



(11) **EP 4 396 456 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
04.12.2024 Patentblatt 2024/49

(21) Anmeldenummer: **22730477.1**

(22) Anmeldetag: **25.05.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F03B 1/02^(2006.01) F03B 3/12^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F03B 1/02; F03B 3/121; F05B 2230/90;
F05B 2280/6011**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2022/064163

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2023/030704 (09.03.2023 Gazette 2023/10)

(54) **BECHER EINER TURBINE VOM TYP PELTON UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG**
BUCKET OF A PELTON TURBINE AND METHOD FOR PRODUCTION
AUGET D'UNE TURBINE PELTON ET SON PROCÉDÉ DE PRODUCTION

(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: **02.09.2021 DE 102021122700**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.07.2024 Patentblatt 2024/28

(73) Patentinhaber: **Voith Patent GmbH
89522 Heidenheim (DE)**

(72) Erfinder:
• **MACK, Reiner**
89547 Dettingen (DE)
• **KRATZSCH, Axel**
89174 Altheim (DE)

(74) Vertreter: **Voith Patent GmbH - Patentabteilung**
St. Pöltener Straße 43
89522 Heidenheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 072 177 EP-A1- 2 213 407
EP-B1- 3 647 585 JP-A- 2001 153 019

EP 4 396 456 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 eine Pelton-Turbine mit erhöhter Lebensdauer und ein Verfahren zur Herstellung der Turbine. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Becher der Turbine mit einem beschichteten Substrat und ein Verfahren zur Bereitstellung und Beschichtung des Substrats.

[0002] Erosionsbeständige Beschichtungen werden häufig auf Komponenten von Wasserkraftturbinen verwendet, insbesondere auch bei Laufrädern von Pelton-Turbinen, die anfällig für Erosion durch im Triebwasser enthaltene Sedimente sind.

[0003] So offenbart z.B. die EP 3 647 585 B1 ein Bauteil einer hydroelektrischen Turbine, das ein keilförmiges Substrat mit einem Spitzenabschnitt und mindestens zwei Seitenabschnitten umfasst, wobei eine erosionsbeständige Beschichtung auf dem keilförmigen Substrat aufgebracht ist, und wobei die erosionsbeständige Beschichtung, die auf dem Spitzenabschnitt aufgebracht ist, mindestens 2 Mal stärker ist als die erosionsbeständige Beschichtung, die auf den Seitenabschnitten aufgebracht ist, und wobei die erosionsbeständige Beschichtung mindestens 99,5% Dichte umfasst. Dabei erfolgt die Applikation der erosionsbeständigen Beschichtung durch den Hochgeschwindigkeits-Air-Fuel-Prozess (HVAF). Insbesondere offenbart die EP 3 647 585 B1 Becher eines Pelton-Turbinenlaufrades, welche so aufgebaut sind.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Laufrad einer Turbine vom Typ Pelton anzugeben, das einen alternativen Aufbau aufweist, und durch ein alternatives Verfahren hergestellt wird, wobei die Beständigkeit des Laufrades gegen Erosion vergleichbar hoch ist, wie die Beständigkeit der aus dem Stand der Technik bekannten Laufräder.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Ausführung entsprechend dem unabhängigen Anspruch gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung finden sich in den Unteransprüchen.

[0006] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren erläutert. Die Figuren zeigen im Einzelnen:

- Fig.1 Becher einer Pelton-Turbine gemäß dem Stand der Technik
- Fig.2 Degradierete Hauptschneide
- Fig.3 Hauptschneide eines erfindungsgemäßen Bechers
- Fig.4 Hauptschneide eines erfindungsgemäßen Bechers
- Fig.5 Hauptschneide eines erfindungsgemäßen Bechers

[0007] Figur 1 zeigt einen Schnitt durch einen Becher einer Turbine vom Typ Pelton in schematischer Darstellung gemäß dem Stand der Technik. Der Becher umfasst ein Substrat, welches mit 1 bezeichnet ist. Das Substrat besteht aus Stahl. Zentral im Becher ist die Hauptschnei-

de angeordnet, welche mit 2 bezeichnet ist. Durch die Hauptschneide wird der auf die Turbine gelenkte Wasserstrahl in zwei Teilstrahlen aufgeteilt, welche durch die zwei Becherhälften umgelenkt werden. Die Hauptschneide wird daher auch gern als "Splitter" bezeichnet. Der in Figur 1 gezeigte Schnitt verläuft senkrecht zur Richtung der Hauptschneide. Zum Schutz des Bechers gegen Erosion ist der Becher auf der Innenseite mit einer erosionsbeständigen Beschichtung überzogen, welche mit 3 bezeichnet ist. Wie aus Figur 1 ersichtlich ist, weist dabei das Substrat bereits im Wesentlichen dieselbe Kontur auf, welche der beschichtete Becher aufweist.

[0008] Figur 2 zeigt die durch Erosion degradierte Hauptschneide 2 aus Figur 1. Da die Abrasion an der Spitze der Schneide, auf die der ungeteilte Wasserstrahl auftrifft, am stärksten ist, wird dort zuerst die Beschichtung und nach Abtragung derselben das darunter liegende Substrat abgetragen. Die noch an den Flanken verbleibende Beschichtung wird dabei weniger schnell abgetragen als das Substrat, so dass sich eine charakteristische Rinne ausbildet. Es ist klar, dass ein solches Profil der Hauptschneide zu erheblichen Wirkungsgradverlusten führt, so dass ein so degradiertes Laufrad ausgetauscht werden muss.

[0009] Der beschriebene Degradationsprozess kann dadurch verlangsamt werden, dass an der Stelle der stärksten Abrasion möglichst viel widerstandsfähiges Material vorgesehen wird. In der Lösung gemäß der EP 3 647 585 B1 wird das dadurch erreicht, dass die erosionsbeständige Beschichtung, die auf dem Spitzenabschnitt aufgebracht ist, mindestens 2 Mal stärker ist als die erosionsbeständige Beschichtung, die auf den Seitenabschnitten aufgebracht ist. Ein unerwünschter Nebeneffekt ist dabei, dass so der Spitzenradius an der Hauptschneide vergrößert wird, was zu einem reduzierten Anfangswirkungsgrad der Turbine führt.

[0010] Die Erfinder haben daher nach einer Möglichkeit gesucht, um möglichst viel widerstandsfähiges Material an der am stärksten beanspruchten Stelle anordnen zu können, ohne dass der Spitzenradius entsprechend stark anwächst. Sie haben erkannt, dass sich das dadurch erreichen lässt, dass das Substrat vor der Beschichtung eine Kontur aufweist, welche der Kontur eines degradierten Bechers (siehe Figur 2) entspricht.

[0011] Figur 3 zeigt die Hauptschneide eines erfindungsgemäßen Bechers. Das Substrat hat im Bereich der Hauptschneide eine keilförmige Gestalt, wobei das Ende des Keils nicht in einer einzelnen Spitze ausläuft, sondern sich an dieser Stelle eine zwischen zwei Spitzen angeordnete Vertiefung bzw. Rinne befindet. Mit anderen Worten: Das keilförmige Substrat umfasst im Bereich der Hauptschneide einen ersten und einen zweiten Spitzenabschnitt und insgesamt vier Seitenabschnitte, wobei sich zwischen den Spitzenabschnitten eine Vertiefung erstreckt, und wobei je einem Spitzenabschnitt zwei Seitenabschnitte zugeordnet sind, und wobei zwei der Seitenabschnitte außen am keilförmigen Substrat angeordnet sind, und die beiden übrigen Seitenabschnitte innen

zur Vertiefung hin orientiert sind. Es ist dabei klar, dass die Linien, welche durch die Endpunkte der beiden Spitzenabschnitte gebildet werden, parallel zur Schneidenlinie der Hauptschneide verlaufen. Die Vertiefung bildet sozusagen ein "Tal" zwischen den Spitzenabschnitten.

[0012] Bei der Beschichtung eines solchen Substrats wird zunächst die Vertiefung mit erosionsbeständigen Material aufgefüllt. Danach wird der Beschichtungsvorgang in diesem Bereich so lange fortgesetzt bis das Beschichtungsmaterial dort eine Überhöhung gebildet hat, um die Spitze der Hauptschneide zu formen. Dazu muss die Oberfläche der Beschichtung im Bereich des tiefsten Punktes der Vertiefung wenigstens etwas über die Oberfläche der Beschichtung an den beiden Spitzenabschnitten hinausragen. Es ist jedoch von Vorteil, wenn die Überhöhung möglichst stark ausgebildet wird. Anschließend werden die äußeren Seitenabschnitte und der Rest des Pelton-Bechers beschichtet. Genauso gut könnten die äußeren Seitenabschnitte und der Rest des Pelton-Bechers zuerst beschichtet werden, d.h. vor der Beschichtung der Vertiefung wie zuvor beschrieben. Aus Figur 3 ist ersichtlich, dass der Spitzenradius einer so erzeugten Hauptschneide in Relation zur Menge an erosionsbeständigem Material an dieser Stelle vergleichsweise klein ist. Außerdem ist die Verbindung zwischen Beschichtung und Substrat in diesem hochbelasteten Bereich sehr fest, da die Vertiefung einen Formschluss ermöglicht.

[0013] Figur 4 zeigt die erfindungsgemäße Hauptschneide, wobei bestimmte charakteristische Maße eingezeichnet sind. Diese Maße betreffen die Schichtdicke der Beschichtung an bestimmten Stellen des Substrates, wobei die Dicke der Beschichtung jeweils in senkrechter Richtung zur Substratoberfläche an der betreffenden Stelle gemessen wird. D_A gibt die Dicke der Beschichtung im Bereich eines außen gelegenen Seitenabschnittes an. D_I gibt die Dicke der Beschichtung im Bereich eines innen gelegenen Seitenabschnittes an. D_S gibt die Dicke der Beschichtung an einem Spitzenabschnitt an. Eine erfindungsgemäße Hauptschneide zeichnet sich dadurch aus, dass für die genannten Dicken der Beschichtung folgende Relation erfüllt ist:

$$D_A < D_S \leq D_I$$

[0014] Typische Schichtdicken im Bereich der äußeren Seitenabschnitte liegen in einem Bereich von 0,3 mm $\leq D_A \leq 0,7$ mm.

[0015] Figur 5 zeigt die erfindungsgemäße Hauptschneide, wobei bestimmte weitere charakteristische Maße eingezeichnet sind. W ist der Abstand zwischen den beiden Spitzenabschnitten des Substrats, wobei dieser Abstand senkrecht zur Symmetrieachse der Schneide und senkrecht zur Schneidenlinie gemessen wird. H ist die Höhe der Spitzenabschnitte in Bezug auf den tiefsten Punkt der Vertiefung. H wird parallel zu Symmetrieachse der Schneide abgetragen. D ist die Dicke der Be-

schichtung an der Stelle, an der die Symmetrieachse der Hauptschneide das Substrat schneidet, d.h. in der Mitte der Vertiefung, welche dort in der Regel ihren tiefsten Punkt aufweist.

[0016] Für viele gängige Geometrien von Pelton-Bechern liegen die genannten Maße erfindungsgemäß in den folgenden vorteilhaften Wertebereichen:

$$W = 3 - 7 \text{ mm}$$

$$H = 0,1 - 0,7 \text{ mm}$$

$$D \geq 1 \text{ mm}$$

[0017] Die genaue Form der Vertiefung ist nicht ausschlaggebend. Am einfachsten kann eine solche Vertiefung in das Substrat eingefräst werden, z.B. mit einem Hohlkehlfräser. Nachdem das Substrat mit der Vertiefung bereitgestellt worden ist, wird die erosionsbeständige Beschichtung aufgebracht. Zu den geeigneten Materialien und Zusammensetzungen der erosionsbeständigen Beschichtung wird auf die Abschnitte [0027] und [0028] der EP 3 647 585 B1 verwiesen. Als besonders geeignet wird die Kombination von Wolframkarbid-Partikeln mit einer Matrix aus CoCr angesehen. Erfindungsgemäß kann die Beschichtung mittels HVOF oder HVOF erfolgen. Als bevorzugt geeignet wird HVOF betrachtet. Details zu diesen Verfahren können der EP 3 647 585 B1 entnommen werden.

[0018] Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren umfasst folgende Schritte:

- S1: Bereitstellung eines Substrates 1 mit einer Vertiefung, welche zwischen zwei Spitzenabschnitten angeordnet ist, und wobei zwei Seitenabschnitte außen an den Spitzenabschnitten angeordnet sind;
- S2: Aufbringung einer erosionsbeständigen Beschichtung 3 auf das Substrat 1 im Bereich der Vertiefung, wobei dieselbe mit erosionsbeständigem Material aufgefüllt und danach der Beschichtungsvorgang in diesem Bereich so lange fortgesetzt wird bis das Beschichtungsmaterial dort eine Überhöhung gebildet hat;
- S3: Aufbringung einer erosionsbeständigen Beschichtung 3 auf das Substrat im Bereich der äußeren Seitenabschnitte.

[0019] Es ist klar, dass Schritt S1 vor den Schritten S2 und S3 ausgeführt werden muss. Die Reihenfolge der Schritte S2 und S3 kann dann beliebig sein.

[0020] Abschließend ist anzumerken, dass der beschriebene Beschichtungsvorgang an separaten Bechern ausgeführt werden kann, wenn die Becher bei der Herstellung eines Pelton-Laufrades im Ganzen an eine Nabe angebracht werden. Wenn jedoch die Becher in-

tegral mit der Nabe gefertigt werden, oder nur Teile der Becher an die Nabe angebracht werden, wobei der übrige Teil der Becher integral mit der Nabe gefertigt wird, dann wird der beschriebene Beschichtungsvorgang dann ausgeführt, wenn sich der gesamte Becher an der Nabe befindet.

Bezugszeichenliste

[0021]

- 1 Substrat
- 2 Hauptschneide bzw. Splitter
- 3 Beschichtung

Patentansprüche

1. Becher einer Turbine vom Typ Pelton umfassend ein Substrat (1), eine Hauptschneide (2) und eine das Substrat (1) überziehende erosionsbeständige Beschichtung (3), wobei das Substrat (1) im Bereich der Hauptschneide (2) eine keilförmige Gestalt aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat (1) im Bereich der Hauptschneide (2) einen ersten und einen zweiten Spitzenabschnitt und insgesamt vier Seitenabschnitte umfasst, wobei sich zwischen den Spitzenabschnitten eine Vertiefung erstreckt, und wobei je einem Spitzenabschnitt zwei Seitenabschnitte zugeordnet sind, und wobei zwei der Seitenabschnitte außen am keilförmigen Substrat angeordnet sind, und die beiden übrigen Seitenabschnitte innen zur Vertiefung hin orientiert sind, und wobei die Beschichtung (3) im Bereich der Vertiefung eine Überhöhung bildet, um die Spitze der Hauptschneide (2) zu formen.
2. Becher nach Anspruch 1, wobei die beiden Spitzenabschnitte so angeordnet sind, dass dieselben einen Abstand W von 3 bis 7 mm haben.
3. Becher nach Anspruch 1 oder 2, wobei die beiden Spitzenabschnitte und die Vertiefung so ausgebildet sind, dass die Spitzenabschnitte eine Höhe H in Bezug auf einen tiefsten Punkt der Vertiefung aufweisen, welche zwischen 0,1 mm und 0,7 mm liegt.
4. Becher nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Beschichtung (3) in der Mitte der Vertiefung eine Dicke D von wenigstens 1 mm aufweist.
5. Becher nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Beschichtung (3) aus einer Matrix aus CoCr mit eingebetteten Wolframkarbid-Partikeln besteht.
6. Verfahren zur Herstellung eines Bechers einer Turbine vom Typ Pelton gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren die folgenden

Schritte umfasst:

- S1: Bereitstellung eines Substrates (1) mit einer Vertiefung, welche zwischen zwei Spitzenabschnitten angeordnet ist, und wobei zwei Seitenabschnitte außen an den Spitzenabschnitten angeordnet sind;
- S2: Aufbringung einer erosionsbeständigen Beschichtung (3) auf das Substrat (1) im Bereich der Vertiefung, wobei dieselbe mit erosionsbeständigen Material aufgefüllt und danach der Beschichtungsvorgang in diesem Bereich so lange fortgesetzt wird bis das Beschichtungsmaterial dort eine Überhöhung gebildet hat;
- S3: Aufbringung einer erosionsbeständigen Beschichtung (3) auf das Substrat (1) im Bereich der äußeren Seitenabschnitte.

Claims

1. Bucket of a turbine of the Pelton type comprising a substrate (1), a main cutting edge (2) and an erosion-resistant coating (3) covering the substrate (1), wherein the substrate (1) has a wedge-shaped configuration in the region of the main cutting edge (2), **characterised in that** the substrate (1) comprises a first and a second tip section and a total of four side sections in the region of the main cutting edge (2), wherein a depression extends between the tip portions, and wherein two side sections are associated with each tip section, and wherein two of the side sections are arranged on the outside of the wedge-shaped substrate and the two remaining side sections are orientated inwards towards the depression, and wherein the coating (3) forms an elevation in the region of the depression in order to form the tip of the main cutting edge (2).
2. The bucket according to claim 1, wherein the two tip sections are arranged such that they have a distance W of 3 to 7 mm.
3. The bucket according to claim 1 or 2, wherein the two tip sections and the depression are formed such that the tip sections have a height H with respect to a deepest point of the depression which is between 0.1 mm and 0.7 mm.
4. The bucket according to any one of the preceding claims, wherein the coating (3) has a thickness D of at least 1 mm in the centre of the depression.
5. Bucket according to one of the preceding claims, wherein the coating (3) consists of a matrix of CoCr with embedded tungsten carbide particles.
6. A method of manufacturing a bucket of a Pelton type

turbine according to any one of the preceding claims, the method comprising the following steps:

- S1: providing a substrate (1) having a depression arranged between two tip sections, and wherein two side portions are arranged on the outside of the tip sections; 5
- S2: Application of an erosion-resistant coating (3) to the substrate (1) in the region of the recess, the latter being filled with erosion-resistant material and the coating process then being continued in this region until the coating material has formed an elevation there; 10
- S3: Application of an erosion-resistant coating (3) to the substrate (1) in the region of the outer side sections. 15

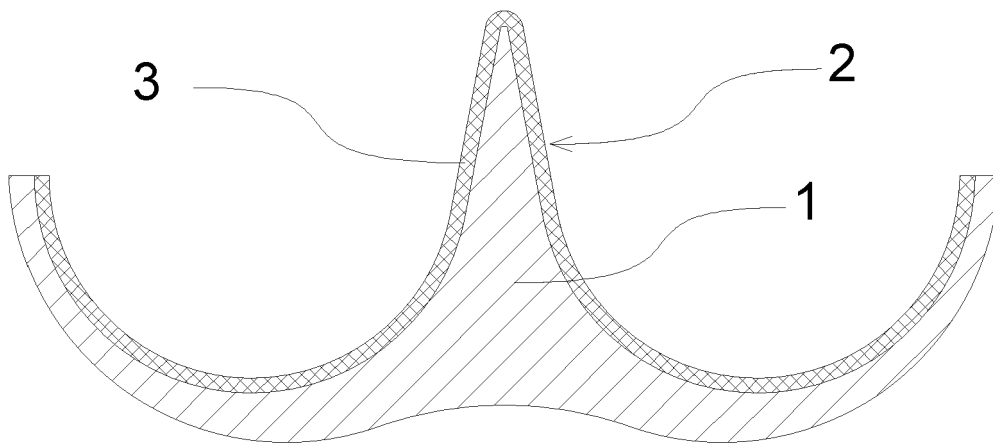
Revendications

1. Gobelet d'une turbine du type Pelton comprenant un substrat (1), une arête de coupe principale (2) et un revêtement (3) résistant à l'érosion recouvrant le substrat (1), le substrat (1) présentant dans la zone de l'arête de coupe principale (2) une forme cunéiforme, **caractérisé en ce que** le substrat (1) comprend dans la zone de l'arête de coupe principale (2) une première et une deuxième partie de pointe et au total quatre parties latérales, un creux s'étendant entre les parties de pointe, et deux sections latérales étant associées à chaque partie de pointe, et deux des parties latérales étant disposées à l'extérieur du substrat en forme de coin, et les deux parties latérales restantes étant orientées vers l'intérieur en direction du creux, et le revêtement (3) formant une surélévation dans la zone du creux afin de former la pointe de l'arête de coupe principale (2). 20 25 30 35
2. Gobelet selon la revendication 1, dans lequel les deux parties de pointe sont disposées de telle sorte qu'elles présentent une distance W de 3 à 7 mm. 40
3. Gobelet selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les deux parties de pointe et le creux sont formés de telle sorte que les parties de pointe ont une hauteur H par rapport à un point le plus bas du creux qui est comprise entre 0,1 mm et 0,7 mm. 45
4. Gobelet selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le revêtement (3) présente une épaisseur D d'au moins 1 mm au centre de la cavité. 50
5. Gobelet selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le revêtement (3) est constitué d'une matrice de CoCr dans laquelle sont noyées des particules de carbure de tungstène. 55

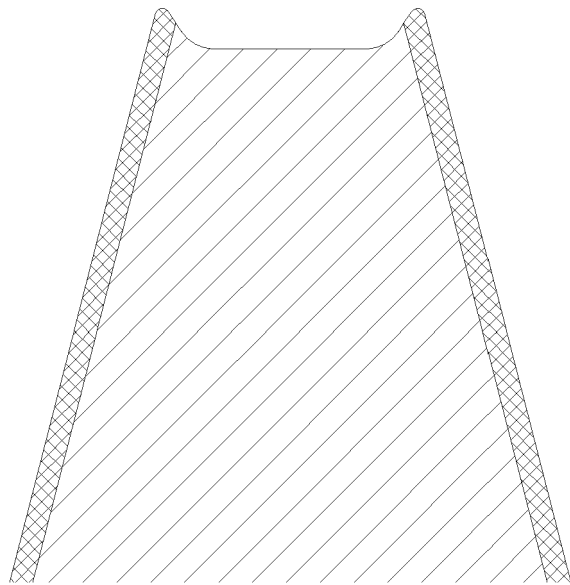
6. Procédé de fabrication d'un gobelet de turbine de type Pelton selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- S1 : fourniture d'un substrat (1) comportant un creux situé entre deux parties de pointe et dans lequel deux parties latérales sont situées à l'extérieur des parties de pointe ;
- S2 : Application d'un revêtement résistant à l'érosion (3) sur le substrat (1) dans la zone de la cavité, celle-ci étant remplie de matériau résistant à l'érosion et l'opération de revêtement étant ensuite poursuivie dans cette zone jusqu'à ce que le matériau de revêtement y ait formé une surélévation ;
- S3 : Application d'un revêtement résistant à l'érosion (3) sur le substrat (1) dans la zone des parties latérales extérieures.

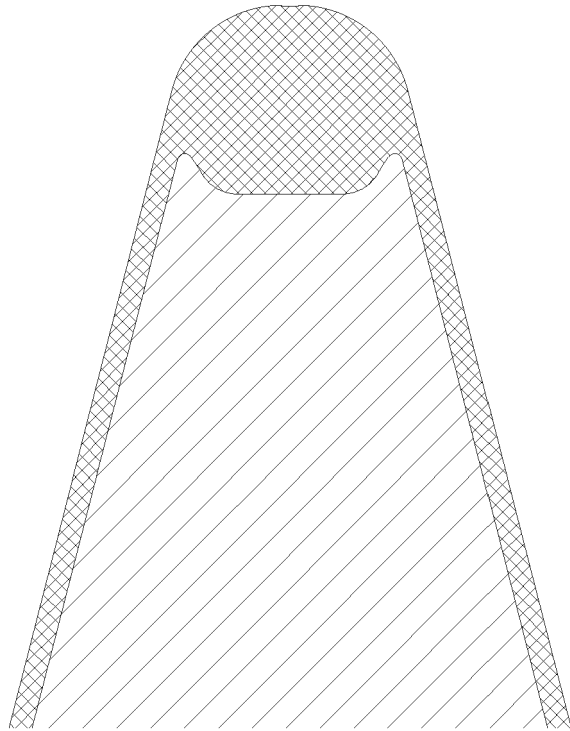
Stand der Technik



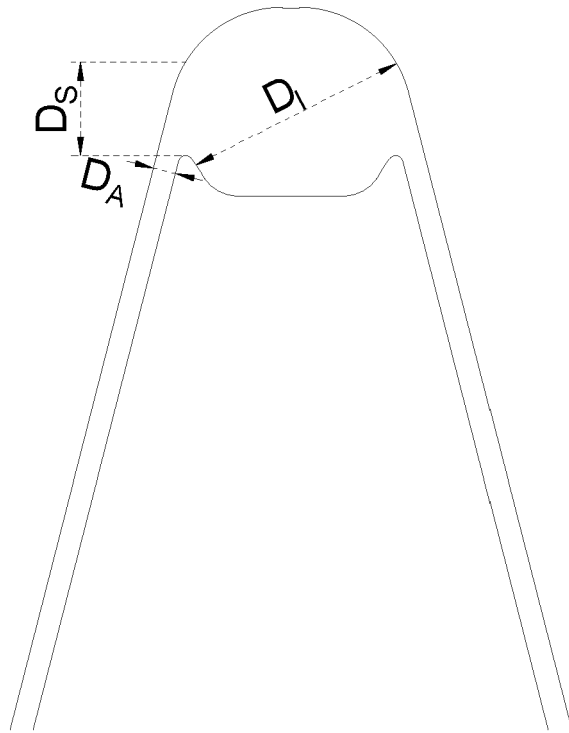
Figur 1



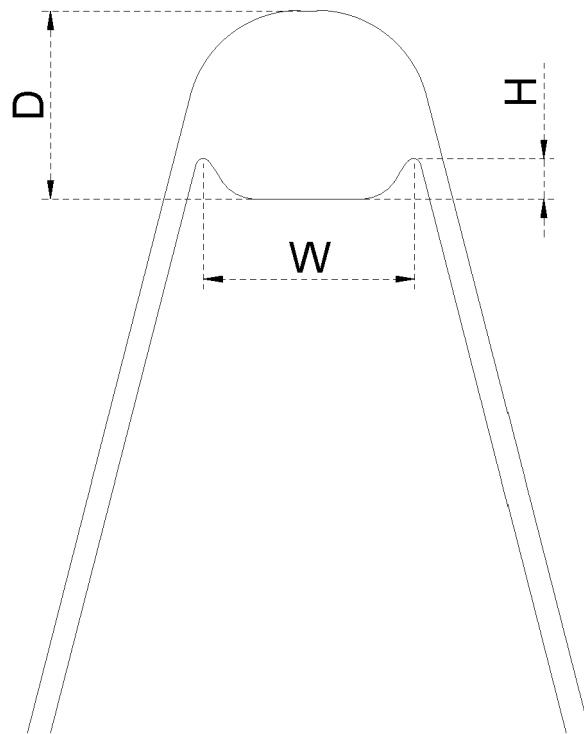
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5

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

- EP 3647585 B1 [0003] [0009] [0017]