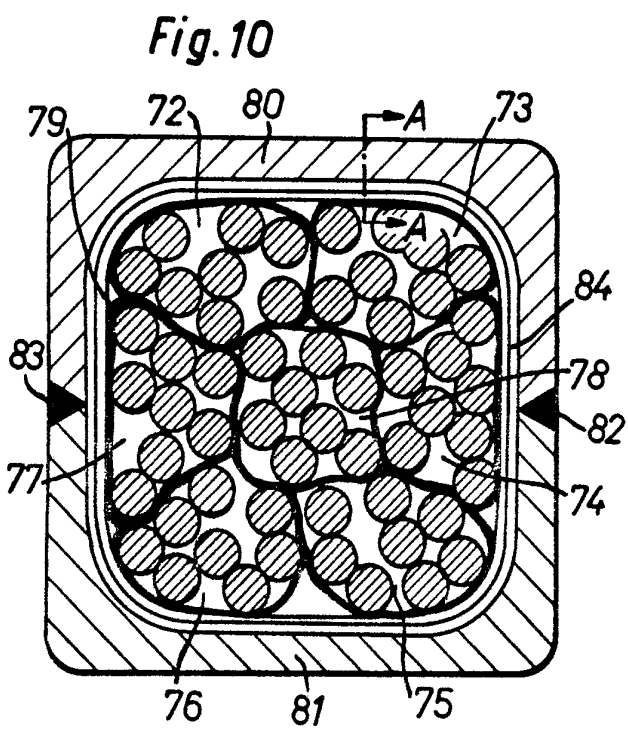
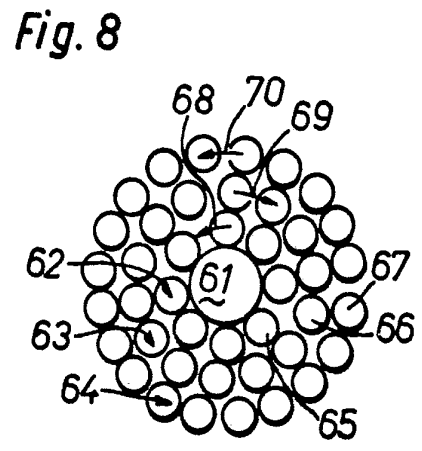
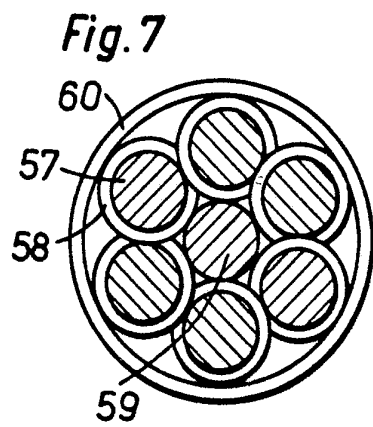
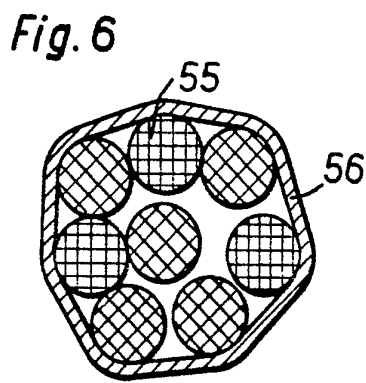
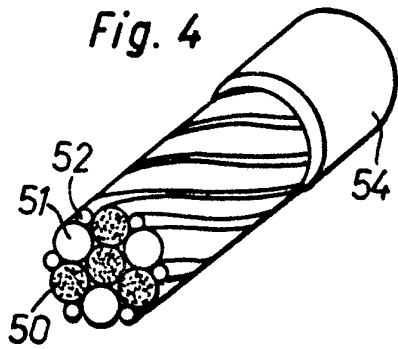


Fig. 11

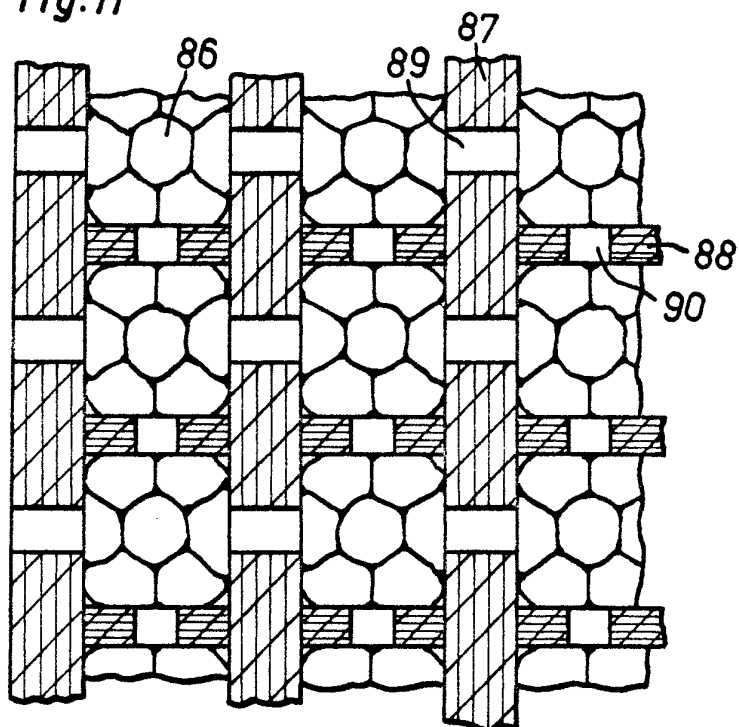


Fig. 12

