

(19)



(11)

**EP 3 554 730 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**20.09.2023 Patentblatt 2023/38**

(21) Anmeldenummer: **17835609.3**

(22) Anmeldetag: **13.12.2017**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**B21D 11/08** <sup>(2006.01)</sup>

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**B21D 11/08**

(86) Internationale Anmeldenummer:

**PCT/EP2017/082648**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

**WO 2018/109017 (21.06.2018 Gazette 2018/25)**

(54) **VERFAHREN ZUR BIEGEUMFORMUNG VON STRANGPROFILEN**

METHOD FOR BENDING EXTRUDED PROFILED ELEMENTS

PROCÉDÉ DE CINTRAGE DE PROFILÉS EXTRUDÉS

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **13.12.2016 DE 102016224837**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**23.10.2019 Patentblatt 2019/43**

(73) Patentinhaber: **Fraunhofer-Gesellschaft zur  
Förderung**

**der angewandten Forschung e.V.  
80686 München (DE)**

(72) Erfinder: **WERNER, Markus**

**09126 Chemnitz (DE)**

(74) Vertreter: **Grünecker Patent- und Rechtsanwälte  
PartG mbB**

**Leopoldstraße 4  
80802 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**WO-A1-2005/070580 WO-A1-2011/094552**

**WO-A1-2016/175179 US-A- 3 623 349**

**US-A- 4 322 879**

**EP 3 554 730 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Biegeumformung von Strangprofilen, und insbesondere ein Verfahren zur Herstellung einer elektrotechnischen Spule durch Biegeumformung von Strangprofilen nach diesem Verfahren.

**[0002]** Das durch die vorliegende Erfindung zu lösende, technische Problem ist die Querschnittsänderung bzw. -deformation beim Biegen von Strangprofilen, insbesondere beim Hochkantbiegen von Flachprofilen mit engen Radien. Dies betrifft das Hochkantbiegen von Einzelbögen zwischen abschnittsweisen geraden Profilabschnitten wie auch das kontinuierliche Biegen, hier Hochkantwickeln genannt, von Endlosprofilen. Die zu biegenden Profile werden im Rahmen dieser Erfindung als Strangprofile bezeichnet.

**[0003]** Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit elektrischer Maschinen, wie Generatoren, Elektromotoren, und anderer Leistungskomponenten, wie Transformatoren und Drosseln, werden zunehmend Spulen aus Runddraht durch Spulen aus Rechteckdraht bzw. aus Drähten mit angepassten Querschnitten ersetzt. Hierdurch lässt sich der Füllfaktor von paketierten Runddrähten von ca. 55% auf eine Größenordnung von 90% erhöhen. Zusätzlich wird der Zwischenraum, der sonst mit Luft gefüllt ist, vermieden. Dadurch wird die Wärmeableitung erhöht, was eine bessere Entwärmung der Leistungsabschnitte der Spulen zur Folge hat und zur Steigerung der Performance genutzt werden kann.

**[0004]** Beim Hochkantbiegen bzw. Hochkantwickeln von Strangprofilen ändert sich deren Profilquerschnitt in einem gebogenen Profilabschnitt nachteilig, insbesondere bei engen Biegeradien und hohen Verhältnissen von Profilbreite zu -höhe. Im Allgemeinen wird dabei der Außenbogen an der Biegeaußenseite des Strangprofils durch die Streckung ausgedünnt, wohingegen der Innenbogen an der Biegeinnenseite des Strangprofils gestaucht wird und somit aufdickt. Die Querschnittsänderung führt dazu, dass bei der Herstellung einer elektrotechnischen Spule durch Hochkantbiegen oder -wickeln eines flachen Strangprofils die Stapelhöhe des Paketes - und damit der notwendige Bauraum - wächst. Wesentlich nachteiliger ist aber der Verlust des großflächigen Kontakts zwischen benachbarten Windungen zur Wärmeabfuhr. In Figur 1 sind die Änderungen der Querschnittsform und der Stapelhöhe je Windung des Strangprofils durch Ansichten vor (Q, H) und nach (Q', H') der Biegeverformung dargestellt, wobei der Flächenkontakt zwischen den Einzelwindungen auf einen Linienkontakt am Innenbogen verringert ist.

**[0005]** Ein weiteres technisches Problem gleicher Natur betrifft die Fertigung von schmalen Blechpaketen aus Bandmaterial, wie schematisch in Figur 2 dargestellt ist. Durch einfaches Wickeln oder Krümmen dünnt der Außenbogen aus und es treten Abweichungen von der ideal rechteckigen Querschnittsform auf. Beim Stapeln solcher Einzelwindungen mit abweichender Querschnitts-

form (Q') und Fügen auf einen Läufer (L) verschieben sich diese, bzw. können nicht wie gewünscht angeordnet werden.

**[0006]** Bisher wurde die Änderung des Querschnitts bei gewundenen Blechpaketen in Kauf genommen bzw. gezielt eingestellt, wie aus DE 1 037 574 B, DE 270 52 06 A1, DE 103 58 693 A1, US 2,845,555 A und US 3,708,706 A ersichtlich ist. Ähnliches gilt ebenfalls für Formspulen aus Leitermaterial.

**[0007]** Bei gewickelten Spulen wird in der Regel ebenso die Änderung des Querschnitts beim Hochkantbiegen in Kauf genommen. Zur Stabilisierung der Eckenbereiche werden mitunter Stützscheiben, wie in EP 2 301 050 B1, eingesetzt. Dadurch wird ein Ausbeulen verhindert und auch die Aufdickung am Innenbogen verringert. Dennoch ändert sich der Flachleiterquerschnitt lokal von ideal rechteckig zu trapezförmig.

**[0008]** Durch Pressen des Bereiches mit Querschnittsänderungen lässt sich die Überhöhung am Innenbogen platt drücken, so dass der Nachteil der Erhöhung der Stapelung vermieden wird. Dies ist aber aufwendig und führt zu inhomogenen Querschnitten entlang des Strangprofils.

**[0009]** Ein weiterer Ansatz zur Vermeidung der Überhöhung am Innenbogen besteht in der Überlagerung des Hochkantbiegens mit axialen Zugspannungen, wie in Figuren 3 und 4 anhand eines Strangprofils (1) mit verschiedenen Abschnitten (1a, 1b, 1c) schematisch dargestellt ist. Durch ein mit axialen Zugspannungen überlagertes Hochkantbiegen (in Abschnitt 1b) gelingt es, die neutrale Biegefaser aus der mittigen Lage (NF') zum Innenbogen hin zu verlagern (NF''), sodass die Aufdickung des Innenbogens in der biegeverformten Querschnittsform (Q') im Vergleich zu dem reinen Hochkantbiegen (Q'') reduziert werden kann. Jedoch dünnt der Außenbogen umso stärker aus. Hierdurch vermeidet man die Vergrößerung der Stapelhöhe. Der geringe Flächenkontakt zur Wärmeabfuhr bleibt aufgrund der veränderten und von der idealen Rechteckform abweichenden Querschnittsform (Q'; Q'') aber als kritischer Nachteil bestehen.

**[0010]** Ein Verfahren zur Biegeumformung von Strangprofilen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist in der WO 2016/175179 A1 offenbart.

**[0011]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Biegeverformung von Strangprofilen unter Vermeidung der aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile bereitzustellen, um ein biegeverformtes Strangprofil mit näherungsweise konstantem Querschnitt und minimierter Stapelhöhe möglichst einfach und kostengünstig herzustellen.

**[0012]** Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung das Verfahren zur Biegeumformung von Strangprofilen nach Anspruch 1 bereit

**[0013]** Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der unvermeidlichen Querschnittsänderung des Strangprofils dadurch entgegengewirkt, dass eine komplementär angepasste Querschnittsform in dem zu biegenden

Profilabschnitt vorgehalten wird.

**[0014]** Erfindungsgemäß ist der Flächenschwerpunkt der Querschnittsform des Strangprofils in dem zu biegenden Profilabschnitt bezüglich der Profilachse versetzt. Das bedeutet, dass der Flächenschwerpunkt der Querschnittsform in dem zu biegenden Profilabschnitt nicht mit der Profilachse zusammenfällt, weil das Material vor der Biegeumformung bezüglich der Profilachse ungleichmäßig angeordnet ist und sich überwiegend in der Hälfte der designierten Biegeaußenseite befindet.

**[0015]** Bei der Biegeverformung wird das Strangprofil an der Biegeinnenseite (Innenbogen) gestaucht und an der Biegeaußenseite (Außenbogen) ausgedünnt, so dass der Flächenschwerpunkt in Richtung der Biegeinnenseite wandert. Nach der erfolgten Biegeverformung fällt der Flächenschwerpunkt der Querschnittsform des Strangprofils im Profilabschnitt im Idealfall mit der Profilachse des Strangprofils zusammen.

Begriffe und Definitionen

Querschnittsform

**[0016]** Die Querschnittsform des Strangprofils bezieht sich im Rahmen dieser Erfindungsbeschreibung auf einen Querschnitt senkrecht zur Profilachse des Strangprofils, sofern es nicht explizit anders angegeben ist.

Strangprofil, Flachprofil, Profilachse

**[0017]** Der Begriff Strangprofil soll alle Profile erfassen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitet werden können und einer Biegeumformung unterzogen werden können, also insbesondere Endlosprofile und Bandmaterialien, etc.. Das Strangprofil erstreckt sich entlang einer Profilachse und besteht vorzugsweise aus homogenem Material, beispielsweise einem elektrisch leitenden Werkstoff wie Metall, insbesondere Kupfer, Aluminium, Eisen, Silber oder einer Legierung daraus. Das Strangprofil wird vorzugsweise durch Strangpressen (oder Extrusion im Falle eines Strangprofils aus Kunststoff) hergestellt, bspw. mit einem entlang der Profilachse konstanten Querschnitt. In Vorbereitung einer sequenziellen Biegeumformung können lokale Querschnittsänderungen vorgenommen werden, beispielsweise durch lokalen Materialauftrag und/oder Materialabtrag.

**[0018]** Das Verhältnis der Abmessung der Querschnittsform in der Biegeebene zu der Abmessung der Querschnittsform senkrecht zu der Biegeebene ist vor und/oder nach der Biegeverformung vorzugsweise größer als 1 und beträgt bevorzugt wenigstens 2, 3, 4, 5 oder mehr.

**[0019]** Bei einem Flachprofil ist die Profilbreite (Abmessung der Querschnittsform in der Biegeebene) vor und/oder nach der Biegeverformung größer als die Profilhöhe (Abmessung der Querschnittsform senkrecht zur Biegeebene).

**[0020]** Die Profilachse entspricht vorzugsweise dem Mittelpunkt der maximalen Außenabmessungen der Querschnittsform bzw. dem Mittelpunkt des kleinsten Rechtecks, in welches die Querschnittsform des Strangprofils hineinpasst. Bei einer rechteckigen Querschnittsform des Strangprofils im Profilabschnitt fällt der Flächenschwerpunkt mit der Profilachse zusammen. Bei einer dreieckigen oder trapezförmigen Querschnittsform des Strangprofils im Profilabschnitt ist der Flächenschwerpunkt bezüglich der Profilachse jeweils in Richtung der breiteren Seite der Querschnittsform versetzt.

Flächenschwerpunkt

**[0021]** Der Flächenschwerpunkt der Querschnittsform des Strangprofils ist der geometrische Schwerpunkt dieser Querschnittsform. Mathematisch entspricht dies der Mittelung aller Punkte innerhalb der Querschnittsform. Den Flächenschwerpunkt kann man in einfachen Fällen durch geometrische Überlegungen erhalten, oder allgemein mit Mitteln der Mathematik durch Integration berechnen. Zur Beschreibung der Körper werden die Methoden der analytischen Geometrie verwendet.

**[0022]** Designierter Biegeabschnitt bzw. zu biegender Profilabschnitt

**[0022]** Der designierte Biegeabschnitt bzw. der zu biegende Profilabschnitt ist derjenige Abschnitt des Strangprofils, in dem bestimmungsgemäß eine Biegeverformung erfolgen wird, bevor die Biegung erfolgt ist.

**[0023]** Die designierte Biegeaußenseite ist diejenige Seite des Strangprofils, die nach der bestimmungsgemäßen Biegeverformung des Strangprofils den Außenbogen der Biegung beschreibt, jedoch bevor die Biegeverformung erfolgt ist. Die Biegeaußenseite ist von dem Krümmungsmittelpunkt der Biegeverformung abgewandt.

**[0024]** Die designierte Biegeinnenseite ist diejenige Seite des Strangprofils, die nach der bestimmungsgemäßen Biegeverformung des Strangprofils den Innenbogen der Biegung beschreibt, jedoch bevor die Biegeverformung erfolgt ist. Die Biegeinnenseite ist dem Krümmungsmittelpunkt der Biegeverformung zugewandt.

**[0025]** Die Biegeebene ist die Ebene, in welcher die Profilachse des Strangprofils nach erfolgter Biegeverformung liegt.

Hochkantbiegung, Hochkantwicklung

**[0026]** Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere die Biegung eines Strangprofils in Einzelbögen (Hochkantbiegung) oder mit kontinuierlichem Biegeradius (Hochkantwicklung) um die Seite des Strangprofils mit kürzerer Abmessung. Die Abmessung/Erstreckung der Querschnittsform in bzw. entlang der Biegeebene ist vorzugsweise größer als die Abmessung/Erstreckung der Querschnittsform senkrecht zur Biegeebene.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstände der Unteransprüche

**[0027]** Es kann von Vorteil sein, wenn die Querschnittsform des in Schritt A bereitgestellten Strangprofils in dem Profilabschnitt verjüngt ist, vorzugsweise stetig und/oder linear verjüngt ist, wobei diese Querschnittsform bevorzugt symmetrisch ist und/oder trapezförmig ist. Eine derartige Querschnittsform ist vergleichsweise einfach zu bearbeiten, sodass sich nach der Biegeumformung eine symmetrische und gleichmäßige Querschnittsform des Strangprofils ergibt.

**[0028]** Es kann sich als hilfreich erweisen, wenn die Fläche der Querschnittsform des Strangprofils in dem Profilabschnitt in Schritt B verringert wird, wobei vorzugsweise das Verhältnis der Abmessung dieser Querschnittsform in der Biegeebene zur Abmessung dieser Querschnittsform senkrecht zu der Biegeebene ansteigt, wobei bevorzugt die Abmessung dieser Querschnittsform in der Biegeebene konstant bleibt und/oder die Abmessung dieser Querschnittsform senkrecht zu der Biegeebene verringert wird, wobei besonders bevorzugt die Hauptachse dieser Querschnittsform (d.h. die größte Abmessung der Querschnittsform) vor und/oder nach der Biegeumformung in der Biegeebene verläuft. Dadurch können insbesondere beim Hochkantwickeln und -biegen von Endlosprofilen eine besonders geringe Stapelhöhe und ein hoher Nutzfüllfaktor erreicht werden.

**[0029]** Es kann nützlich sein, wenn die Querschnittsform des Strangprofils in dem Profilabschnitt in Schritt B derart verändert wird, dass sich zwei Seiten davon nach Schritt B exakt oder im Wesentlichen parallel zueinander und/oder exakt oder im Wesentlichen parallel zur Biegeebene erstrecken, wobei diese Querschnittsform nach Schritt B vorzugsweise rechteckig ist und/oder symmetrisch zur Biegeebene ist, wobei bevorzugt vor und/oder nach Schritt B die Abmessung dieser Querschnittsform in der Biegeebene größer ist als senkrecht zur Biegeebene. In dieser Ausführung lässt sich das Strangprofil in mehreren Windungen besonders kompakt anordnen.

**[0030]** Es kann aber auch sinnvoll sein, wenn die Querschnittsform des in Schritt A bereitgestellten Strangprofils in dem Profilabschnitt durch Materialauftrag und/oder Materialabtrag hergestellt wird, vorzugsweise ausgehend von einem Strangprofil mit einer entlang seiner Profilachse konstanten Querschnittsform. Dadurch lassen sich Strangprofile herstellen, die insbesondere für das Hochkantbiegen geeignet sind, wobei sich durch die Biegeverformung Wicklungen mit abwechselnd gebogenen und geraden Profilabschnitten darstellen lassen, wobei beispielsweise abwechselnd um 90° gebogene Einzelbögen und geraden Profilabschnitte aufeinander folgen.

**[0031]** Erfindungsgemäß ist der Profilabschnitt zwischen zwei entlang der Profilachse benachbarten Nachbarabschnitten angeordnet, wobei die Querschnittsform des Strangprofils im Profilabschnitt in Schritt B exakt oder im Wesentlichen an die Querschnittsform des Strangprofils in den angrenzenden Nachbarabschnitten angeglichen

wird, wobei die Querschnittsform des Strangprofils in den an den Profilabschnitt angrenzenden Nachbarabschnitten vor und/oder nach Schritt B vorzugsweise rechteckig ist. Auch dieses Merkmal begünstigt die Herstellung von Strangprofilen für das Hochkantbiegen zur Erzeugung von Wicklungen mit abwechselnd gebogenen und geraden Profilabschnitten.

**[0032]** Es kann von Vorteil sein, wenn bei dem in Schritt A bereitgestellten Strangprofil der Versatz des Flächenschwerpunkts der Querschnittsform bezüglich der Profilachse im Verlauf entlang der Profilachse zwischen den an den Profilabschnitt angrenzenden Nachbarabschnitten über den gesamten Profilabschnitt oder wenigstens einen Teil des Profilabschnitts einheitlich ist, wobei der Versatz vorzugsweise ausgehend von einem der angrenzenden Nachbarabschnitte zunimmt und hinführend zu dem anderen der angrenzenden Nachbarabschnitte abnimmt. Insbesondere bei der Herstellung von Einzelbögen zwischen zwei geraden Profilabschnitten ist die durch Biegeverformung verursachte Querschnittsänderung des Strangprofils nicht über den gesamten Profilabschnitt einheitlich. Die Querschnittsänderung ist am Scheitelpunkt der Biegung am größten und an den Randbereichen des Profilabschnitts, jeweils angrenzend an den benachbarten Nachbarabschnitt, am kleinsten. Durch den angepassten Versatz des Flächenschwerpunkts der Querschnittsform des Strangprofils im Profilabschnitt, bei welchem der Versatz ausgehend von einem der angrenzenden Nachbarabschnitte zunimmt und hinführend zu dem anderen der angrenzenden Nachbarabschnitte abnimmt, kann über den gesamten Profilabschnitt nach der Biegeverformung eine weitgehend einheitliche Querschnittsform erzeugt werden.

**[0033]** Es kann sich als vorteilhaft erweisen, wenn das in Schritt A bereitgestellte Strangprofil vorzugsweise im Strangpressverfahren mit einer Querschnittsform hergestellt wird, welche spiegelsymmetrisch bezüglich zweier senkrecht aufeinander stehender Ebenen ist, vorzugsweise in der Form zweier spiegelsymmetrischer Trapeze, die entlang ihrer kürzeren oder längeren parallelen Seiten miteinander verbunden sind, wobei das Strangprofil bevorzugt nachträglich entlang einer Symmetrieebene getrennt wird, um in wenigstens einem Profilabschnitt die in Schritt A spezifizierte Querschnittsform aufzuweisen. Dieses Merkmal erleichtert die Herstellung trapezförmiger Strangprofile. Verbunden mit dem Hochkantwickeln besteht ein technisches Problem in der Herstellung von Profilen (Bändern) mit schlanken trapezförmigen Querschnitten durch Walzverfahren. Erfindungsgemäß wird das gelöst, indem die Einzelprofile als Doppel- oder Mehrfachprofile, insbesondere als Doppel- oder Mehrfachtrapezprofile, gefertigt und nachträglich getrennt werden.

**[0034]** Es kann sich als nützlich erweisen, wenn der Biegeradius der Biegeumformung in Schritt B im Profilabschnitt im Bereich von 0 bis 500%, vorzugsweise 0 bis 200%, bevorzugt 0 bis 100% der Abmessung der Querschnittsform in der Biegeebene beträgt. Bei derartigen

Biegeradien kommen die vorteilhaften Wirkungen der beanspruchten Erfindung besonders vorteilhaft zur Geltung.

**[0035]** Es kann aber auch hilfreich sein, wenn die in Schritt B ausgeführte Biegeumformung des Strangprofils im Profilabschnitt durch Walzen erfolgt. Durch Walzen lassen sich über den Biegebereich besonders einheitliche Querschnittsformen erzielen.

**[0036]** Es kann sich als praktisch erweisen, wenn die Profilachse des Strangprofils vor Schritt B eine Gerade und/oder nach Schritt B eine Wicklung mit wenigstens einer Windung bildet.

**[0037]** Es kann aber auch sinnvoll sein, wenn der Profilabschnitt in Schritt B über die kürzeste Seite seiner Querschnittsform gebogen wird. Bei der sog. Hochkantbiegung/-wicklung kommen die vorteilhaften Wirkungen der beanspruchten Erfindung besonders deutlich zum Vorschein.

**[0038]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer elektrotechnischen Spule unter Biegeverformung eines elektrisch leitenden Strangprofils nach dem Verfahren gemäß einer der vorangehenden Ausführungen, sodass das Strangprofil vorzugsweise eine entlang der Profilachse einheitliche Querschnittsform und/oder einen entlang der Profilachse einheitlichen Biegeradius oder abwechselnd gerade und gebogene Abschnitte aufweist, wobei sich die Windungen des Strangprofils bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur Biegeebene flächig kontaktieren. Im Falle abwechselnd gerader und gebogener Abschnitte beträgt der Biegewinkel der Biegeumformung in Schritt B pro Biegung bei  $n$  Biegungen pro Windung  $360^\circ/n$ , d.h.  $90^\circ$  bei vier Biegungen pro Windung,  $60^\circ$  bei sechs Biegungen pro Windung, usw.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

#### [0039]

Figur 1 zeigt schematisch die Änderung eines rechteckigen Querschnittes eines herkömmlichen Strangprofils aufgrund der Biegeumformung beim Hochkantbiegen und -wickeln gemäß STAND DER TECHNIK, und die damit verursachte Verringerung des Flächenkontakts der Einzelwindungen sowie die theoretische Erhöhung des Stapels pro Windung durch Änderung der Höhe des Querschnittes vor (H) und nach (H') der Biegung, die sich mit der Anzahl der Windungen multipliziert, wobei der Querschnitt (Q) des herkömmlichen Strangprofils vor der Biegeumformung im Umriss in gestrichelter Linie dargestellt ist und der Querschnitt (Q') des herkömmlichen Strangprofils nach der Biegeumformung in durchgehender Linie und schraffiert dargestellt ist.

Figur 2 zeigt den real auftretenden Stapelfehler beim

Fügen der Wicklung des herkömmlichen Strangprofils mit biegeverformten Querschnitt (Q') gemäß STAND DER TECHNIK aus Fig. 1 auf einen Läufer (L).

Figur 3

zeigt schematisch ein gerades Strangprofil (1) gemäß STAND DER TECHNIK mit rechteckigem Querschnitt, umfassend einen Profilabschnitt (1b) und zwei entlang der Profilachse angrenzende Nachbarabschnitte (1a, 1c), in der Draufsicht von oben, d.h. senkrecht zu einer designierten Biegeebene.

Figur 4

zeigt schematisch eine Draufsicht auf ein gebogenes Profil (1') gemäß STAND DER TECHNIK mit rechteckigen Querschnitten in den geraden Nachbarabschnitten (1a, 1c) und deformiertem, trapezförmigen Querschnitt (Q', Q'') im dazwischen liegenden Profilabschnitt (1b), wobei sich die Querschnittsform im Profilabschnitt (1b) je nach Biegung ohne (Q') und mit überlagerter Zugspannung (Q') und den daraus resultierenden neutralen Fasern (3a, 3b) unterscheidet.

Figur 5

zeigt in Ansicht (a) eine perspektivische und schematische Darstellung eines geraden Abschnitts eines Strangprofils (1) mit einem Profilabschnitt (2) zwischen zwei entlang der Profilachse benachbarten Nachbarabschnitten (3), wobei die Querschnittsform des Strangprofils (1) in dem Profilabschnitt (2) trapezförmig ist und sich von der designierten Biegeaußenseite (BA) zur designierten Biegeinnenseite (BI) kontinuierlich und stetig verjüngt; und in Ansicht (b) eine perspektivische und schematische Darstellung eines um  $90^\circ$  gebogenen Abschnitts eines Strangprofils (1) mit durchgehend einheitlichem Rechteckquerschnitt nach Biegeverformung in dem Profilabschnitt (2), wobei die Biegeebene die Hauptachse der Querschnittsform des Strangprofils (1) vor und nach der Biegung einschließt, wobei die Querschnittsform des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2) nach der erfolgten Biegung an die Querschnittsform des Strangprofils (1) in den benachbarten Nachbarabschnitten (3) angeglichen und ebenfalls rechteckig ist.

Figur 6

zeigt schematisch Prozessketten zur Herstellung von Mehrfach-Strangprofilen bzw. Formbändern (P2a, P2b) durch Walzen von Bändern (P1a), Spalten (P3a, P3b) der Mehrfach-Strangprofile bzw. Formbänder zu Einzel-Strangprofilen bzw. Formbändern und anschließenden Hochkantwickeln/-biegen (P4). Alternativ lassen sich auch einzelne Form-

bänder (P2c) durch Drahtziehen aus rundem Querschnitt (P1b) realisieren.

Figur 7 zeigt eine Draufsicht (a), eine Vorderansicht (b) und eine Schnittansicht (c) eines geraden Strangprofils (1) mit einem Profilabschnitt (2) zwischen zwei entlang der Profilachse (A) benachbarten Nachbarabschnitten (3), wobei die Querschnittsform des Strangprofils (1) in dem Profilabschnitt (2) trapezförmig ist und sich von der designierten Biegeaußenseite (BA) zur designierten Biegeinnenseite (BI) kontinuierlich und stetig verjüngt.

#### Detaillierte Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

[0040] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen im Detail beschrieben.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Biegeumformung von Strangprofilen 1 erfolgt im Wesentlichen in zwei Schritten, nämlich:

Schritt A: Bereitstellen eines sich entlang einer Profilachse A erstreckenden Strangprofils 1 mit wenigstens einem Profilabschnitt 2, in welchem der Flächenschwerpunkt F2 der Querschnittsform Q2 bezüglich der Profilachse A versetzt ist.

Schritt B: Biegeumformung des wenigstens einen Profilabschnitts 2', sodass der Flächenschwerpunkt F2' der Querschnittsform Q2' in Richtung der Profilachse A verlagert wird und mit der Profilachse A zusammenfällt.

[0042] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der unvermeidlichen Querschnittsänderung des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2 aufgrund der Biegeumformung in Schritt B des Verfahrens dadurch entgegengewirkt, dass bereits in Schritt A eine komplementär angepasste Querschnittsform vorgehalten wird.

[0043] Bei einer sequenziellen Biegeumformung (Hochkantbiegung) ist die Querschnittsanpassung entsprechend lokal, bei einer kontinuierlichen Biegeumformung (Hochkantwicklung), insbesondere mit konstantem Biegeradius, entlang des gesamten Strangprofils 1 vorzusehen. In dem Profilabschnitt 2 wird eine entsprechende Materialaufdickung vorgenommen, die beim Biegen so verändert wird, dass nach dem Biegen wie in den benachbarten Nachbarabschnitten 3 bzw. zwischen den Biegungen die gewünschte ideal rechteckige Querschnittsform Q2' vorliegt.

[0044] Im Folgenden werden die bevorzugten Anwendungsfälle der beanspruchten Erfindung, nämlich Hochkantbiegen und Hochkantwickeln, im Einzelnen betrachtet:

#### Hochkantbiegen

[0045] In Figur 5 sind sowohl das in dem Profilabschnitt 2 lokal angepasste Strangprofil 1 als auch das daraus gebogene Strangprofil 1 schematisch dargestellt. Im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 ist der Profilabschnitt 2 zwischen zwei entlang der Profilachse A benachbarten Nachbarabschnitten 3 angeordnet, wobei die Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 in dem Profilabschnitt 2 durch Biegeumformung exakt oder im Wesentlichen an die Querschnittsform Q3 des Strangprofils 1 in den angrenzenden Nachbarabschnitten 3 angeglichen wird.

[0046] Figur 7 zeigt ein Strangprofil 1 mit einer entsprechenden Querschnittsanpassung in dem Profilabschnitt 2 in verschiedenen Ansichten (a), (b) und (c).

[0047] Wie insbesondere in Fig. 7(c) anschaulich dargestellt ist, ist die Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 in dem Profilabschnitt 2 trapezförmig und symmetrisch zur designierten Biegeebene B, sodass sie ausgehend von der designierten Biegeaußenseite BA zur designierten Biegeinnenseite BI stetig und linear verjüngt ist. Die Hauptachse der Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 in dem Profilabschnitt 2, d.h. die größte Abmessung der Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1, verläuft in der Biegeebene B. Dadurch ist der Flächenschwerpunkt F2 der Querschnittsform Q2 im designierten Profilabschnitt 2 bezüglich der Profilachse A zur designierten Biegeaußenseite BA versetzt.

[0048] Wie in Figur 7(a) und (b) dargestellt ist, ist die Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 in dem Profilabschnitt 2 im Verlauf entlang der Profilachse A nicht einheitlich. Der Profilabschnitt 2 ist zwischen zwei entlang der Profilachse A benachbarten Nachbarabschnitten 3 angeordnet. In einem schrägen Keilabschnitt 2b nimmt der Versatz des Flächenschwerpunkts F2 der Querschnittsform Q2 bezüglich der Profilachse A im Verlauf entlang der Profilachse A ausgehend von einem der angrenzenden Nachbarabschnitte 3 zu, bleibt in einem keilförmigen Mittelabschnitt 2a konstant und nimmt in einem weiteren schrägen Keilabschnitt 2b hinführend zu dem anderen der angrenzenden Nachbarabschnitte 3 wieder ab. Die Oberflächen der Keilabschnitte 2b und des Mittelabschnitts 2a liegen vorzugsweise in Ebenen, die sich in einem imaginären Punkt treffen. Dieser imaginäre Punkt entspricht bevorzugt dem späteren Biege-/Krümmungsmittelpunkt. Die beschriebene Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2, die sich insbesondere zur (Hochkant-)Biegung von Einzelbögen abwechselnd mit geraden Nachbarabschnitten 3 eignet, kann beispielsweise durch Materialauftrag an der designierten Biegeaußenseite BA und/oder Materialabtrag an der designierten Biegeinnenseite BI hergestellt werden, beispielsweise ausgehend von einem Strangprofil 1 mit einer bezüglich der Profilachse A konstanten Querschnittsform.

[0049] Wie durch die Strichlinie in Fig. 7(c) angedeutet ist, verringert sich die Fläche der Querschnittsform Q2,

Q2' des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2, 2' bei der Biegeumformung, wobei die Abmessung der Querschnittsform Q2, Q2' des Strangprofils 1 in der Biegeebene B zwischen Biegeaußenseite BA und Biegeinnenseite BI konstant bleibt, während sich die Abmessung der Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 senkrecht zur Biegeebene B verringert.

**[0050]** Durch die Biegeumformung, z.B. durch Walzen, wird die Querschnittsform Q2' des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2' von trapezförmig zu rechteckig verändert, sodass sich die Ober- und Unterseiten der Querschnittsform Q2' nach der Biegeumformung exakt parallel zueinander und ggf. exakt parallel zur Biegeebene B erstrecken. Dabei wird die Querschnittsform Q2' des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2 an die Querschnittsform Q3 des Strangprofils 1 in den angrenzenden Nachbarabschnitten 3 angeglichen, sodass die Querschnittsform Q2', Q3 des Strangprofils 1 nach der Biegeumformung sowohl im Profilabschnitt 2 als auch den daran angrenzenden Nachbarabschnitten 3 rechteckig ist und die Hauptachse der Querschnittsform Q2 des Strangprofils 1 im Profilabschnitt 2 in der Biegeebene B verläuft. Das Biegezentrum bzw. der Biege-/Krümmungsmittelpunkt liegt im vorliegenden Fall sehr dicht an der Biegeinnenseite BI', wobei der Biegeradius im Profilabschnitt 2' vergleichsweise klein ist und im Bereich von 50% bis ca. 100% der Abmessung der Querschnittsform Q2' in der Biegeebene B liegt.

**[0051]** Bei der Biegeumformung in Schritt B wird der Flächenschwerpunkt F2 der Querschnittsform Q2 um den Betrag  $\Delta FS$  in Richtung der Profilachse A verlagert, sodass der Flächenschwerpunkt F2' der umgeformten Querschnittsform Q2' - ebenso wie der Flächenschwerpunkt F3 der Querschnittsform Q3 in den Nachbarabschnitten 3 - nach Schritt B idealerweise mit der Profilachse A zusammenfällt.

**[0052]** Während die Profilachse A des Strangprofils 1 vor Schritt B eine Gerade bildet, umfasst das Strangprofil 1 nach Schritt B einen in der Biegeebene B gebogenen Profilabschnitt 2' zwischen zwei geraden Nachbarabschnitten 3. Bei einer Hochkantbiegung umfasst das biegeverformte Strangprofil 1' mehrere gebogene Profilabschnitte 2', die sich jeweils zwischen zwei benachbarten Nachbarabschnitten 3 erstrecken. Eine beispielhafte Spule, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist, umfasst mehrere Windungen mit jeweils z.B. vier um 90° gebogenen Profilabschnitten 2', die sich mit geraden Nachbarabschnitten 3 abwechseln, wobei sich die Windungen des Strangprofils 1 entlang der Wicklungsachse, d.h. senkrecht zur Biegeebene, flächig kontaktieren. Zur Realisierung der lokalen bzw. kontinuierlichen Materialanhäufung, die zu einem Versatz des Flächenschwerpunkts der Querschnittsform Q2 im Profilabschnitt 2 zur designierten Biegeaußenseite BA führt, lassen sich verschiedene Verfahren einsetzen:

- Urformen

- Gießen
- Stranggießen mit sequentiellen Materialanhäufungen
- Strangpressen mit unterschiedlichen Querschnitten (aktive Matrice)
- generative Verfahren (SLM, selective laser melting, Sintern)
- Umformen
- Schmieden
- freies Anstauchen
- Anstauchen im Gesenk
- Drahtziehen (mit aktiver Matrice)
- Trennen, Abtragen
- Fräsen (Trennen mit definierter Schneide)
- Schleifen (Trennen mit undefinierter Schneide)
- Ätzen (Trennen durch chemische und oder elektrische Wirkung).

**[0053]** Das Biegen selbst kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Zum Beispiel durch:

- Rotationszugbiegen
- Rotationszugbiegen mit überlagerter axialer Zugspannung
- Rotationszugbiegen mit überlagerter Pressung durch flache Backen
- Rotationszugbiegen mit überlagerter Pressung durch pendelnde Walzen (Axialgesenkwalzen)
- Flachwalzen der Materialanhäufung.

**[0054]** Der wichtigste Vorteil beim Hochkantbiegen von elektrisch leitfähigen Strangprofilen für Formspulen ist die Erreichung des gewünschten ideal rechteckigen Querschnitts und des damit verbundenen hohen Füllgrads sowie des großflächigen Kontakts zur verbesserten Wärmeabfuhr zwischen den Einzelwindungen und der äußeren Umgebung. Mit dem Füllgrad und der verbesserten Wärmeabfuhr erhöht sich die realisierbare Leistungsdichte, und der Materialeinsatz für gleiche Performance wird minimiert.

**[0055]** Je nach Kombination der Verfahren zur Herstellung der Materialanhäufung und der Realisierung der

Biegung kann dies flexibel erfolgen. Vorteil hierbei ist, dass so unterschiedlich große Spulen mit verschiedenen Windungszahlen gefertigt werden können. Es wird je Leiterquerschnitt und Biegeradius nur ein Satz an Gesenk-, Form- und Klemmbacken benötigt, und damit kann eine große Bandbreite an Spulen gefertigt werden. Prototypen und kleine Stückzahlen lassen sich so wirtschaftlich produzieren.

Hochkantwickeln

**[0056]** Für Hochkantwicklungen kann das Strangprofil 1 gänzlich im Strangpressverfahren mit einer entlang der Profilachse A konstanten Querschnittsform hergestellt werden, wie nachstehend mit Bezug auf Figur 6 erläutert wird. Da sich trapezförmige Querschnitte im Strangpressverfahren in der Regel nicht einfach herstellen lassen, wird vorzugsweise aus einem Rechteckprofil P1a zunächst ein Doppel- oder Mehrfachprofil P2a, P2b erzeugt, welches eine Querschnittsform entsprechend zweier spiegelsymmetrischer Trapeze aufweist, die entlang ihrer kürzeren (P2a) oder längeren parallelen Seiten (P2b) miteinander verbunden sind. Dieses Doppel- oder Mehrfachprofil P2a, P2b wird nachträglich entlang einer Symmetrieebene in zwei Einzelprofile P3a, P3b getrennt wird, um die in Schritt A spezifizierte Querschnittsform aufzuweisen. Das Profil P4 einer Hochkantwicklung weist nach der Biegeumformung idealerweise eine entlang der Profilachse einheitliche Querschnittsform und einen entlang der Profilachse einheitlichen Biegeradius auf, sodass sich die Windungen des Strangprofils 1 im Wicklungsrichtung bzw. senkrecht zur Biegeebene flächig kontaktieren können. Der Lösungsansatz zur Herstellung von Formbändern zum Hochkantwickeln besteht also darin, ein Einzelprofil P3a, P3b nach Trennung eines aus einem zunächst rechteckigen Strangprofil P1a erzeugten doppelten oder geradzahigen Mehrfachprofils P2a, P2b zu walzen, um unter Vermeidung von Krümmung das Profil P4 einer Hochkantwicklung zu erzeugen.

**[0057]** Der wichtigste Vorteil beim Hochkantwickeln von Blechbändern zu runden Blechpaketen ist die erreichbare Materialeinsparung. Gegenüber dem Stanzen von Einzelringen aus Blechstreifen, wo nur wenige einzelne Prozente des eingesetzten Materials genutzt werden, lässt sich beim Hochkantwickeln das Bandmaterial nahezu vollständig nutzen. Materialausnutzungsgrade von über 90% sind erreichbar.

**[0058]** Mittels geringen apparativen Aufwands lässt sich das Materialgefüge in der Biegung analysieren und so nachweisen, mit welchen Verfahren dieser Bereich gefertigt wird. Wird ein gebogener Runddraht P1b, wie beispielsweise in Figur 6 dargestellt, durch Pressen in den gewünschten Querschnitt P2c gebracht, ist die Orientierung der Körner eine andere, als wenn das Strangprofil 1 direkt mit einem Querschnitt erzeugt wird, bei welchem der Flächenschwerpunkt F2 der Querschnittsform Q2 im Profilabschnitt 2 bezüglich der Profilachse A zur designierten Biegeaußenseite BA versetzt ist.

**[0059]** Hauptanwendungsgebiete der Erfindung sind elektrische Maschinen (Generatoren, Motoren, Transformatoren) und Komponenten (Spulen, Drosseln). Weiterhin lässt sich die Erfindung überall dort vorteilhaft anwenden, wo flache Profile um enge Radien gebogen werden müssen und die übliche Änderung des Querschnitts zu Nachteilen führt. Ein solches Anwendungsfeld ist beispielsweise das Wickeln von Blechpaketen elektrischer Maschinen aus Bändern von Elektrolech. Durch die üblicherweise Änderung des Querschnitts wird dieser trapezförmig und ist damit für eine Stapelung ungeeignet und ebenso für ein Verbacken der Lagen mittels dünner Schichten.

## 15 Bezugszeichenliste

### [0060]

1	Strangprofil (vor Biegeumformung im Profilabschnitt)
1a-c	Abschnitte des Strangprofils (vor Biegeumformung) - STAND DER TECHNIK
1'	Strangprofil (nach Biegeumformung im Profilabschnitt)
2	Profilabschnitt (vor Biegeumformung)
2'	Profilabschnitt (nach Biegeumformung)
3	Nachbarabschnitt
A	Profilachse
B	Biegeebene
BA	Biegeaußenseite (vor Biegeumformung)
BA'	Biegeaußenseite (nach Biegeumformung)
BI	Biegeinnenseite (vor Biegeumformung)
BI'	Biegeinnenseite (nach Biegeumformung)
F2	Flächenschwerpunkt (vor Biegeumformung)
F2'	Flächenschwerpunkt (nach Biegeumformung)
H	Höhe Einzelwindung (vor Biegeumformung) - STAND DER TECHNIK
H'	Höhe Einzelwindung (nach Biegeumformung) - STAND DER TECHNIK
L	Läufer - STAND DER TECHNIK
NF', "	Neutrale Faser (Biegung mit/ohne überlagerte Zugspannung)- STAND DER TECHNIK
Q	Querschnittsform Einzelwindung (vor Biegeumformung) - STAND DER TECHNIK
Q', "	Querschnittsform Einzelwindung (nach Biegeumformung) - STAND DER TECHNIK
Q2	Querschnittsform im Profilabschnitt (vor Biegeumformung)
Q2'	Querschnittsform im Profilabschnitt (nach Biegeumformung)
Q3	Querschnittsform im Nachbarabschnitt

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Biegeumformung von Strangprofilen (1), umfassend die Schritte:



- a. Schritt A: Bereitstellen eines sich entlang einer Profilachse (A) erstreckenden Strangprofils (1) mit wenigstens einem Profilabschnitt (2), in welchem der Flächenschwerpunkt (F2) der Querschnittsform (Q2) bezüglich der Profilachse (A) versetzt ist. 5
- b. Schritt B: Biegeumformung des wenigstens einen Profilabschnitts (2'), sodass der Flächenschwerpunkt (F2') der Querschnittsform (Q2') in Richtung der Profilachse (A) in Richtung der Biegeinnenseite, die dem Krümmungsmittelpunkt der Biegeumformung zugewandt ist, verlagert wird und bevorzugt mit der Profilachse (A) zusammenfällt 10
- dadurch gekennzeichnet, dass** der Profilabschnitt (2) zwischen zwei entlang der Profilachse (A) benachbarten Nachbarabschnitten (3) angeordnet ist, wobei die Querschnittsform (Q2) des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2) in Schritt B exakt oder im Wesentlichen an die Querschnittsform (Q3) des Strangprofils (1) in den angrenzenden Nachbarabschnitten (3) angeglichen wird. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querschnittsform (Q2) des in Schritt A bereitgestellten Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2) verjüngt ist, vorzugsweise stetig und/oder linear verjüngt ist, wobei diese Querschnittsform (Q2) besonders bevorzugt symmetrisch ist und/oder trapezförmig ist. 25 30
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fläche der Querschnittsform (Q2, Q2') des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2, 2') in Schritt B verringert wird, wobei vorzugsweise das Verhältnis der Abmessung dieser Querschnittsform (Q2, Q2') in der Biegeebene (B) zur Abmessung dieser Querschnittsform (Q2, Q2') senkrecht zu der Biegeebene (B) ansteigt, wobei bevorzugt die Abmessung dieser Querschnittsform (Q2, Q2') in der Biegeebene (B) konstant bleibt und/oder die Abmessung dieser Querschnittsform (Q2) senkrecht zu der Biegeebene (B) verringert wird, wobei besonders bevorzugt die Hauptachse dieser Querschnittsform (Q2) vor und/oder nach der Biegeumformung in der Biegeebene (B) verläuft. 35 40 45
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querschnittsform (Q2') des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2, 2') in Schritt B derart verändert wird, dass sich zwei Seiten davon nach Schritt B exakt oder im Wesentlichen parallel zueinander und/oder exakt oder im Wesentlichen parallel zur Biegeebene (B) erstrecken, wobei diese Querschnittsform (Q2') nach Schritt B vorzugsweise rechteckig ist und/oder symmetrisch zur Biegeebene (B) ist, wobei bevor- 50 55
- zugt vor und/oder nach Schritt B die Abmessung dieser Querschnittsform (Q2, Q2') in der Biegeebene (B) größer ist als die Abmessung senkrecht zur Biegeebene (B).
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querschnittsform (Q2) des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2) durch Materialauftrag und/oder Materialabtrag hergestellt wird, vorzugsweise ausgehend von einem Strangprofil (1) mit einer entlang seiner Profilachse (A) konstanten Querschnittsform.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Querschnittsform (Q3) des Strangprofils (1) in den an den Profilabschnitt (2) angrenzenden Nachbarabschnitten (3) bezüglich der Profilachse (A) vor und/oder nach Schritt B vorzugsweise rechteckig ist.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei dem in Schritt A bereitgestellten Strangprofil (1) der Versatz des Flächenschwerpunkts (F2) der Querschnittsform (Q2) bezüglich der Profilachse (A) im Verlauf entlang der Profilachse (A) zwischen den an den Profilabschnitt (2) angrenzenden Nachbarabschnitten (3) über den gesamten Profilabschnitt (2) oder wenigstens einen Teil des Profilabschnitts (2) einheitlich ist, wobei der Versatz vorzugsweise ausgehend von einem der angrenzenden Nachbarabschnitte (3) zunimmt und hinführend zu dem anderen der angrenzenden Nachbarabschnitte (3) abnimmt.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in Schritt A bereitgestellte Strangprofil (1) vorzugsweise im Strangpressverfahren mit einer Querschnittsform hergestellt wird, welche spiegelsymmetrisch bezüglich zweier senkrecht aufeinander stehender Ebenen ist, vorzugsweise in der Form zweier spiegelsymmetrischer Trapeze, die entlang ihrer kürzeren oder längeren parallelen Seiten miteinander verbunden sind, wobei das Strangprofil (1) bevorzugt nachträglich entlang einer Symmetrieebene getrennt wird, um in wenigstens einem Profilabschnitt (2) die in Schritt A spezifizierte Querschnittsform aufzuweisen.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Biegeradius der Biegeumformung in Schritt B im Profilabschnitt (2) im Bereich von 0 bis 500%, vorzugsweise 0 bis 200%, bevorzugt 0 bis 100% der Abmessung der Querschnittsform in der Biegeebene (B) beträgt.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in Schritt

B ausgeführte Biegeumformung des Strangprofils (1) im Profilabschnitt (2) durch Walzen erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Profilachse (A) des Strangprofils (1) vor Schritt B eine Gerade und/oder nach Schritt B eine Wicklung mit wenigstens einer Windung bildet. 5
12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Profilabschnitt (2) in Schritt B über die kürzeste Seite seiner Querschnittsform (Q2) gebogen wird. 10
13. Verfahren zur Herstellung einer elektrotechnischen Spule durch Biegeumformung eines elektrisch leitenden Strangprofils (1) nach dem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, sodass das Strangprofil (1) vorzugsweise eine entlang der Profilachse (A) einheitliche Querschnittsform und/oder 20  
entlang der Profilachse (A) einheitlichen Biegeradius oder abwechselnd gerade und gebogene Abschnitte aufweist, wobei sich die Windungen des Strangprofils (1) bevorzugt im Wesentlichen senkrecht zur Biegeebene flächig kontaktieren. 25

#### Claims

1. Method for bending extruded profiled elements (1), comprising the steps: 30
  - a. Step A: Providing an extruded profile (1) extending along a profile axis (A) with at least one profile section (2) in which the center of area (F2) of the cross-sectional shape (Q2) is offset with respect to the profile axis (A). 35
  - b. Step B: Bending of the at least one profile section (2') such that the center of area (F2') of the cross-sectional shape (Q2') is shifted in the direction of the profile axis (A) toward the inner side of the bending facing the center of curvature of the bending, and preferably coincides with the profile axis (A), 40
- characterised in that** the profile section (2) is arranged between two neighbouring sections (3) adjacent along the profile axis (A) wherein in step B the cross-sectional shape (Q2) of the extruded profile (1) in the profile section (2) is aligned exactly or substantially to the cross-sectional shape (Q3) of the extruded profile (1) in the neighbouring sections. 45
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the cross-sectional shape (Q2) of the extruded profile (1) provided in step A is tapered in the profile section (2), is tapered preferably continuously and/or linearly, wherein this cross-sectional shape (Q2) 50

most preferably is symmetrical and/or trapezoidal.

3. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the area of the cross-sectional shape (Q2, Q2') of the extruded profile (1) is reduced in the profile section (2, 2') in step B, wherein the relation of the dimension of this cross-sectional shape (Q2, Q2') in the bending plane (B) to the dimension of this cross-sectional shape (Q2, Q2') perpendicular to the bending plane (B) preferably increases, wherein the dimension of this cross-sectional shape (Q2, Q2') in the bending plane (B) preferably remains constant and/or the dimension of this cross-sectional shape (Q2) perpendicular to the bending plane (B) is reduced, with the main axis of this cross-sectional shape (Q2) most preferably running in the bending plane (B) before and/or after bending.
4. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the cross-sectional shape (Q2') of the extruded profile (1) in the profile section (2, 2') in step B is changed such that after step B two sides thereof extend exactly or substantially in parallel to each other and/or exactly or substantially in parallel to the bending plane (B), wherein this cross-sectional shape (Q2') after step B is preferably rectangular and/or symmetrical to the bending plane (B), wherein preferably before and/or after step B the dimension of this cross-sectional shape (Q2, Q2') in the bending plane (B) is greater than the dimension perpendicular to the bending plane (B).
5. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the cross-sectional shape (Q2) of the extruded profile (1) in the profile section (2) is made by material application and/or material removal, preferably starting from an extruded profile (1) having a cross-sectional shape that is constant along its profile axis (A).
6. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the cross-sectional shape (Q3) of the extruded profile (1) in the neighbouring sections (3) adjacent to the profile section (2) is preferably rectangular with respect to the profile axis (A) before and/or after step B.
7. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** in the extruded profile (1) provided in step A the offset of the center of area (F2) of the cross-sectional shape (Q2) with respect to the profile axis (A) is uniform in the course along the profile axis (A) between the neighbouring sections (3) adjacent to the profile section (2) over the whole profile section (2) or at least a part of the profile section (2), wherein the offset preferably starting from one of the adjacent neighbouring sections (3) in-

creases, and leading to the other one of the adjacent neighbouring sections (3) decreases.

8. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the extruded profile (1) provided in step A is preferably made in the extrusion process with a cross-sectional shape which is mirror symmetrical with respect to two planes perpendicular to one another, preferably in the form of two mirror symmetrical trapezoids, which are connected to one another along their shorter or longer parallel sides, wherein the extruded profile (1) preferably is separated subsequently along a plane of symmetry in order to include the cross-sectional shape specified in step A in at least one profile section (2). 5 10 15
9. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the bending radius of the bending in step B in the profile section (2) is in the range of 0 to 500%, preferably 0 to 200%, more preferably 0 to 100% of the dimension of the cross-sectional shape in the bending plane (B). 20
10. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the bending of the extruded profile (1) in the profile section (2) carried out in step B is done by rolling. 25
11. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the profile axis (A) of the extruded profile (1) forms a straight line before step B and/or a winding with at least one turn after step B. 30
12. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** in step B the profile section (2) is bent over the shortest side of its cross-sectional shape (Q2). 35
13. Method for producing an electro-technical coil by bending an electrically conductive extruded profile (1) by the method according to any of the preceding claims, such that the extruded profile (1) preferably includes a cross-sectional shape that is uniform along the profile axis (A) and/or a bending radius that is uniform along the profile axis (A) or alternately straight and curved sections, wherein the turns of the extruded profile (1) preferably contact each other substantially perpendicularly to the bending plane with their surfaces. 40 45

## Revendications

1. Procédé de cintrage de profilés extrudés (1), comprenant les étapes suivantes : 50 55
  - a. étape A : fourniture d'un profilé extrudé (1) s'étendant le long d'un axe de profilé (A) avec

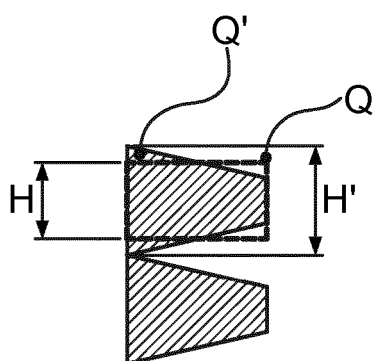
au moins une section de profilé (2) dans laquelle le centre de gravité (F2) de la forme en section transversale (Q2) est décalé par rapport à l'axe de profilé (A) ;

b. étape B : cintrage de ladite au moins une section de profilé (2'), de sorte que le centre de gravité (F2') de la forme en section transversale (Q2') est décalé dans la direction de l'axe de profilé (A) vers le côté intérieur du cintrage, qui fait face au centre de courbure du cintrage, et coïncide de préférence avec l'axe du profilé (A),

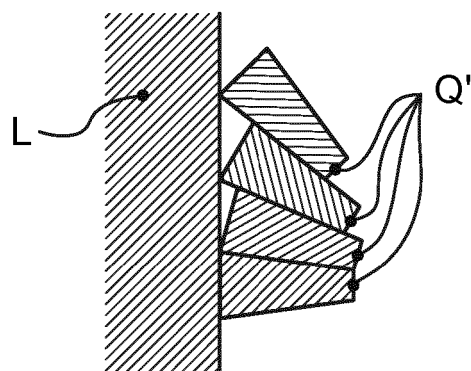
**caractérisé en ce que** la section de profilé (2) est disposée entre deux sections voisines (3) qui sont adjacentes le long de l'axe de profilé (A), dans lequel, à l'étape B, la forme en section transversale (Q2) du profilé extrudé (1) dans la section de profilé (2) est adaptée exactement ou sensiblement à la forme en section transversale (Q3) du profilé extrudé (1) dans les sections voisines contiguës (3) .

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la forme en section transversale (Q2) du profilé extrudé (1) pourvu à l'étape A est conique dans la section de profilé (2), de préférence conique de manière continue et/ou linéaire, dans lequel, de manière particulièrement préférée, cette forme en section transversale (Q2) est symétrique et/ou trapézoïdale.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la surface de la forme en section transversale (Q2, Q2') du profilé extrudé (1) dans la section de profilé (2, 2') est réduite à l'étape B, dans lequel, de préférence, le rapport de la dimension de cette forme en section transversale (Q2, Q2') dans le plan de cintrage (B) par la dimension de cette forme en section transversale (Q2, Q2') perpendiculairement au plan de cintrage (B) augmente, dans lequel, de préférence, la dimension de cette forme en section transversale (Q2, Q2') reste constante dans le plan de cintrage (B) et/ou la dimension de cette forme en section transversale (Q2) diminue perpendiculairement au plan de cintrage (B), dans lequel, de manière particulièrement préférée, l'axe principal de cette forme en section transversale (Q2) s'étend dans le plan de cintrage (B) avant et/ou après le cintrage.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la forme en section transversale (Q2') du profilé extrudé (1) dans la section de profilé (2, 2') est modifiée à l'étape B de sorte qu'après l'étape B, deux de ses côtés sont exactement ou sensiblement parallèles entre eux et/ou exactement ou sensiblement parallèles au plan de cintrage (B), dans lequel, après l'étape B, cette forme en section transversale (Q2') est de préférence rectangulaire et/ou symétrique au plan de cintrage (B),

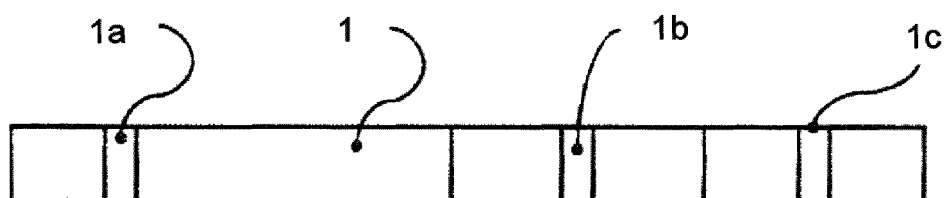
- dans lequel, avant et/ou après l'étape B, la dimension de cette forme en section transversale (Q2, Q2') dans le plan de cintrage (B) est de préférence supérieure à sa dimension perpendiculaire au plan de cintrage (B).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la forme en section transversale (Q2) du profilé extrudé (1) dans la section de profilé (2) est réalisée par application et/ou enlèvement de matière, de préférence à partir d'un profilé extrudé (1) ayant une forme en section transversale constante selon son axe de profilé (A) .
  6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la forme en section transversale (Q3) du profilé extrudé (1) dans les sections voisines (3) contiguës à la section de profilé (2) est de préférence rectangulaire par rapport à l'axe de profilé (A) avant et/ou après l'étape B.
  7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** dans le profilé extrudé (1) pourvu à l'étape A, le décalage du centre de gravité (F2) de la forme en section transversale (Q2) par rapport à l'axe du profilé (A) le long de l'axe de profilé (A) entre les sections voisines (3) contiguës à la section de profilé (2) est uniforme sur toute la section de profilé (2) ou au moins une partie de la section de profilé (2), dans lequel le décalage augmente de préférence en partant de l'une des sections voisines contiguës (3) et diminue vers les autres dites sections voisines adjacentes (3).
  8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le profilé extrudé (1) pourvu à l'étape A est de préférence produit par le procédé d'extrusion avec une forme en section transversale à symétrie axiale par rapport à deux plans perpendiculaires l'un à l'autre, de préférence sous la forme de deux trapèzes à symétrie axiale qui sont reliés l'un à l'autre le long de leurs côtés parallèles plus courts ou plus longs, dans lequel le profilé extrudé (1) est de préférence sectionné ensuite le long d'un plan de symétrie afin d'obtenir la forme en section transversale spécifiée à l'étape A dans au moins une section de profilé (2).
  9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le rayon de courbure du centrage de la section de profilé (2) à l'étape B est compris dans une plage de 0 à 500 %, de préférence de 0 à 200 %, de préférence encore de 0 à 100 % de la dimension de la forme en section transversale dans le plan de cintrage (B).
  10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le cintrage du profilé extrudé (1) dans la section de profilé (2) réalisé à l'étape B s'effectue par roulage.
  11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'axe de profilé (A) du profilé extrudé (1) forme une droite avant l'étape B et/ou un enroulement d'au moins un tour après l'étape B.
  12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**à l'étape B, la section de profilé (2) est cintrée vers le côté le plus court de sa forme en section transversale (Q2).
  13. Procédé de fabrication d'une bobine électrique par cintrage d'un profilé extrudé électroconducteur (1) selon le procédé de l'une des revendications précédentes, de sorte que le profilé extrudé (1) présente de préférence une forme en section transversale uniforme le long de l'axe du profilé (A) et/ou un rayon de courbure uniforme le long de l'axe du profilé (A) ou une alternance de sections droites et cintrées, dans lequel les enroulements du profilé extrudé (1) sont de préférence en contact plan sensiblement perpendiculairement au plan de cintrage.



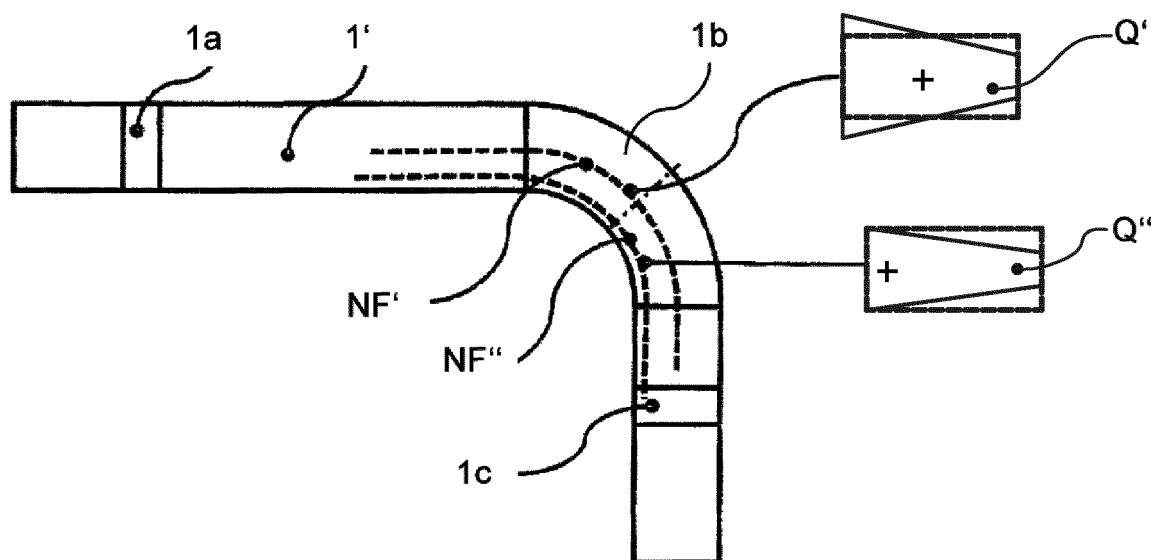
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

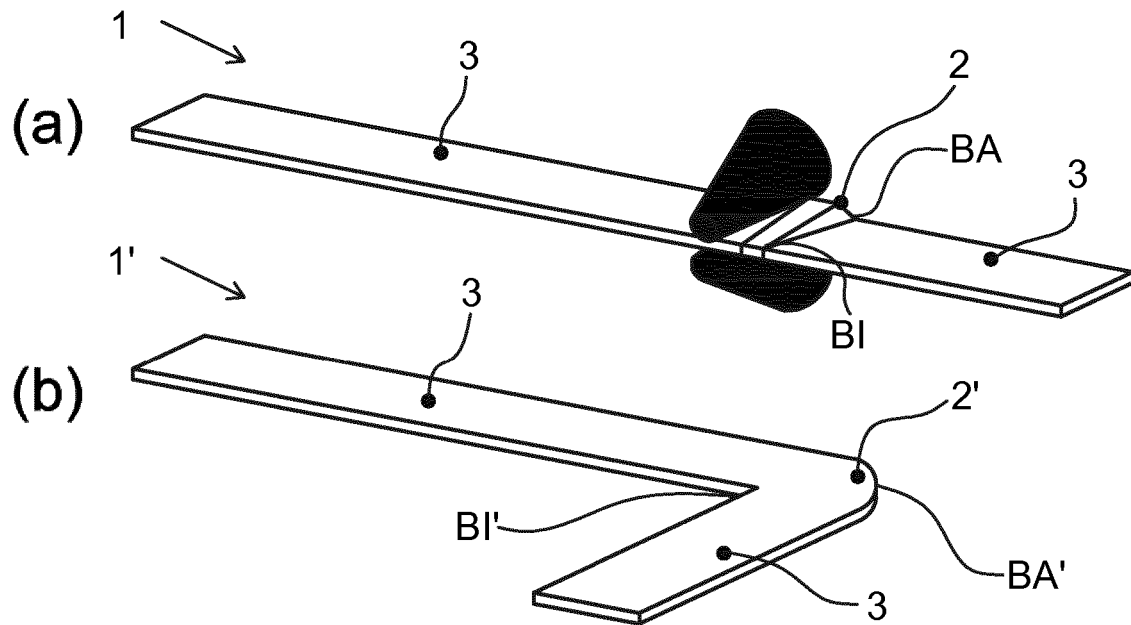


Fig. 5

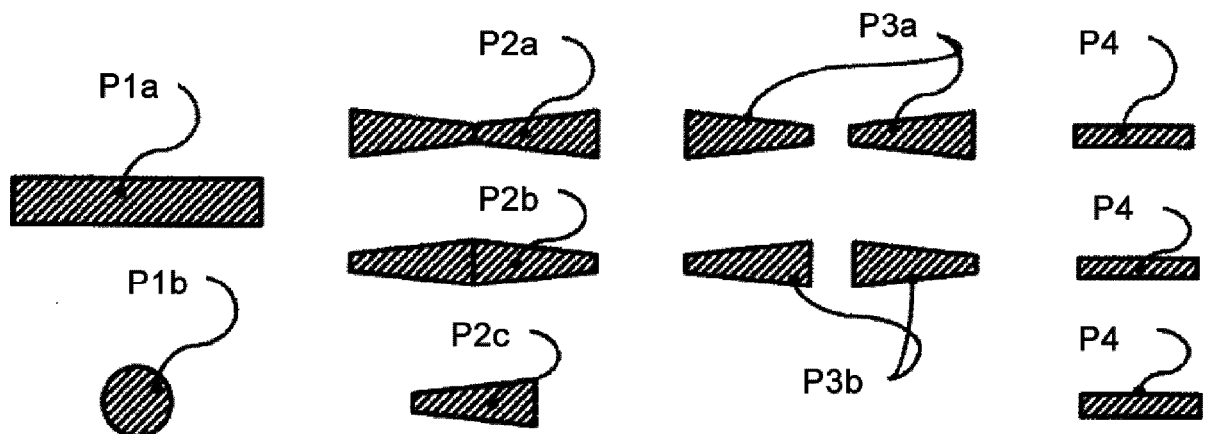


Fig. 6

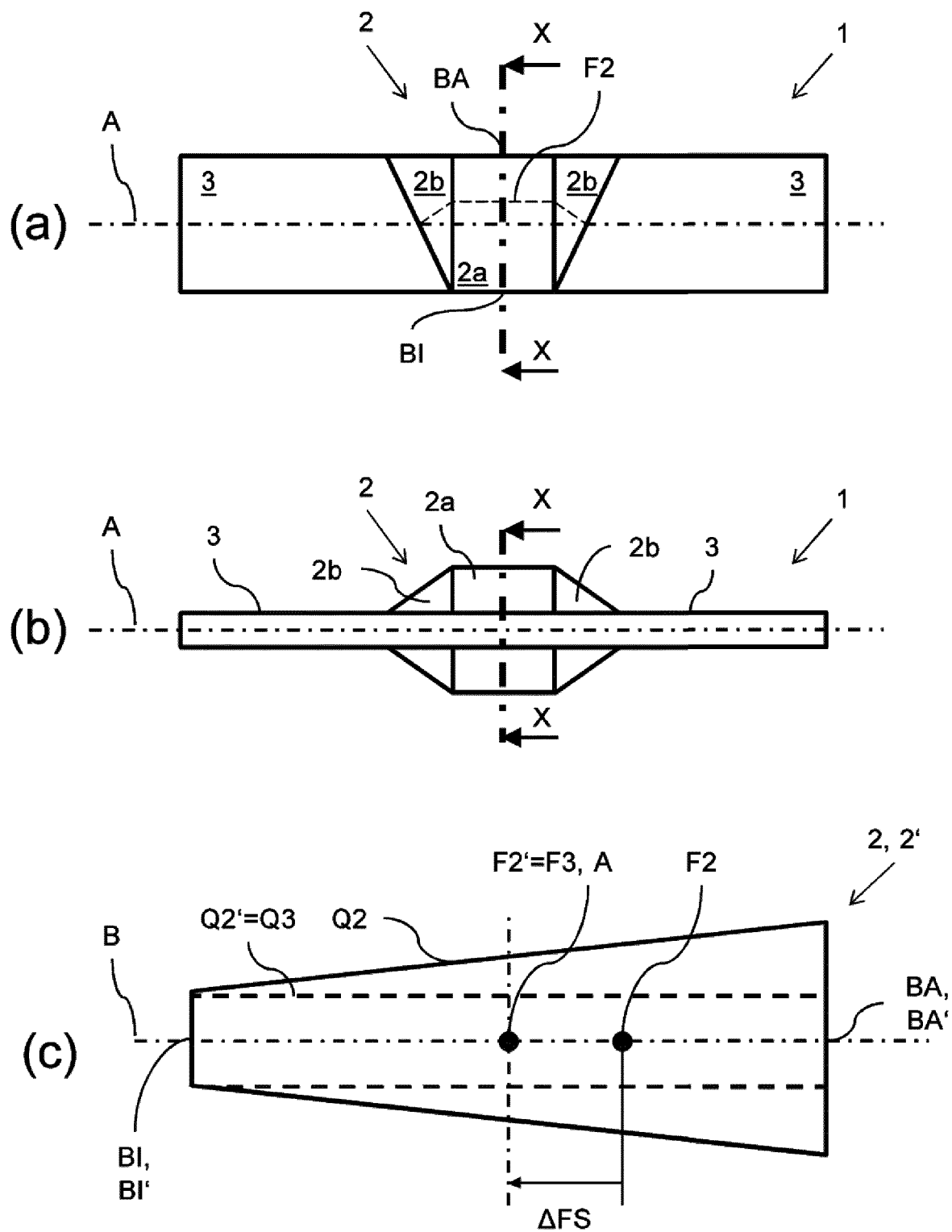


Fig. 7

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 1037574 B **[0006]**
- DE 2705206 A1 **[0006]**
- DE 10358693 A1 **[0006]**
- US 2845555 A **[0006]**
- US 3708706 A **[0006]**
- EP 2301050 B1 **[0007]**
- WO 2016175179 A1 **[0010]**