



(10) **DE 10 2020 204 447 B4** 2023.03.30

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 204 447.3**
(22) Anmeldetag: **06.04.2020**
(43) Offenlegungstag: **07.10.2021**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.03.2023**

(51) Int Cl.: **B23P 13/00** (2006.01)
B21H 1/12 (2006.01)
B21D 53/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

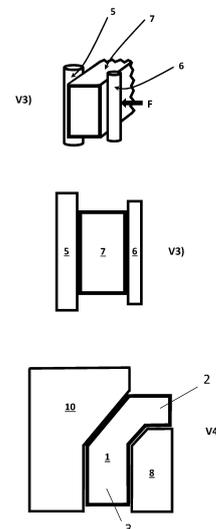
(73) Patentinhaber:
thyssenkrupp AG, 45143 Essen, DE;
thyssenkrupp rothe erde Germany GmbH, 44137
Dortmund, DE

(72) Erfinder:
Burtchen, Marco, 59555 Lippstadt, DE; Schlüter,
David, 59609 Anröchte, DE; Möllenhoff, Julian,
59510 Lippetal, DE; Kneißler, Andreas, Dr, 45549
Sprockhövel, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils für eine Windenergieanlage**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (1) für eine Windenergieanlage durch Umformen, wobei das Bauteil (1) zumindest einen Lagerring (2) für ein Blattlager der Windenergieanlage und ein einstückig mit dem Lagerring (2) ausgebildetes Adapterelement (3) zur unmittelbaren oder mittelbaren Verbindung des Lagerringes (2) mit einer Nabe der Windenergieanlage aufweist, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte,
V1) Bereitstellen eines Rundblocks aus einem härtbaren Stahl für einen Lagerring (2) des Blattlagers,
V2) Erwärmen des Rundblocks auf eine Umformtemperatur T_1 ,
V3) Stauchen, Lochen und Ringwalzen des auf die Umformtemperatur T_1 erwärmten Rundblocks zwischen einer Hauptwalze (5) und einer Innenwalze (6) zu einem Ring (7),
V4) Warmumformen des Ringes (7) bei einer Temperatur T_2 von mindestens 800°C zu dem Bauteil (1) unter Ausbildung des Lagerringes (2) und des Adapterelements (3), wobei das Warmumformen ein Warmwalzverfahren ist, bei dem an den nach dem Verfahrensschritt V3) hergestellten Ring (7) mittels eines profilierten Innendorns (8) eine gewünschte Innenkontur des Bauteils (1) angewalzt wird, wobei der an seinem Innenumfang profilierte Ring (7) in ein entsprechend der gewünschten Außenkontur des Bauteils (1) profiliertes Stauchgesenk (12) gepresst wird,
V5) spanende Bearbeitung zumindest des Lagerringes (2) zur Ausbildung zumindest einer Wälzkörperlaufbahn,
V6) induktives Randschichthärten der zumindest einen Wälzkörperlaufbahn.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	38 04 654	A1
DE	100 03 720	A1
DE	10 2011 087 444	A1
DE	10 2016 118 057	A1
DE	10 2019 216 995	A1
US	2013 / 0 205 857	A1
WO	2019/ 122 023	A1

Herbertz, R., Hermanns, H., Labs, R.:
Massivumformung kurz und bündig. Erstauflage.
Hagen : Industrieverband Massivumformung e.
V., April 2013. 39, 42, 77 bis 85. - ISBN
9783928726320

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

[0002] Aus der internationalen Patentanmeldung WO 2019/122023 A1 ist ein Bauteil für eine Windenergieanlage bekannt, welches zumindest einen Lagerring für ein Blattlager der Windenergieanlage und ein einstückig mit dem Lagerring ausgebildetes Adapterelement zur unmittelbaren oder mittelbaren Verbindung des Lagerringes mit einer Nabe der Windenergieanlage aufweist. Das Adapterelement wird in der WO 2019/122023 A1 als Rotornabenverlängerung bezeichnet. Die Rotornabenverlängerung ist dazu vorgesehen, unmittelbar mit der Nabe einer Windenergieanlage verbunden zu werden.

[0003] Die Rotornabenverlängerung ist gemäß WO 2019/122023 A1 einstückig mit einem Lagerring eines Blattlagers einer Windenergieanlage ausgebildet. Daher muss sich die Werkstoffauswahl für die Rotornabenverlängerung nach den Anforderungen richten, die durch den Lagerring festgelegt werden. Während Rotornabenverlängerungen ohne integrierten Lagerring z.B. als Gussbauteil aus einem nicht-härtbaren Material bestehen können, müssen sie dann, wenn der Lagerring in die Rotornabenverlängerung integriert und einstückig mit ihr ausgebildet ist, aus demselben Werkstoff bestehen wie der Lagerring. Da die Laufbahnen eines Lagerrings zur Erreichung der geforderten Lebensdauer des Blattlagers gehärtet werden müssen, ist für den Fachmann klar, dass die aus WO 2019/122023 A1 bekannte Rotornabenverlängerung mit integriertem Lagerring aus einem härtbaren Stahlwerkstoff bestehen muss, der den Anforderungen des Lagerrings genügt.

[0004] In der WO 2019/122023 A1 sind verschiedene Verfahren zur Herstellung des Bauteils angegeben, nämlich Umformverfahren, Gussverfahren oder Schweißen. Konkrete Umform-, Guss- oder Schweißverfahren mit konkreten Verfahrensschritten sind in der WO 2019/122023 A1 nicht offenbart.

[0005] In dem Fachbuch „Massivumformung kurz und bündig“ (Autoren Hertz, R., Herrmanns, H., Labs, R.: Massivumformung kurz und bündig, Erstauflage. Hagen: Industrieverband Massivumformung e. V., April 2013. 39, 42, 77 bis 85. - ISBN 9783928726320) ist Fachwissen für die Herstellung von Bauteilen (z.B. Ringen) unter Verwendung eines Rundblocks beschrieben, die durch Stauchen, Lochen und anschließendem Ringwalzen hergestellt werden.

[0006] In der Druckschrift DE 38 04 654 A1 wird ein Verfahren zum Herstellen von Wälzlager-elementen aus einem mikrolegierten Stahl beschrieben. Bei die-

sen Verfahren werden die Wälzlager-elemente lediglich an ihren Laufbahnoberflächen gehärtet.

[0007] In der Druckschrift US 2013/0205857 A1 wird ein Verfahren zur Herstellung eines Flansches für Türme von Windenergieanlagen durch einen Ringwalzprozess beschrieben.

[0008] Die deutsche Patentanmeldung DE 10 2011 087 444 A1 betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Lagerbauteils in Gestalt eines Außenringes, eines Innenringes oder eines Zwischenringes eines Wälzlagers.

[0009] Die deutsche Patentanmeldung DE 10 2016 118 057 A1 offenbart ein Großwälzlager für eine Windenergieanlage mit einer verbesserten Dichtigkeit.

[0010] Die Druckschrift DE 100 03 720 A1 befasst sich mit einem Verfahren zum Herstellen von Wälzlager-elementen wie Außen- und Innenringen aus durchgehärtetem Wälzlagerstahl.

[0011] Die deutsche Patentanmeldung DE 10 2019 216 995 A1 offenbart ein Lagerbauteil mit einem aus einem metallischen Material hergestellten Grundkörper, der das Lagerbauteil formt und zumindest einer, auf dem Grundkörper aufgetragenen metallischen Beschichtung.

[0012] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem Bauteile unterschiedlicher Größe für Windenergieanlagen mit unterschiedlichen Leistungen, insbesondere größer 12 MW, einfach und effizient hergestellt werden können.

[0013] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhaftige Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die folgenden Verfahrensschritte:

V1) Bereitstellen eines Rundblocks aus einem härtbaren Stahl für einen Lagerring des Blattlagers,

V2) Erwärmen des Rundblocks auf eine Umformtemperatur T_1 ,

V3) Stauchen, Lochen und Ringwalzen des auf die Umformtemperatur T_1 erwärmten Rundblocks zwischen einer Hauptwalze und einer Innenwalze zu einem Ring,

V4) Warmumformen des Ringes bei einer Temperatur T_2 von mindestens 800°C zu dem Bau-

teil unter Ausbildung des Lagerringes und des Adapterelements,

V5) spanende Bearbeitung zumindest des Lagerringes des Bauteils zur Ausbildung zumindest einer Wälzkörperlaufbahn,

V6) induktives Randschichthärten der zumindest einen Wälzkörperlaufbahn.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass durch ein Warmumformen eines durch Ringwalzen erzeugten Ringes bei einer Temperatur von mindestens 800°C das Bauteil in seiner Endform effizient erzeugt werden kann. Zur Ausbildung der mindestens einen Wälzkörperlaufbahn wird der Lagerring des fertig geformten Bauteils einer spanenden Bearbeitung unterzogen. Anschließend wird die Wälzkörperlaufbahn durch induktives Randschichthärten auf die erforderliche Härte gehärtet, um die geforderte Lebensdauer zu erreichen.

[0016] Durch das erfindungsgemäße Verfahren können Bauteile sehr unterschiedlicher Größe effizient hergestellt werden. Auf diese Weise können mit demselben Verfahren Bauteile zur Verbindung der Rotorblätter einer Windenergieanlage mit der Nabe hergestellt werden, die für Windenergieanlagen von sehr unterschiedlicher Größe geeignet sind, d.h. insbesondere für sehr unterschiedlich Blattwurzeldurchmesser geeignet sind. Der Blattwurzeldurchmesser steigt mit zunehmender Leistung der Windenergieanlage an. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können somit Bauteile für sehr große Windenergieanlagen mit z.B. 20 MW Leistung und darüber hinaus erzeugt werden. Bei Windenergieanlagen mit großer Leistung liegen die Durchmesser der Blattlagerringe deutlich oberhalb von 3 Metern.

[0017] Im Bereich der kleineren Windenergieanlagen mit geringeren Leistungen können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Bauteile erzeugt werden, die kompakter ausgebildet sind und weniger Bau- raum in Anspruch nehmen als herkömmliche Konstruktionen für die Anbindung der Rotorblätter an die Nabe.

[0018] Nach einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Warmumformen im Verfahrensschritt V4) ein Warmwalzverfahren ist, bei dem an den nach dem Verfahrensschritt V3) hergestellten Ring mittels eines profilierten Innendorns eine gewünschte Innenkontur des Bauteils angewalzt wird. Bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Warmwalzen mit dem profilierten Innendorn auf derselben Ringwalzanlage erfolgen, auf der auch das Ringwalzen nach dem Verfahrensschritt V3) durchgeführt wird. Dazu ist es lediglich erforderlich, die Innenwalze auszubauen und durch den profilierten Innendorn zu ersetzen.

[0019] Besonders effizient ist es, wenn das Warmwalzen gemäß Verfahrensschritt V4) erfolgt, ohne dass der Ring vorher nochmals erwärmt werden muss. Dies kann erreicht werden, wenn der Rundblock im Verfahrensschritt V2) auf eine hohe Temperatur von mindestens 1.100°C, z.B. 1.250°C aufgeheizt wird. Wenn die Abmessungen und die Querschnitte des herzustellenden Bauteils ausreichend groß bemessen sind, dann kann das Warmwalzen mit dem profilierten Innendorn bei einer Temperatur von 800°C oder darüber erfolgen, ohne dass eine Zwischenaufheizung des Ringes erforderlich ist.

[0020] Durch Konvektion und Druckwassererwärmung verliert der Ring beim Ringwalzen gemäß Verfahrensschritt V3) im Laufe des Walzvorgangs an Temperatur. Ein typischer Temperaturabfall bewegt sich z.B. im Bereich von 1.250°C auf 900°C. Sollte es für die Warmumformung gemäß Verfahrensschritt V4) zur Einhaltung der Temperatur von mindestens 800°C notwendig sein, so wird das Werkstück z.B. in einem Ofen nachgewärmt.

[0021] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass bei dem Warmwalzverfahren neben dem profilierten Innendorn eine auf einen Außenmantel des Ringes einwirkende profilierte Hauptwalze eingesetzt wird, und dass die gewünschte Außenkontur des Bauteils während des Warmwalzens gemäß Verfahrensschritt V4) an den Ring angewalzt wird. Auch diese Ausführungsform des Verfahrens kann auf derselben Ringwalzanlage durchgeführt werden, auf der auch das Ringwalzen gemäß Verfahrensschritt V3) durchgeführt wird. Dazu muss zusätzlich zu dem Ersetzen der Innenwalze durch den profilierten Innendorn auch die Hauptwalze ausgebaut und durch eine profilierte Hauptwalze ersetzt werden. Dadurch kann das erfindungsgemäße Verfahren vollständig auf den bereits vorhandenen Ringwalzanlagen eines Großwälzlagerherstellers durchgeführt werden. Eine Investition in eine neue Walzanlage ist nicht erforderlich.

[0022] Nach einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Warmwalzverfahren neben dem profilierten Innendorn eine auf einen Außenmantel des Ringes einwirkende zylindrische Hauptwalze eingesetzt wird, und dass die gewünschte Außenkontur des Bauteils nach dem Warmwalzen durch eine spanende Bearbeitung erzeugt wird. Die spanende Bearbeitung kann im erkalteten Zustand des gewalzten Rohbauteils erfolgen. Als zylindrische Hauptwalze kann dieselbe Hauptwalze verwendet werden, die auch bereits bei dem Ringwalzen gemäß Verfahrensschritt V3) verwendet wird. Auf diese Weise muss kein Umbau der Hauptwalze durchgeführt werden.

[0023] Eine derartige Vorgehensweise kann sich z.B. dann anbieten, wenn ein Umbau der Ringwalzanlage durch Ersetzen sowohl von Innenwalze als auch Hauptwalze so viel Zeit in Anspruch nehmen würde, dass die Temperatur des Werkstücks unter die für das Warmwalzen gemäß Verfahrensschritt V4) erforderliche Mindesttemperatur von 800°C absinken und somit eine Wiedererwärmung des Werkstücks erforderlich werden würde, ein Umbau nur durch Ersetzen der Innenwalze durch den profilierten Innendorn allein dagegen so schnell gehen würde, dass eine Wiedererwärmung des Werkstücks nicht erforderlich wird. Dann kann es effizienter sein, den Warmwalzschritt gemäß Verfahrensschritt V4) mit einer zylindrischen Hauptwalze durchzuführen und dem Bauteil die gewünschte bzw. erforderliche Außenkontur durch eine spätere spanende Bearbeitung zu geben.

[0024] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass zur Erzeugung des Adapterelementes während des Warmwalzens im Verfahrensschritt V4) eine den Walzspalt verkleinernde Zustellung der Hauptwalze oder des Innendorns oder der Hauptwalze und des Innendorns in Axialrichtung des Rings erfolgt. Durch diese Axialzustellung erfolgt ein gelenkter Materialfluss des Ringes zur Ausbildung eines das Adapterelement bildenden Bauteilabschnitts.

[0025] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der an seinem Innenumfang profilierte Ring in ein entsprechend der gewünschten Außenkontur des Bauteils profiliertes Stauchgesenk gepresst wird. Bei dieser Ausführungsform wird also das Warmwalzen mit einer profilierten Hauptwalze durch ein Warmpressverfahren ersetzt. Der Umbau der Hauptwalze an dem Ringwalzwerk entfällt. Dafür ist eine separate Warmpresse erforderlich, die das entsprechend der gewünschten Außenkontur des Bauteils profilierte Stauchgesenk aufweist. Soweit zur Sicherstellung der im Verfahrensschritt V4) geforderten Temperatur von mindestens 800°C erforderlich, muss zwischen dem Warmwalzen mit dem profilierten Innendorn und dem Warmpressen in das Stauchgesenk eine Zwischenaufheizung des Werkstücks (z.B. in einem Ofen) erfolgen.

[0026] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Pressen des am Innenumfang profilierten Ringes in das profilierte Stauchgesenk mit einer hydraulisch erzeugten Presskraft erfolgt, wobei die Presskraft mit Hilfe eines entsprechend der Innenkontur des Ringes profilierten Stempels auf den Ring übertragen wird. Dadurch wird der profilierte Ring optimal abgestützt und die erzeugte Innenkontur kann während des Pressens in das Stauchgesenk nicht ver-

formt werden. So kann die Maßhaltigkeit des Bauteils in Bereich der Innenkontur sichergestellt werden.

[0027] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Warmumformen im Verfahrensschritt V4) ein Pressverfahren ist, bei dem der durch Ringwalzen gemäß Verfahrensschritt V3) erzeugte Ring in ein profiliertes Stauchgesenk eingelegt und mittels eines profilierten Presswerkzeugs zwischen dem Presswerkzeug und dem Stauchgesenk zu dem Bauteil umgeformt wird. Bei dieser Ausführungsform findet somit keine Innenkonturierung des Ringes durch Warmwalzen mit einem profilierten Innendorn statt. Daher entfällt ein Umbau der Ringwalzanlage vollständig. Es ist stattdessen eine separate Pressenanlage erforderlich. Es kann Rahmenbedingungen bei der Produktion von Großwälzlagern geben, bei denen der Umbau der Ringwalzanlagen nicht möglich oder nicht erwünscht ist. In diesen Fällen kann dann die Formgebung des Bauteils am Innen- und am Außenumfang mittels Warmpressen erfolgen.

[0028] Das Stauchgesenk bildet dabei ein Werkzeugunterteil und das Presswerkzeug bildet ein Werkzeugoberenteil. Das Presswerkzeug ist relativ zu dem Stauchgesenk mit einer (insbesondere hydraulisch erzeugbaren) Presskraft verfahrbar. Die beiden Werkzeugteile bilden im zusammengeführten Zustand zwischen sich die Negativform des herzustellenden Bauteils aus.

[0029] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Rundblock in dem Verfahrensschritt V2) auf eine Umformtemperatur T_1 von mindestens 1.100°C, insbesondere von 1.250°C erwärmt wird. Es hat sich gezeigt, dass diese Temperatur bei vielen Werkstoffen, Bauteilabmessungen und Bauteilquerschnitten ausreichend ist, um bei der Warmumformung gemäß dem Verfahrensschritt V4) ohne Zwischenaufheizung des Werkstücks noch eine Temperatur des Werkstücks zu haben, die mindestens 800°C beträgt.

[0030] Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass zusätzlich zu der Herstellung des Bauteils in einem separaten Herstellungsverfahren ein weiteres Bauteil hergestellt wird, wobei an dem weiteren Bauteil ein mit dem Adapterelement des nach den voranstehenden Ansprüchen hergestellten Bauteils verbindbares erstes Ende und ein mit der Nabe der Windenergieanlage verbindbares zweites Ende ausgebildet wird. Bei dieser Ausführungsform des Verfahrens werden also zwei Bauteile hergestellt. Das erste Bauteil wird gemäß dem unabhängigen Patentanspruch hergestellt und weist den Lagerring und das Adapterelement auf. Das Adapterelement wird bei dieser Ausführungsform der Erfindung nicht so ausgebildet,

dass es mit seinem Adapterelement unmittelbar mit der Nabe der Windenergieanlage verbunden werden kann, sondern das Adapterelement wird so ausgebildet, dass es mit einem zweiten, in einem separaten Verfahren herzustellenden weiteren Bauteil verbunden werden kann. Das weitere Bauteil weist dazu ein erstes und ein zweites Ende auf, wobei das erste Ende mit dem Adapterelement des ersten Bauteils und das zweite Ende mit der Nabe der Windenergieanlage verbunden werden kann. Das erste Ende des weiteren Bauteils kann mit dem Adapterelement des ersten Bauteils über Schraubverbindungen verbunden werden. Das zweite Ende des weiteren Bauteils kann mit der Nabe der Windenergieanlage über Schraubverbindungen verbunden werden.

[0031] Das weitere Bauteil kann nach einem Herstellungsverfahren hergestellt werden, dass dieselben Verfahrensschritte umfasst wie das durch den unabhängigen Patentanspruch oder durch einen der unabhängigen Patentansprüche definierte Herstellungsverfahren.

[0032] Durch diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können Bauteile hergestellt werden, die eine extreme geometrische Ausgestaltung aufweisen, welche in einem einzigen Warmumformverfahren an einem einzigen Werkstück nicht ausgebildet werden kann, z.B. weil die dazu erforderlichen Umformgrade so groß sind, dass sie an einem Werkstück entweder gar nicht oder zumindest nicht wirtschaftlich realisiert werden können und daher auf zwei Werkstücke, die in separaten Umformverfahren hergestellt werden, aufgeteilt werden. Auf diese Weise wird die Montierbarkeit des Lagers vereinfacht oder sogar erst ermöglicht. Bei großen Durchmessern wird der Transport der Bauteile erheblich vereinfacht.

[0033] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch

Fig. 1 eine Übersicht über den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 3 eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 4 eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 5 verschiedene Ausführungsformen des nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herzustellenden Bauteils.

[0034] Fig. 1 zeigt die einzelnen Verfahrensschritte V1) bis V6) des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens im Überblick. Gemäß Verfahrensschritt

V1) wird ein Rundblock aus einem härtbaren Stahl für einen Lagerring des Blattlagers einer Windenergieanlage bereitgestellt. Gemäß Verfahrensschritt V2) wird der Rundblock auf eine Umformtemperatur T_1 erwärmt. Diese Umformtemperatur beträgt z.B. 1.250°C . Im Verfahrensschritt V3) wird der auf die Umformtemperatur T_1 erwärmte Rundblock gestaucht, gelocht und anschließend durch Ringwalzen auf einer Ringwalzanlage zwischen einer Hauptwalze 5 und einer Innenwalze 6 zu einem Ring 7 mit einem rechteckigen Querschnitt ausgewalzt. Dabei wirkt die Hauptwalze 5 von außen auf den Außenumfang des gelochten Rundblocks ein und die Innenwalze 6 wirkt auf den Innenumfang des gelochten Rundblocks ein. Die Hauptwalze 5 und die Innenwalze 6 können als zylindrische Walzen ausgebildet sein.

[0035] Im Verfahrensschritt V4) erfolgt ein Warmumformen des Ringes 7 bei einer Temperatur T_2 von mindestens 800°C . Bei diesem Warmumformen wird der Ring 7 unter Ausbildung des Lagerrings 2 und des Adapterelements 3 zu dem Bauteil 1 umgeformt. Durch das Warmumformen können sehr große Bauteile 1 erzeugt und sehr große Formänderungen bzw. Umformgrade des Werkstücks erzeugt werden. So ist es möglich, auch für sehr große Windenergieanlagen mit Leistungen von 15 MW und mehr Bauteile 1 effizient herzustellen, mit denen das Rotorblatt mit der Nabe der Windenergieanlage verbunden werden kann, wobei das Bauteil 1 einen Lagerring 2 des Blattlagers aufweist, der einstückig mit dem Adapterelement 3 ausgebildet ist, mit dem das Bauteil an der Nabe befestigt wird. Derartige Bauteile weisen eine wesentlich höhere Steifigkeit auf als Konstruktionen, bei denen der Lagerring separat von dem Adapterelement ausgebildet und mit dem Adapterelement über Schraubverbindungen verbunden ist. Einerseits resultiert die erhöhte Steifigkeit daraus, dass Lagerring 2 und Adapterelement 3 ein einziges Bauteil sind, so dass keine die Steifigkeit verringernden Verbindungselemente zwischen Lagerring und Adapterelement vorhanden sind. Andererseits trägt zu erhöhten Steifigkeit auch bei, dass bei dem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Bauteil 1 der Lagerring 2 und das Adapterelement 3 aus demselben, hochwertigen Stahlmaterial des Lagerrings 2 bestehen. Gegenüber gegossenen Adapterelementen weist das aus dem härtbaren Stahlmaterial des Lagerrings 2 bestehende Adapterelement 3 wesentlich höhere Festigkeiten, insbesondere Zug-, Biege- und Torsionsfestigkeiten auf. Das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Bauteil 1 kann somit wesentlich größere Belastungen ertragen als Konstruktionen mit gegossenen Adapterelementen.

[0036] Außerdem ist der Montageaufwand bei dem erfindungsgemäß hergestellten Bauteil 1 wesentlich geringer als bei Konstruktionen, bei denen ein sepa-

rater Lagerring über zahlreiche Schraubverbindungen mit dem Adapterelement verbunden wird. Die Kosteneinsparungen durch den verringerten Montageaufwand können die erhöhten Kosten kompensieren, die aus der Verwendung des hochwertigeren härtbaren Stahls des Lagerrings 2 für das Adapterelement 3 anstelle eines geringerwertigen Gussmaterials ergeben.

[0037] Gemäß Verfahrensschritt V5) wird durch spanende Bearbeitung zumindest des Lagerrings 2 an dem Bauteil 1 zumindest eine Wälzkörperlaufbahn ausgebildet. Blattlager von Windenergieanlagen können eine einzige Wälzkörperlaufbahn aufweisen. Häufig weisen solche Blattlager mehrere Wälzkörperlaufbahnen auf. Die Wälzkörperlaufbahnen werden an dem Lagerring 2 durch spanende Bearbeitung ausgebildet. Anschließend wird die Laufbahn bzw. werden die Laufbahnen im Verfahrensschritt V6) durch ein induktives Randschichthärten gehärtet, damit sie die erforderliche Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß aufweisen. Gehärtete Laufbahnen sind erforderlich, damit das Blattlager die von Windenergieanlagenbetreibern geforderte hohe Lebensdauer von 20 Jahren und darüber hinaus erfüllt.

[0038] Das Warmumformen kann erfindungsgemäß unterschiedlich ausgestaltet sein, wie aus den nachstehend zu den **Fig. 2** bis **Fig. 4** beschriebenen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ersichtlich ist. Die einzelnen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens nach **Fig. 2** bis **Fig. 4** unterscheiden sich in der Ausgestaltung des Verfahrensschrittes V4) voneinander.

[0039] **Fig. 2** zeigt eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei nur die Verfahrensschritte V3) und V4) dargestellt sind. Im Verfahrensschritt V3) wird aus einem auf eine Umformtemperatur von z.B. 1.250°C erwärmten Rundblock, nachdem dieser gestaucht und gelocht wurde, auf einer Ringwalzanlage ein Ring erzeugt. Das Ringwalzen erfolgt zwischen einer Hauptwalze 5 und einer Innenwalze 6. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Hauptwalze 5 und die Innenwalze 6 als zylindrische Walzen ausgebildet. Nach dem Ringwalzen liegt ein Ring 7 vor, der einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Die obere Darstellung in **Fig. 2** zeigt in einer perspektivischen Ansicht den Schritt des Ringwalzens während des Verfahrensschritts V3). Die mittlere Darstellung in **Fig. 2** zeigt den Schritt des Ringwalzens während des Verfahrensschritts V3) in einem axialen Halbschnitt. Es ist zu erkennen, dass die Hauptwalze 5 und die Innenwalze 6 in dem dargestellten Ausführungsbeispiel zylindrisch ausgebildet sind und dass der Ring 7 einen rechteckigen Querschnitt hat.

[0040] Nach dem Ringwalzen wird der Ring 7 in dem Verfahrensschritt V4) einem Warmwalzen unterzogen, vgl. untere Darstellung in **Fig. 2**. Dieses Warmwalzen erfolgt bei einer Temperatur von mindestens 800°C zwischen einer profilierten Hauptwalze 10 und einem profilierten Innendorn 8. Durch die Hauptwalze 10 erhält der Ring 7 seine gewünschte Außenkontur und durch den Innendorn 8 erhält der Ring 7 seine gewünschte Innenkontur. Das Warmwalzen erfolgt bei diesem Ausführungsbeispiel auf derselben Ringwalzanlage, auf der zuvor der Rundblock zu dem Ring 7 ausgewalzt worden ist. Dazu ist es erforderlich, die zylindrische Hauptwalze 5 gegen eine profilierte Hauptwalze 10 und die zylindrische Innenwalze 6 gegen einen profilierten Innendorn 8 auszutauschen. Investitionskosten für eine separate Ringwalzanlage werden auf diese Weise vermieden.

[0041] Nach dem Warmwalzen zwischen der profilierten Hauptwalze 10 und dem profilierten Innendorn 8 weist das Bauteil einen Lagerring 2 und ein Adapterelement 3 auf. An dem Lagerring 2 muss die Wälzkörperlaufbahn bzw. müssen die Wälzkörperlaufbahnen noch durch spanende Bearbeitung erzeugt werden (Verfahrensschritt V5), in **Fig. 2** nicht dargestellt). Anschließend wird die Wälzkörperlaufbahn bzw. werden die Wälzkörperlaufbahnen durch ein induktives Randschichthärten auf die zur Gewährleistung der geforderten Lebensdauer des Blattlagers erforderliche Härte gehärtet (Verfahrensschritt V6), in **Fig. 2** nicht dargestellt).

[0042] In **Fig. 3** ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Der Verfahrensschritt V3) (obere Darstellung in **Fig. 3**) ist dabei identisch mit dem Verfahrensschritt V3) der ersten Ausführungsform, wie voranstehend zu **Fig. 2** beschrieben. Im Verfahrensschritt V4) erfolgt das Warmwalzen zwischen einer zylindrischen Hauptwalze 11 und einem profilierten Innendorn 8. Dadurch erhält der Ring 7 lediglich an seinem Innenumfang die gewünschte Innenkontur des Bauteils 1, während am Außenumfang des Ringes keine Außenkontur ausgebildet wird. Bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die gewünschte Außenkontur des Bauteils 1 in einem dem Warmwalzen des Verfahrensschritts V4) nachgelagerten weiteren Verfahrensschritt durch spanende Bearbeitung erzeugt. Das durch die spanende Bearbeitung zu entfernende Material ist in **Fig. 3** in der unteren Darstellung durch das schwarze Dreieck angedeutet. Diese spanende Bearbeitung kann durchgeführt werden, nachdem das Werkstück z.B. bis auf Raumtemperatur abgekühlt ist.

[0043] In **Fig. 4** ist eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Zunächst erfolgt im Verfahrensschritt V3) das Ringwalzen eines gelochten Rundblocks zu dem Ring 7 mit rechteckigem Querschnitt analog zu der ersten

Ausführungsform gemäß **Fig. 2** und der zweiten Ausführungsform gemäß **Fig. 3**. Der Ring 7 wird sodann in ein Stauchgesenk 12 einer Warmpresse eingelegt, was in der mittleren Darstellung in **Fig. 4** durch den Pfeil angedeutet ist. Das Stauchgesenk 12 weist eine Innenkontur auf, die das Negativ der an dem Bauteil 1 zu erzeugenden Außenkontur ist. Nachdem der Ring 7 in das Stauchgesenk 12 eingelegt worden ist, wird der Ring 7 mit Hilfe eines profilierten Presswerkzeugs bzw. Stempels 13 in das Stauchgesenk 12 mit einer Presskraft F eingepresst. Das Presswerkzeug / der Stempel 13 weist dabei eine Kontur auf, die das Negativ der an dem Bauteil 1 zu erzeugenden Innenkontur ist. Auf diese Weise wird durch ein Warmpressverfahren, das bei einer Temperatur von mindestens 800°C auszuführen ist, das Bauteil 1 mit dem Lagerring 2 und dem Adapterelement 3 erzeugt. Auch hier muss die mindestens eine Wälzkörperlaufbahn bzw. müssen die Wälzkörperlaufbahnen des Lagerrings 2 in einem nicht dargestellten Verfahrensschritt V5) durch spanende Bearbeitung noch erzeugt werden. Auch ist in **Fig. 4** der Verfahrensschritt V6), also das induktive Härten der Wälzkörperlaufbahnen, nicht dargestellt.

[0044] Die Warmpresse ist ein von den Ringwalzanlagen separates Aggregat, so dass die dritte Ausführungsform der Erfindung ein Umbauen der Ringwalzanlagen nicht erforderlich macht.

[0045] In **Fig. 5** sind verschiedene Ausführungsformen des nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herzustellenden Bauteils 1 dargestellt. Der Schwierigkeitsgrad der Fertigung nimmt dabei ausgehend von der oberen Darstellung nach unten hin immer weiter zu. In der obersten Darstellung von **Fig. 5** weist das Bauteil 1 eine Profilierung nur in radialer Richtung auf und die Überlänge des Adapterelements 3 ist relativ kurz. In der zweiten Darstellung von oben ist ebenfalls eine Profilierung nur in radialer Richtung vorhanden, das Adapterelement 3 weist jedoch eine im Vergleich zu der obersten Darstellung wesentlich größere radiale Erstreckung auf. In der dritten Darstellung von oben weist das Bauteil eine Profilierung sowohl in radialer als auch in axialer Richtung auf. Die Überlänge des Adapterelements 3, d.h. die radiale Erstreckung des Adapterelements 3, ist wiederum groß. Es ist anhand der verschiedenen Ausführungsbeispiele des Bauteils 1 gut zu erkennen, dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sehr unterschiedlich geformte Bauteile für unterschiedlichste Windenergieanlagen hergestellt werden können.

[0046] Wenn die Komplexität der Verformung und/oder der zur Erzeugung des Bauteils erforderliche Verformungsgrad zu groß werden, dann kann es sinnvoll sein, anstelle von einem Bauteil 1 zwei separate Bauteile 1, 14 herzustellen. Dieser Fall ist in der untersten Darstellung von **Fig. 5** dargestellt. Beide

Bauteile 1 und 14 werden nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt. Der Lagerring 2 und das Adapterelement 3 werden an dem ersten Bauteil 1 ausgebildet. Das weitere Bauteil 14 stellt eine Fortsetzung des Adapterelements 3 des ersten Bauteils 1 dar. Es weist ein erstes Ende 15 auf, welches mit dem Adapterelement 3 des ersten Bauteils 1 verbindbar ist. Das zweite Ende 16 des weiteren Bauteils 14 ist zu Verbindung mit der in **Fig. 5** nicht dargestellten Nabe der Windenergieanlage ausgebildet. Die Montierbarkeit wird durch diese zweigeteilte Ausführung des Bauteils verbessert. Ab einer gewissen Bauteilgröße ist es außerdem wesentlich einfacher, die beiden Bauteile 1 und 14 eines geteilten Bauteils zu transportieren als ein einstückiges Bauteil.

Bezugszeichenliste

1	Bauteil
2	Lagerring
3	Adapterelement
5	Hauptwalze
6	Innenwalze
7	Ring
8	Innendorn
10	Hauptwalze
11	Hauptwalze
12	Stauchgesenk
13	Stempel/Presswerkzeug
14	Bauteil
15	Ende
16	Ende
F	Presskraft
V1) bis V6)	Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (1) für eine Windenergieanlage durch Umformen, wobei das Bauteil (1) zumindest einen Lagerring (2) für ein Blattlager der Windenergieanlage und ein einstückig mit dem Lagerring (2) ausgebildetes Adapterelement (3) zur unmittelbaren oder mittelbaren Verbindung des Lagerrings (2) mit einer Nabe der Windenergieanlage aufweist, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte,
 V1) Bereitstellen eines Rundblocks aus einem härtbaren Stahl für einen Lagerring (2) des Blattlagers,
 V2) Erwärmen des Rundblocks auf eine Umformtemperatur T_1 ,
 V3) Stauchen, Lochen und Ringwalzen des auf die Umformtemperatur T_1 erwärmten Rundblocks zwischen einer Hauptwalze (5) und einer Innenwalze

(6) zu einem Ring (7),

V4) Warmumformen des Ringes (7) bei einer Temperatur T_2 von mindestens 800°C zu dem Bauteil (1) unter Ausbildung des Lagerringes (2) und des Adapterelements (3), wobei das Warmumformen ein Warmwalzverfahren ist, bei dem an den nach dem Verfahrensschritt V3) hergestellten Ring (7) mittels eines profilierten Innendorns (8) eine gewünschte Innenkontur des Bauteils (1) angewalzt wird, wobei der an seinem Innenumfang profilierte Ring (7) in ein entsprechend der gewünschten Außenkontur des Bauteils (1) profiliertes Stauchgesenk (12) gepresst wird,

V5) spanende Bearbeitung zumindest des Lagerringes (2) zur Ausbildung zumindest einer Wälzkörperlaufbahn,

V6) induktives Randschichthärten der zumindest einen Wälzkörperlaufbahn.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei dem Warmwalzverfahren neben dem profilierten Innendorn (8) eine auf einen Außenmantel des Ringes (7) einwirkende profilierte Hauptwalze (10) eingesetzt wird, und dass eine gewünschte Außenkontur des Bauteils (1) während des Warmwalzens an den Ring (7) angewalzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei dem Warmwalzverfahren neben dem profilierten Innendorn (8) eine auf einen Außenmantel des Ringes (7) einwirkende zylindrische Hauptwalze (5; 11) eingesetzt wird, und dass eine gewünschte Außenkontur des Bauteils (1) nach dem Warmwalzen durch eine spanende Bearbeitung erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung des Adapterelementes (3) während des Warmwalzens im Verfahrensschritt V4) eine den Walzspalt verkleinernde Zustellung der Hauptwalze (5; 11; 10) oder des Innendorns (8) oder der Hauptwalze (5; 11; 10) und des Innendorns (8) in Axialrichtung des Rings (7) erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Pressen des am Innenumfang profilierten Ringes (7) in das profilierte Stauchgesenk (12) mit einer hydraulisch erzeugten Presskraft erfolgt, wobei die Presskraft mit Hilfe eines entsprechend der Innenkontur des Ringes (7) profilierten Stempels (13) auf den Ring (7) übertragen wird.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rundblock in dem Verfahrensschritt V2) auf eine Umformtemperatur T_1 von mindestens 1.100°C , insbesondere von 1.250°C erwärmt wird.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zu der Herstellung des Bauteils (1) in einem separaten Herstellungsverfahren ein weiteres Bauteil (14) hergestellt wird, wobei an dem weiteren Bauteil (14) ein mit dem Adapterelement (3) des nach den voranstehenden Ansprüchen hergestellten Bauteils (1) verbindbares erstes Ende (15) und ein mit der Nabe der Windenergieanlage verbindbares zweites Ende (16) ausgebildet wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

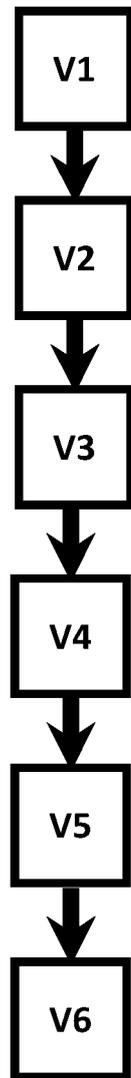


Fig. 1

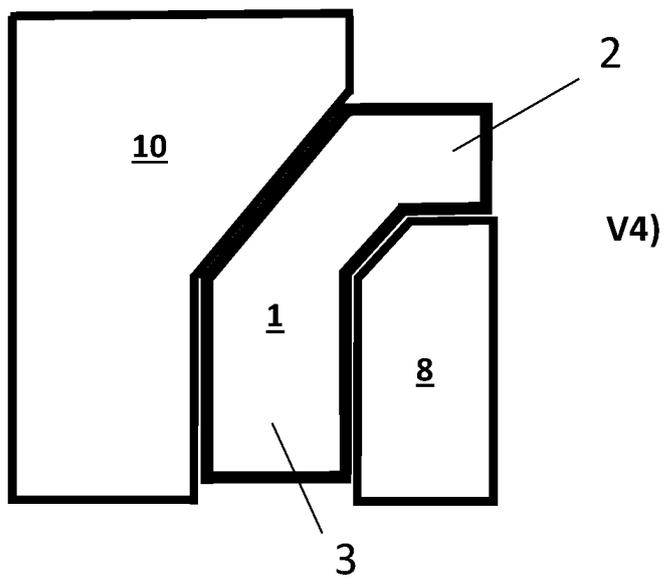
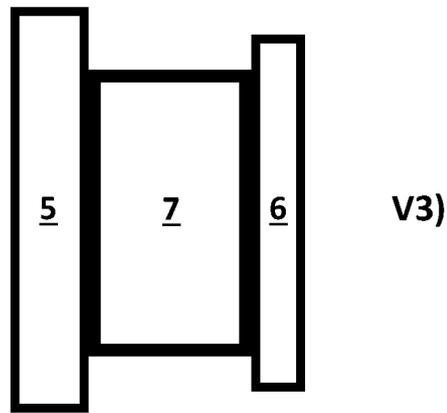
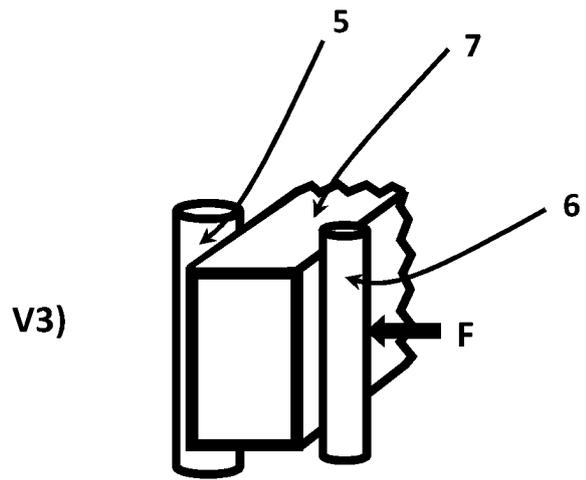


Fig. 2

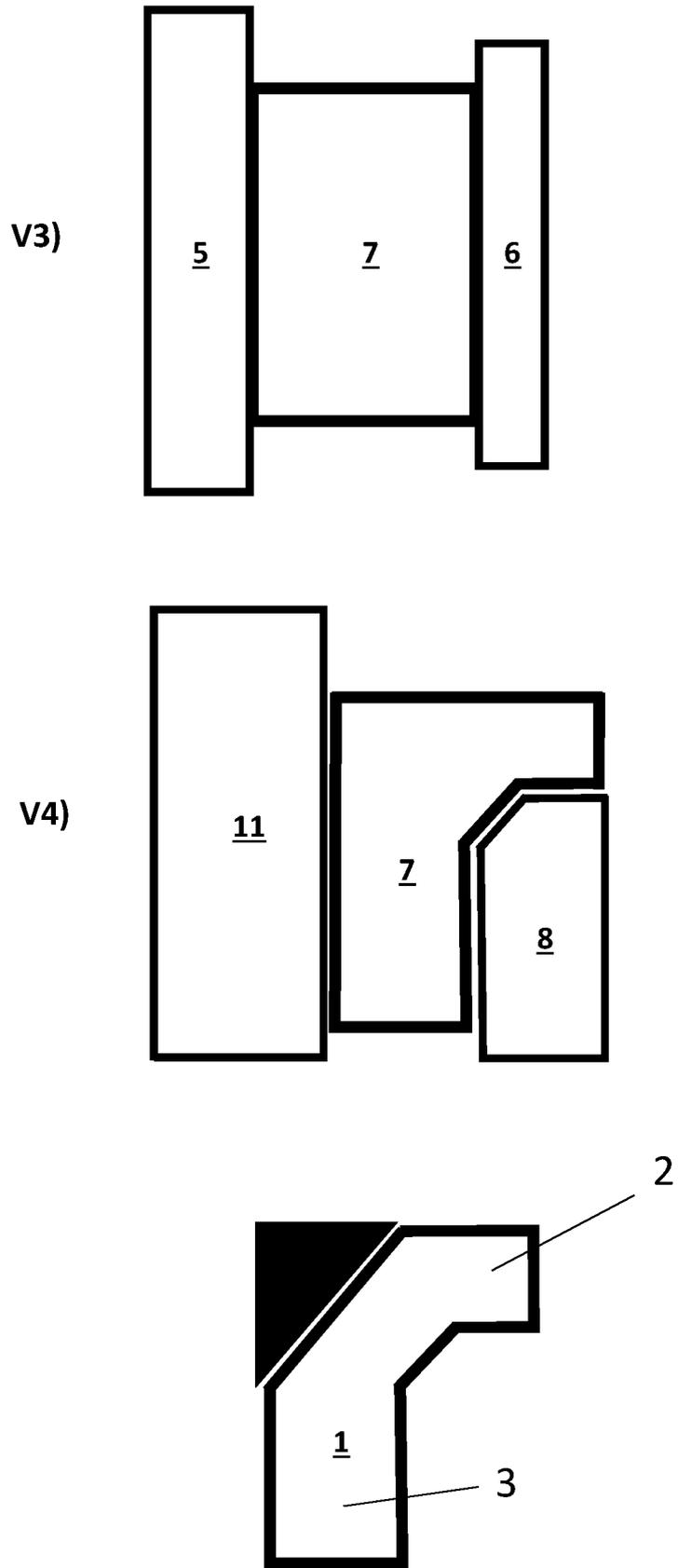


Fig. 3

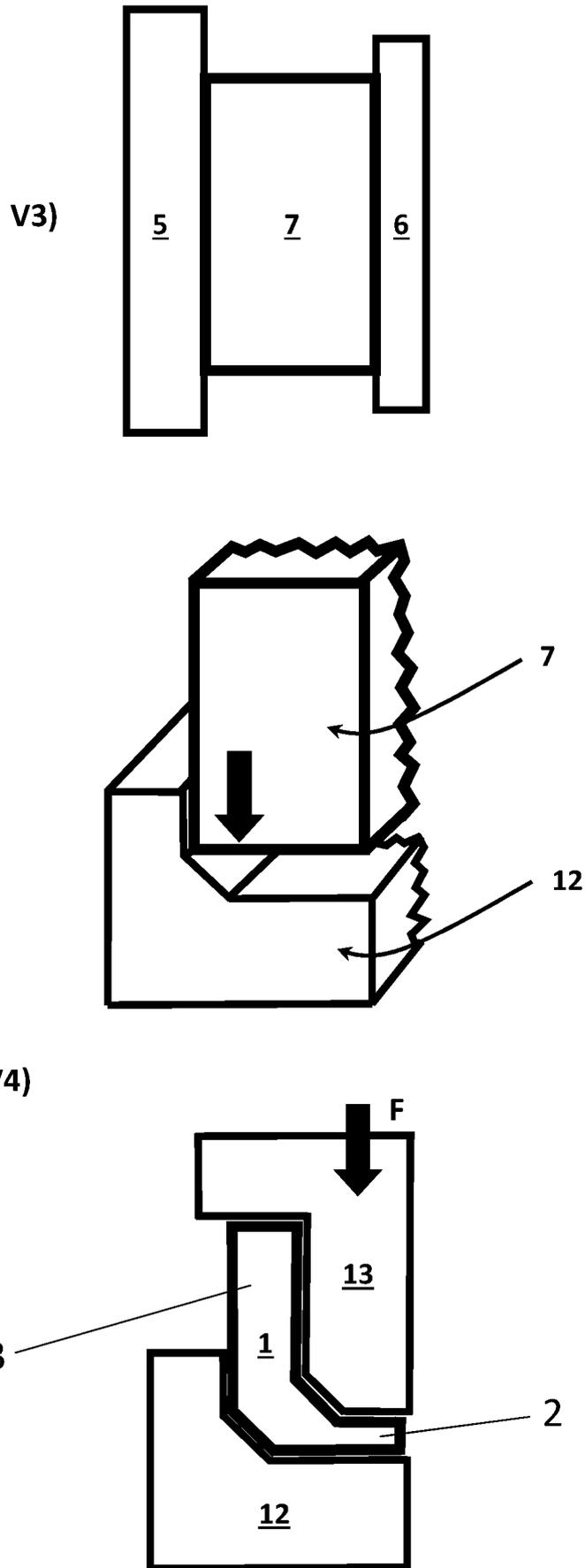


Fig. 4

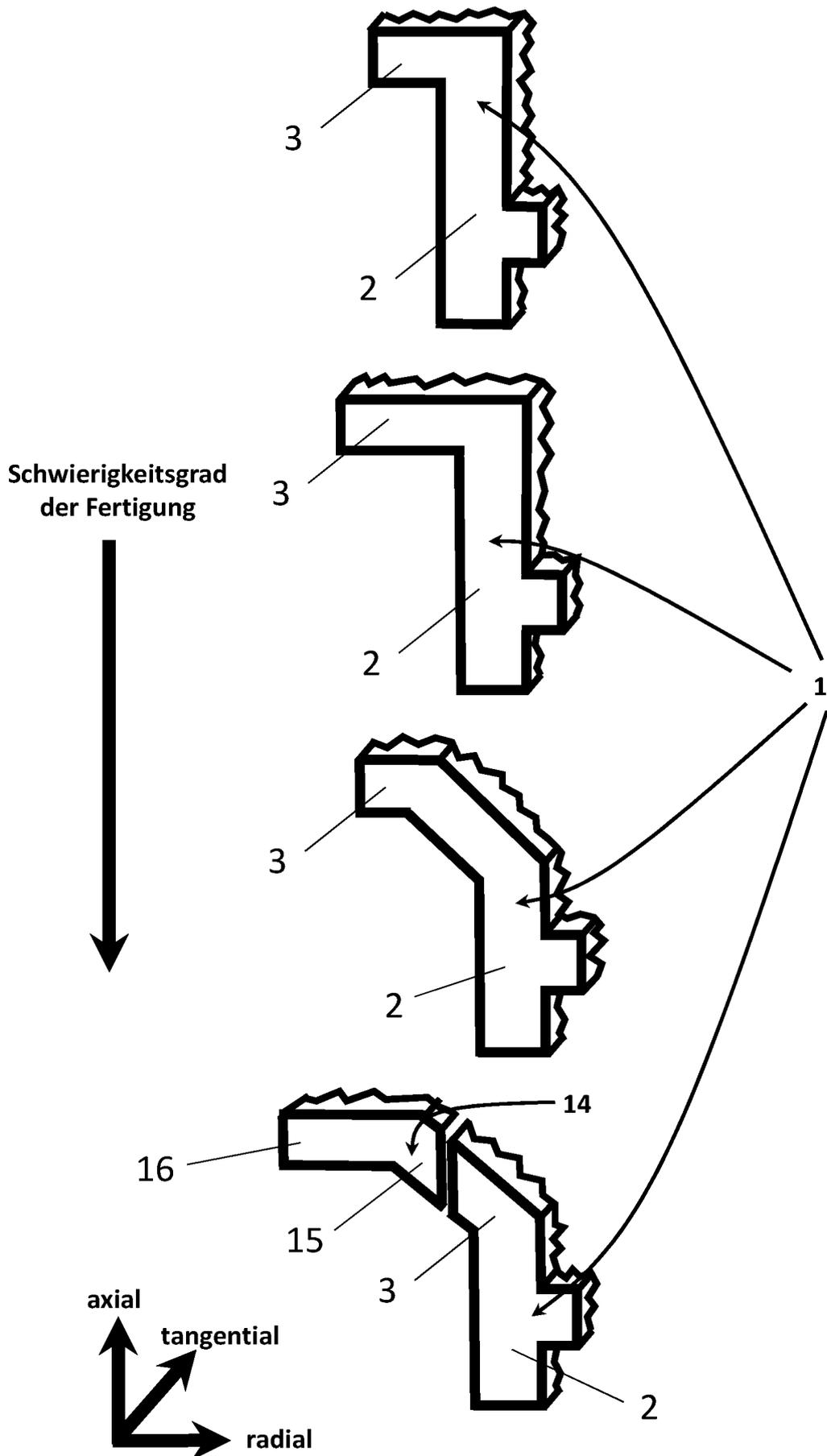


Fig. 5