



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 043 525 A1** 2010.05.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 043 525.2**

(22) Anmeldetag: **06.11.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.05.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H05B 3/10** (2006.01)

H05B 3/34 (2006.01)

D04C 1/06 (2006.01)

B29C 70/88 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden
 e.V., 01069 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

Patentanwälte Rauschenbach, 01187 Dresden

(72) Erfinder:

**Orawetz, Holger, 01257 Dresden, DE; Reppe, Matti,
 01277 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE 42 14 636 A1

DE 10 2005 037829 A1

DE 10 2004 042422 A1

DE 100 34 508 A1

DE 697 03 972 T2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

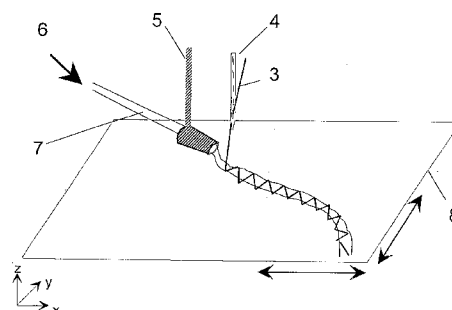
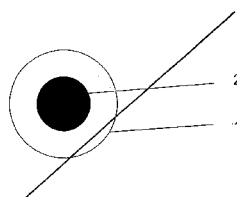
(54) Bezeichnung: **Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe und Verfahren zu seiner Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Hochleistungswerkstoffe und betrifft ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe, welches beispielsweise zur Formgebung von Faserverbundwerkstoffen oder zu deren Beheizung angewandt werden kann.

Aufgabe der vorliegenden Lösung ist es, ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe anzugeben, mit welchem elektrische Kurzschlüsse bei der Anwendung verhindert werden.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe, bestehend aus einem Trägermaterial und Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind, wobei die Rovings oder Kordeln beanspruchungsgerecht auf dem Trägermaterial aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert sind.

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren, bei dem Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben werden, danach diese Rovings oder Kordeln auf ein Trägermaterial beanspruchungsgerecht aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Hochleistungswerkstoffe und betrifft ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe, welches beispielsweise zur Formgebung von Faserverbundwerkstoffen oder zu deren Beheizung angewandt werden kann, sowie ein Verfahren zu seiner Herstellung.

[0002] Bei der Konstruktion von hochbelastbaren Bauteilen gewinnen Faserverbundwerkstoff immer mehr an Bedeutung. Sie bieten durch Auswahl und Orientierung der Verstärkungsfasern und der Kunststoffmatrix die Möglichkeit, die Faserverbundwerkstoffe an bauteilspezifische Belastungen anzupassen. Hieraus resultieren Gestaltungsmöglichkeiten, die bei konventionellen Werkstoffen nicht vorhanden sind. Durch die Orientierung der Verstärkungsfasern in Krafftflussrichtung werden einem Bauteil genau dort Festigkeit und Steifigkeit verliehen, wo sie benötigt wird. Um aus zweidimensionalen textilen Verstärkungsstrukturen z. B. Gewebe, multiaxiales Gelege, Gestricke oder TFP-Preforms (TFP = tailored fibre placement) dreidimensionale textile Strukturen zu erzeugen, werden beheizbare formgebende Werkzeuge benötigt. Dazu werden beheizbare Formwerkzeuge verwendet, auf die die Verstärkungsfasern aufgelegt und drapiert werden. Die in der textilen Verstärkungsstruktur integrierte thermoplastische Komponente in Form eines thermoplastischen Fadens oder eines thermoplastischen Pulvers werden bei Temperaturen von ca. $T = 100^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C}$ aktiviert und es erfolgt ein lokales „fügen der textilen Verstärkungsstrukturen oder der einzelnen Filamente“. Nach einer Abkühlphase können die dreidimensionalen thermoplastisch gebinderten textilen Verstärkungsstrukturen vom Werkzeug entnommen und in weiteren Fertigungsschritten verarbeitet werden. Das kann z. B. ein zusätzliches Fügen mit zusätzlichen textilen Verstärkungsstrukturen sein oder die Infiltration mit einem Matrixsystem.

[0003] Bekannt ist bereits, beheizbare Formwerkzeuge für die Herstellung von gebinderten 3D-Preforms bzw. für die Vernetzung eines Matrixsystems in einer Faserverbundstruktur einzusetzen. Derartige Formwerkstoffe bestehen in der Regel aus Aluminium oder Stahl.

[0004] Nachteilig dabei ist, dass einerseits hohe Fertigungskosten- und Heizkosten entstehen und andererseits ein deutlich unterschiedlicher thermischer Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen dem Material des Formwerkzeuges und dem des Faserverbundwerkstoffes besteht. Damit wird insbesondere die Entformung der Faserverbundwerkstoffe aus einem Formwerkzeug schwierig und/oder die Temperaturführung während des Aushärtens kann zu unerwünschten Kräfteinleitungen führen.

[0005] Ebenfalls erweist sich die Steuerung der Temperatur schwierig, insbesondere wenn unterschiedliche Temperaturen in unterschiedlichen Bereichen des zu erwärmenden Faserverbundwerkstoffes realisiert werden sollen.

[0006] Insgesamt gesehen ist die Herstellung von komplexen 3D Faserverbundbauteilen auf diesem bekannten Wege sehr kosten- und zeitintensiv.

[0007] Um diese Nachteile auszugleichen ist nach der DE 10 2004 042 422 A1 eine Lösung vorgeschlagen worden, bei der ein Formwerkzeug für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen eine Faserverbundstruktur mit einer Kunststoffmatrix aufweist, in die ein elektrisches Widerstandsheizelement, vorteilhafterweise ein Gewebe, Gelege und/oder Vlies aus Kohlenstofffasern oder -filamenten, eingebettet ist.

[0008] Weiterhin ist aus der DE 100 34 508 A1 ein Verfahren zur Herstellung eines endkonturnahen Formgebungswerkzeuges und danach hergestelltes Formgebungswerkzeug bekannt, bei dem die Oberfläche des Formgebungswerkzeuges durch einen separat erzeugten Schichtkörper gebildet ist, der mit einem Trägerwerkstoff des Formgebungswerkzeuges verbunden ist.

[0009] Aus der DE 697 03 972 T2 ist auch ein Verfahren zum Heizen einer Formwerkzeugmatritze bekannt. Dabei wird ein vorgeformtes Plattenheizelement, welches aus einer inneren Lage aus einem Gewebe aus elektrisch leitenden Fasern besteht, wobei die innere Lage in Glasfaser/Harz eingekapselt ist und an einer bestimmten Stelle und Tiefe von der Oberfläche der Formgebungsmatritze angeordnet wird.

[0010] Nachteilig bei den bekannten Lösungen ist, dass keine wirkliche beanspruchungsgerechte Anordnung der Heizelemente in oder um das Formgebungswerkzeug realisiert wird.

[0011] Weiterhin nachteilig ist beim Einsatz von Kohlenstofffasern als elektrisch leitende Fasern, dass bei der Herstellung des Heizelementes es zu Filamentbrüchen der Kohlenstofffasern kommt. Diese Filamente legen sich auf der Heizstruktur ab und verursachen beim Anlegen einer Spannung an die Heizstruktur elektrische Kurzschlüsse. Diese Kurzschlüsse quer zu den Heizleitern sind schwer zu beseitigen und verursachen Notspots, die eine lokale thermische Zerstörung der Matrix im Faserverbundbauteil zur Folge haben.

[0012] Weiterhin bekannt ist aus der DE 42 14 636 A1 ein Verstärkungsgebilde, welches aus Verstärkungsfäden in freier beanspruchungsgerechter Legung auf einer Trägerlage besteht, wobei die Verstär-

kungsfäden an die Trägerlage angestickt sind. Dabei können alle Varianten der Sticktechnik, wie Ein- und Zweifaden-Sticksysteme angewandt werden. Ebenso besteht freie Wählbarkeit hinsichtlich des Sticktypes, der Art und Weise der Fixierung und der Materialauswahl beim Stickfaden und bei der Trägerlage.

[0013] Aufgabe der vorliegenden Lösung ist es, ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe anzugeben, mit welchem elektrische Kurzschlüsse bei der Anwendung verhindert werden, bei gleichzeitiger lokal definierter Flächenheizleistung des Composit-Heizelementes und ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zu seiner Herstellung.

[0014] Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0015] Das erfindungsgemäße Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe besteht aus einem Trägermaterial und Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind, wobei die Rovings oder Kordeln beanspruchungsgerecht auf dem Trägermaterial aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert sind.

[0016] Vorteilhafterweise ist das Trägermaterial eine Kunststoffolie, ein textiles Flächengebilde, ein Gewebe, ein multiaxiales Gelege, ein elektrisch nichtleitendes Glasgewebe oder Papier.

[0017] Ebenfalls vorteilhafterweise ist das elektrisch nichtleitende Material, mit dem die elektrisch leitenden Rovings oder Kordeln umgeben sind, Glas und/oder Aramid, noch vorteilhafterweise ein Glas- und/oder Aramid-Faserverbund, welcher noch vorteilhafterweise ein Gewebe, Gewirk, Gestrick oder ein Flechtschlauch ist.

[0018] Weiterhin vorteilhafterweise bestehen die Nähfäden aus elektrisch nichtleitendem Material, noch vorteilhafterweise aus Polyester oder PEEK.

[0019] Und auch vorteilhafterweise ist das Trägermaterial mit den Rovings oder Kordeln ganz oder teilweise beschichtet oder umhüllt, wobei noch vorteilhafterweise das Trägermaterial mit den Rovings oder Kordeln mit gut wärmeleitenden Materialien beschichtet oder umhüllt ist.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Composit-Heizelementes für Faserverbundwerkstoffe werden Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben, danach werden diese Rovings oder Kordeln auf ein Trägermaterial beanspruchungsgerecht aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert.

[0021] Vorteilhafterweise werden die Rovings oder Kordeln mittels Sticktechnologie oder CNC gesteuerter Ablegemaschine auf dem Trägermaterial fixiert.

[0022] Ebenfalls vorteilhafterweise werden die Rovings oder Kordeln mit einem Glas- und/oder Aramid-Faserverbund umgeben, wobei noch vorteilhafterweise die Rovings oder Kordeln mit einem Flechtschlauch aus einem Glas- und/oder Aramid-Faserverbund umgeben werden.

[0023] Und auch vorteilhafterweise werden die Rovings oder Kordeln, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind, beanspruchungsgerecht auf ein Trägermaterial aufgelegt und mittels Sticktechnik fixiert.

[0024] Mit der erfindungsgemäßen Lösung wird es erstmals möglich, ein Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe anzugeben, welches lokal definierte Flächenheizleistungen aufweist und geometrisch angepasst werden kann, ohne dass fertigungsbedingte elektrische Kurzschlüsse durch Filamentbrüche der Kohlenstofffasern auftreten.

[0025] Dazu tragen im Wesentlichen die Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern bei, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material, vorteilhafterweise einem Flechtschlauch aus Glas- und/oder Aramid-Fasern umgeben sind und die dann erst beanspruchungsgerecht auf ein Trägermaterial gelegt und fixiert werden. Mit diesem beispielsweise Flechtschlauch wird verhindert, dass die Filamentbrüche der Kohlenstofffasern, die bei der Legung und Fertigung der Rovings oder Kordeln zwangsläufig entsteht und bisher zu elektrischen Kurzschlüssen in erheblichem Maße beigetragen hat, vollständig vermieden wird.

[0026] Unter einer Kordel oder Rundgeflecht wird dabei im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine auf einer Rundflechtmaschine erzeugtes rundes oder hohles oder mit einer Seele versehenes Geflecht, z. B. Kordel, Schnur oder Schlauch verstanden. Die Fäden oder Rovings laufen in Schraubenlinien in Längsrichtung und bestehen aus mehreren einzelnen zusammengedrehten Kohlenstoffrovings.

[0027] Durch die erfindungsgemäße Lösung werden einerseits elektrische Kurzschlüsse vermieden. Weiterhin können die Rovings oder Kordeln aufgrund der elektrischen Isolierung direkt neben oder auch übereinander angeordnet werden. Dadurch können stark zu erwärmende Bereiche mit einer höheren lokalen Flächenheizleistung durch deutlich dichter mit den Fäden oder Kordeln belegte Fläche realisiert werden, wodurch höhere lokale Flächenheizleistungen realisierbar sind.

[0028] Weiterhin ist durch die erfindungsgemäße

Lösung möglich, dass das erfindungsgemäße Composit-Heizelement direkt in den Faserverbundwerkstoff eingebracht wird und dann eine lokal definierte Erwärmung realisiert wird, sofern dort bei dem Einsatz des Faserverbundwerkstoffes auch eine Heizung gewünscht wird.

[0029] Kohlenstofffasern besitzen einen negativen Wärmeausdehnungskoeffizient, der bei Temperaturerhöhung im Faserverbundbauteil zu Thermospannungen führt. Diese Thermospannungen können zu ungewollten Verformungen des Faserverbundbauteiles oder auch zu Delaminationen führen. Durch den Einsatz einer Kohlenstofffaser-Kordel als Heizelement werden diese Thermospannungen reduziert oder ganz unterbunden, da bei einer Kordel aus Kohlenstoff-Rovingen die Kohlenstofffasern gedreht in einem Winkel zwischen 10°–45° zur Kordellängsrichtung und sich deshalb die Orientierung der Kohlenstofffaser in Längsrichtung regelmäßig ändern kann.

[0030] Weiterhin kann durch die lokal definierte Heizflächenleistung, die beispielsweise durch Variation des Abstandes der Heizleiter und lokale Geometrie-anpassung realisiert werden kann, speziell der Wärmeeintrag an den Umformstellen erfolgen, was eine schnellere und effektivere Umformung zur Folge hat.

[0031] Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

[0032] Dabei zeigen

[0033] [Fig. 1](#) den Querschnitt eines erfindungsgemäßen Fadens aus Kohlenstofffasern, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind,

[0034] [Fig. 2](#) einen mittels Sticktechnologie auf einem Trägermaterial befestigten Faden aus Kohlenstofffasern, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind,

[0035] [Fig. 3](#) Möglichkeiten für die beanspruchungsgerechte Anordnung der Rovings oder Kordeln auf dem Trägersubstrat.

Beispiel 1

[0036] Um eine Kohlenstofffaser-Kordel ([Fig. 1](#)) mit einer Texzahl von 6k befindet sich ein Flechtschlauch aus Glasfasern mit einer Texzahl von 12k. Diese ummantelte Kohlenstofffaser-Kordel wird als Endlosmaterial zur Fertigung des Composit-Heizelementes eingesetzt. Dabei wird die Sticktechnologie zur Fixierung der ummantelten Kohlenstofffaser-Kordel auf einem Trägermaterial aus elektrisch nichtleitenden Glasgewebe mit einer Flächenmasse von $m = 80 \text{ g/m}^2$ verwendet. Die Fixierung der Kohlenstofffa-

ser-Kordeln erfolgt mit Hilfe eines Stickprozesses unter Verwendung eines Nähfadens aus Polyester auf einer CNC gesteuerten Stickmaschine ([Fig. 2](#)). Dabei wird von einer Spule die ummantelte Kohlenstofffaser-Kordel zum Trägermaterial durch eine Rovingführung geführt und mittels des Nähfadens, der durch die Nadel geführt ist, wird die Kordel auf dem Trägermaterial fixiert. Aufgrund der Bewegungsfreiheit des Trägermaterials in x-y-Richtung, kann die Kordel in jeder beliebigen Position und Richtung fixiert werden. Im vorliegenden Fall wird die Kordel gemäß der Prinzipdarstellung in [Fig. 3](#), [Fig. 3.5](#) gelegt und fixiert.

[0037] Das so hergestellte Heizelement wird in ein Faserverbundwerkzeug integriert, um eine definierte Erwärmung des Faserverbundwerkzeuges zu realisieren. Das Faserverbundwerkzeug ist mit Hilfe eines negativen Mastermodells gefertigt worden. Dazu wurden die Decklagen aus Glasgewebe auf das Mastermodell aufgelegt. Auf diese Decklagen wurde das Heizelement fixiert. Anschließend erfolgte ein weiterer Lagenaufbau aus textilen Verstärkungsstrukturen. Nach der Komplettierung erfolgt eine einfache Harzinfiltration mit Hilfe einer Vakuuminfiltration. Das Heizelement hat einen elektrischen Widerstand von $R = 50 \text{ Ohm}$ und setzt bei Anschluss einer Versorgungsspannung von $U = 230 \text{ V}$ eine elektrische Leistung von $P = 1058 \text{ W}$ in Wärme um.

[0038] Das elektrisch beheizbare Faserverbundwerkzeug wird zur Rinderaktivierung und zur Formgebung von textilen Preforms für komplexe 3D-Preforms eingesetzt. Dazu werden auf das kalte elektrisch beheizbare Formwerkzeug 2D-Preforms aufgelegt dreidimensional drapiert und positioniert. Die Fixierung der drapierten Preforms erfolgt durch einen permanent verwendbaren Vakuumaufbau. Nach der Fixierung durch den Vakuumaufbau ist eine elektrische Erwärmung des Faserverbundbauteil auf eine Temperatur von $T = 120^\circ\text{C}$ zur Aktivierung des thermoplastischen Binders notwendig. Nach einer Aufheizzeit von $t = 10 \text{ min}$ und einer Haltezeit erfolgt die Abkühlung des elektrisch beheizbaren Faserverbundwerkzeuges. Durch den aktivierten thermoplastischen Binder in den Preforms behält die Preform ihre 3D-Form nach dem Entfernen vom Faserverbundwerkzeug bei. Diese Preform kann mit anderen Preforms weiter komplettiert werden, oder mit einem Harzinfiltrationsverfahren konsolidiert werden.

[0039] Elektrische Kurzschlüsse zwischen den ummantelten Kordeln des Heizelementes sind nicht aufgetreten.

Bezugszeichenliste

- | | |
|---|---|
| 1 | Kordel aus Kohlenstofffasern |
| 2 | Schlauch aus einem elektrisch nichtleitenden Material |
| 3 | Nähfaden |

- 4 Nähnadel
- 5 Kordelführung
- 6 Kordel aus Kohlenstofffasern
- 7 Umhüllte Kordel
- 8 Trägermaterial

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004042422 A1 [0007]
- DE 10034508 A1 [0008]
- DE 69703972 T2 [0009]
- DE 4214636 A1 [0012]

Patentansprüche

1. Composit-Heizelement für Faserverbundwerkstoffe, bestehend aus einem Trägermaterial und Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind, wobei die Rovings oder Kordeln beanspruchungsgerecht auf dem Trägermaterial aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert sind.

2. Composit-Heizelement nach Anspruch 1, bei dem das Trägermaterial eine Kunststoffolie, ein textiles Flächengebilde, ein Gewebe, ein multiaxiales Gelege, ein elektrisch nichtleitendes Glasgewebe oder Papier ist.

3. Composit-Heizelement nach Anspruch 1, bei dem das elektrisch nichtleitende Material, mit dem die elektrisch leitenden Rovings oder Kordeln umgeben sind, Glas und/oder Aramid ist.

4. Composit-Heizelement nach Anspruch 3, bei dem das elektrisch nichtleitende Material ein Glas- und/oder Aramid-Faserverbund ist.

5. Composit-Heizelement nach Anspruch 4, bei dem der Glas- und/oder Aramid-Faserverbund ein Gewebe, Gewirk, Gestrick oder ein Flechtschlauch ist.

6. Composit-Heizelement nach Anspruch 1, bei dem die Nähfäden aus elektrisch nichtleitendem Material bestehen.

7. Composit-Heizelement nach Anspruch 6, bei dem die Nähfäden aus Polyester oder PEEK bestehen.

8. Composit-Heizelement nach Anspruch 1, bei dem das Trägermaterial mit den Rovings oder Kordeln ganz oder teilweise beschichtet oder umhüllt ist.

9. Composit-Heizelement nach Anspruch 8, bei dem das Trägermaterial mit den Rovings oder Kordeln mit gut wärmeleitenden Materialien beschichtet oder umhüllt ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines Composit-Heizelementes für Faserverbundwerkstoffe, bei dem Rovings oder Kordeln aus Kohlenstofffasern mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben werden, danach diese Rovings oder Kordeln auf ein Trägermaterial beanspruchungsgerecht aufgelegt und mittels einer textilen Technologie auf dem Trägermaterial fixiert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Rovings oder Kordeln mittels Sticktechnologie oder CNC gesteuerter Ablegemaschine auf dem Träger-

material fixiert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Rovings oder Kordeln mit einem Glas- und/oder Aramid-Faserverbund umgeben werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die Rovings oder Kordeln mit einem Flechtschlauch aus einem Glas- und/oder Aramid-Faserverbund umgeben werden.

14. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Rovings oder Kordeln, die mit einem elektrisch nichtleitenden Material umgeben sind, beanspruchungsgerecht auf ein Trägermaterial aufgelegt und mittels Sticktechnik fixiert werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

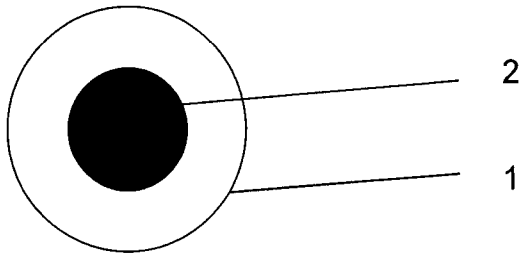


Fig. 1

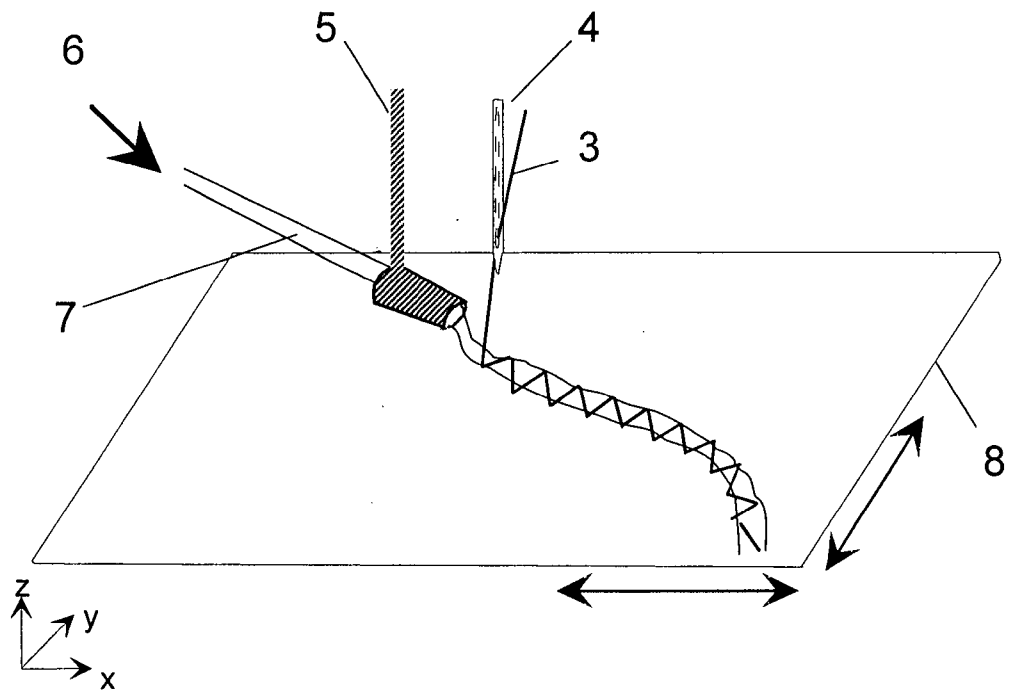


Fig. 2

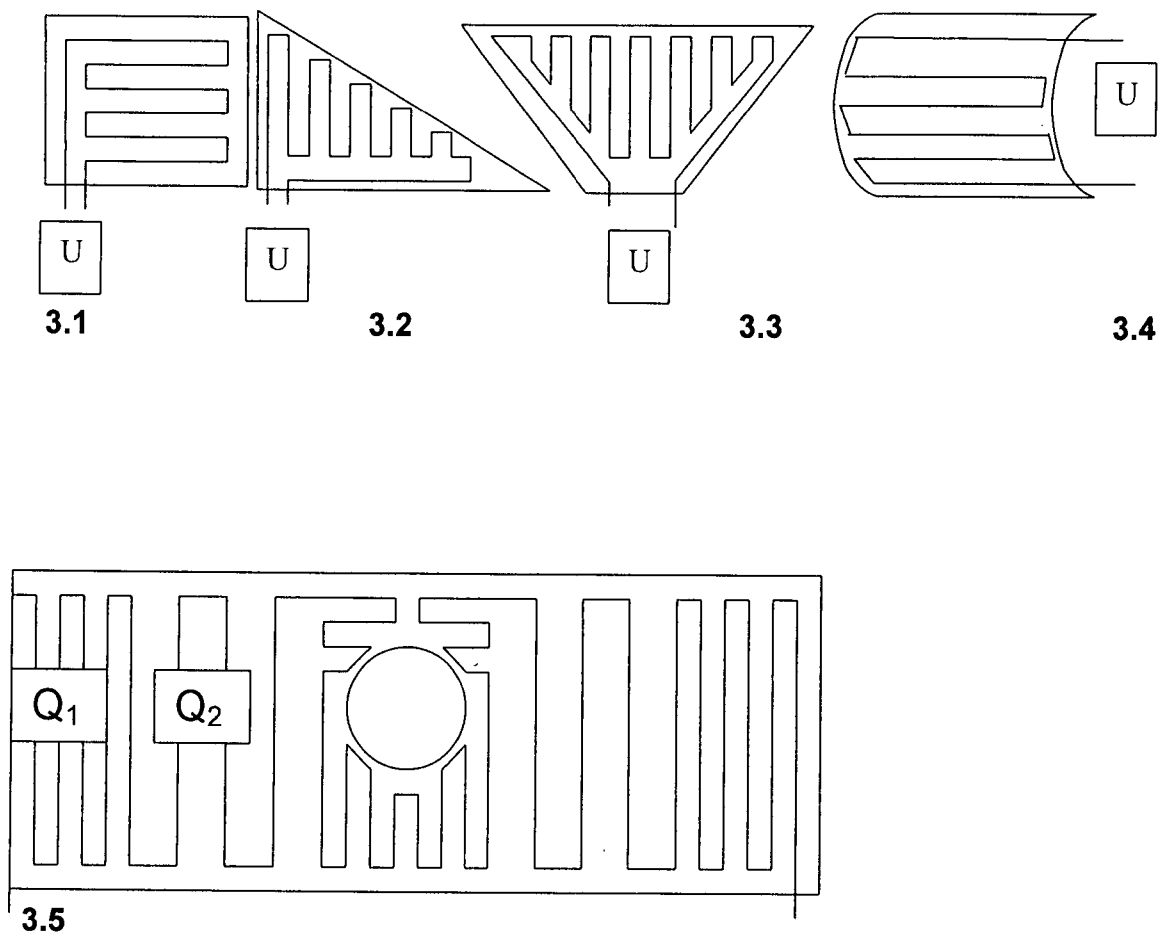


Fig. 3