



(11) **EP 3 225 331 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**04.10.2017 Patentblatt 2017/40**

(51) Int Cl.:  
**B22D 13/10** (2006.01) **B22C 9/06** (2006.01)  
**B22D 17/22** (2006.01) **C22C 14/00** (2006.01)  
**B22D 21/00** (2006.01) **B22D 17/26** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17163412.4**

(22) Anmeldetag: **28.03.2017**

(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**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD**

(72) Erfinder:  
• **SCHIEVENBUSCH, Andre**  
**52078 Aachen (DE)**  
• **SCHIEVENBUSCH, Jan**  
**52146 Würselen (DE)**  
• **SALBER, Roland**  
**52076 Aachen (DE)**

(30) Priorität: **30.03.2016 DE 102016105795**

(74) Vertreter: **Lindner Blaumeier**  
**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Partnerschaftsgesellschaft mbB**  
**Dr. Kurt-Schumacher-Str. 23**  
**90402 Nürnberg (DE)**

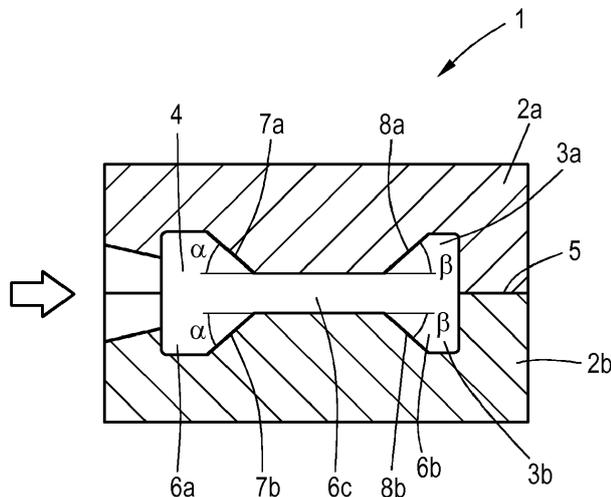
(71) Anmelder: **ACCESS e.V.**  
**52072 Aachen (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUM GIESSEN EINES KONTURIERTEN METALLGEGENSTANDES, INSBESONDERE AUS TIAL**

(57) Verfahren zur Herstellung eines hochbelastbaren Bauteils aus einer alpha + gamma - TiAl-Legierung für Kolbenmaschinen und Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerke, bei welchem eine Schmelze aus einer TiAl-Legierung bereitgestellt wird, welche in einem Zentrifugal-Schleudergussverfahren in eine oder mehrere Kokillen zu einem oder mehreren vorkonturierten Halbzeugen für eine schmiede- und/oder bearbeitungstechnische Weiterverarbeitung zum Fertigteil vergossen

wird, wobei die oder jede Kokille eine Kavität mit wenigstens einer Hinterscheidung und eine oder mehrere ebene oder freigeformte Trennebenen besitzt und durch einen durch die Kontraktion des abkühlenden Bauteils erzeugten inneren Druck selbst und/oder über ein in Abhängigkeit eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters ansteuerbares oder betätigbares Aktuatorelement während des Erstarrungs- und Abkühlprozesses geöffnet wird.

FIG. 1



EP 3 225 331 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Kokille zum Gießen eines konturierten Metallgegenstands, umfassend wenigstens zwei lösbar miteinander verbindbare Kokillenteile mit jeweils wenigstens einem Formnest, wobei sich die Formnester bei geschlossener Kokille zu einer Kavität mit einem längs einer Achse variierenden Volumen mit einer oder mehreren Hinterschneidungen ergänzen und längs einer ebenen oder freigeformten Trennebene voneinander lösbar sind.

**[0002]** Zum Gießen eines Metallgegenstandes aus einer Schmelze werden üblicherweise Kokillen verwendet. Diese definieren über eine Kavität, die über die Formnester der lösbar miteinander verbindbaren Kokillenteile definiert wird, die Kontur des fertigen, gegossenen Metallgegenstands. Die Schmelze wird in die Kokille gegossen, wonach sie erstarrt. Zwar können eine Vielzahl unterschiedlicher Metalle oder Metalllegierungen durch einen Kokillenguss verarbeitet werden, jedoch gibt es Werkstoffgruppen, die schlechte Gieß Eigenschaften aufweisen, wobei sich insbesondere Probleme ergeben, wenn der konturierte Metallgegenstand eine über seine Längsachse variierende Volumenverteilung mit einer oder mehreren Hinterschneidungen aufweist.

**[0003]** Ein Beispiel für eine solche schlecht gießbare Werkstoffgruppe ist die der Titanaluminide. Die Werkstoffgruppe der Titanaluminide bietet aufgrund ihrer geringen Dichte von etwa  $4 \text{ g/cm}^3$  und der guten Hochtemperatureigenschaften das Potential, Superlegierungen in ihrem Einsatzgebiet als Werkstoff für hochbelastete Bauteile in Kolbenmaschinen und Gasturbinen, insbesondere Schaufeln, zu ersetzen und gleichzeitig einen Gewichtsvorteil zu erzielen. Aufgrund der schlechten Gieß Eigenschaften dieser Werkstoffe ist es nicht möglich, komplex konturierte Bauteile über einen Kokillenguss herzustellen. Aus diesem Grund werden solche Bauteile zumeist über eine kombinierte Guss-/Schmiedroute hergestellt. Diese umfasst den Guss eines Halbzeugs mit rotationssymmetrischer, meist zylindrischer oder konischer Geometrie in einer metallischen Dauerform, also die Herstellung eines geometrisch sehr einfach konzipierten, keine Hinterschneidungen oder dergleichen aufweisenden Halbzeugs. Dem Guss folgt eine mehrstufige Umformung und eine abschließende Wärmebehandlung und Endbearbeitung zur Darstellung des Endbauteils. Durch das Schmieden lassen sich gute Eigenschaften der Bauteile erzielen, allerdings ist hiermit ein relativ hoher Materialverbrauch und Prozessaufwand verbunden.

**[0004]** Dieser könnte reduziert werden, wenn eine Möglichkeit gegeben wäre, vorkonturierte Halbzeuge, die bereits von Haus aus eine über die Längsachse variierende Volumenverteilung mit einer oder mehreren Hinterschneidungen aufweisen, über einen Kokillenguss herstellen zu können. Der Einsatz eines solchen Rohlings im Schmiede- oder Bearbeitungsprozess würde gegenüber der bisher bekannten Vorgehensweise eine Re-

duzierung der Anzahl von Umformschritten mit anschließender Wärmebehandlung und Endbearbeitung ermöglichen oder sogar die Möglichkeit bieten, bei möglichst endkontur-nahem (net-shape) Guss direkt durch eine Kombination aus Wärmebehandlung und Endbearbeitung das Fertigbauteil herstellen zu können.

**[0005]** Aufgrund der schlechten Gieß Eigenschaften von Titanaluminid-Legierungen sowie deren duktil-spröd-Übergang beim Abkühlen sowie dem äußerst spröden Verhalten bei Raumtemperatur ist das Gießen von vorkonturierten Halbzeugprofilen in Dauerformen, insbesondere von Profilen, die in der Gießform definierte Hinterschneidungen aufweisen, nicht möglich. Dies resultiert insbesondere aus dem Schrumpfverhalten und der Festkörperkontraktion der erkaltenden TiAl Legierung, also der Volumenschwindung. Denn hierdurch kommt es insbesondere im Bereich der Hinterschneidungen zu einer hohen Belastung des Gussteils, die zu einer Schädigung des Gussteils bis hin zur Ausbildung von Rissen oder zum Bruch führen kann.

**[0006]** Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, eine Kokille anzugeben, die den Guss von schlechten Gieß Eigenschaften aufweisenden Werkstoffen, insbesondere Titanaluminid-Legierungen zur Herstellung auch komplex konturierter Metallgegenstände ermöglicht.

**[0007]** Zur Lösung dieses Problems ist bei einer Kokille der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass an wenigstens einem Kokillenteil wenigstens eine Fläche vorgesehen ist, gegen die über den beim Abkühlen schrumpfenden Metallgegenstand kontraktionsbedingt direkt oder indirekt Druck aufbaubar ist, wobei die Fläche derart angeordnet ist, dass die beiden Kokillenteile druckbedingt voneinander wegbewegbar sind und/oder dass wenigstens ein in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens oder eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters betätigbares Aktuatorelement zum Öffnen der Kokille vorgesehen ist.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Kokille zeichnet sich dadurch aus, dass Mittel vorgesehen sind, die es ermöglichen, die Kokille während des Abkühlens des Metalls zu öffnen, um so sich abkühlungs- und schrumpfungsbedingt einstellende Spannungen im Rohling abzubauen, so dass sich diese nicht negativ auf die Eigenschaften des gegossenen Metallgegenstandes auswirken. Zu diesem Zweck sind unterschiedliche Öffnungsmechanismen vorgesehen, die einzeln oder kumulativ vorgesehen sein können.

**[0009]** Gemäß einer ersten Erfindungsalternative wird das Öffnen durch den sich abkühlenden und dabei schrumpfenden Metallgegenstand selbst erwirkt respektive induziert. Um dies zu ermöglichen, ist wenigstens ein Formnest oder ein zusätzlicher Formnestabschnitt außerhalb der eigentlichen Kavität mit wenigstens einer Fläche versehen, gegen die der durch Abkühlen schrumpfende Metallgegenstand kontraktionsbedingt drückt, entweder direkt, indem er an ihr direkt anliegt, oder indirekt, indem der über den Metallgegenstand auf-

gebaute Druck konstruktionsbedingt auf die Fläche übertragen wird. Beim Abkühlen ändert der Metallgegenstand seine Größe, und zwar in jeder Raumrichtung. Die formnestseitige Fläche ist nun derart angeordnet, dass der schrumpfende Metallgegenstand schrumpfungsbedingt gegen diese Fläche direkt drückt bzw. ein aufgebauter Druck gegen diese Fläche wirkt, wobei dieser Druck eine Richtungskomponente oder einen Anteil aufweist, die bzw. der quasi senkrecht zur Trennebene zwischen den beiden Kokillenteilen steht. Über diesen Druck werden die beiden Kokillenteile, die zwar für den eigentlichen Guss fest aufeinander oder aneinander liegen, jedoch druckbedingt auseinander bewegbar sind, voneinander wegbewegt, mithin also geöffnet. Je größer der schrumpfungsbedingte Volumenschwund des Metallgegenstands, mithin also seine Größenänderung, desto weiter werden die Kokillenteile auseinander bewegt. Auf die Formgebung des konturierten Metallgegenstandes hat dieses Öffnen der Kokillenteile keinen Einfluss mehr, da der Metallgegenstand zumindest randseitig und mit zunehmender Abkühlung auch im Volumen bereits erstarrt ist.

**[0010]** Durch dieses in einem Schritt oder sukzessive, durch den Metallgegenstand selbst erwirkte Öffnen der Kokille werden folglich die zwischen dem Metallgegenstand und der Kokille schrumpfungsbedingt entstehenden Spannungen reduziert respektive abgebaut, so dass der Metallgegenstand weitgehend spannungsfrei abkühlen und erstarren kann.

**[0011]** Eine alternative, jedoch auch kumulativ an der Kokille vorsehbare Möglichkeit zum Öffnen der Kokille für einen Spannungsabbau sieht wie beschrieben die Verwendung eines ansteuerbaren bzw. betätigbaren Aktuatorelements zum quasi aktiven Öffnen der Kokille vor, wobei dieses Öffnen in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens des Metallgegenstands oder wenigstens eines unmittelbar an der Kokille gegebenen physikalischen Parameters wie einem gegebenen Druck oder der Kokillentemperatur erfolgt. Gemäß dieser Erfindungsalternative werden die Kokillenteile über wenigstens ein Aktuatorelement quasi aktiv auseinander bewegt respektive ein Auseinanderbewegen ermöglicht, so dass durch diese Kokillenteilbewegung wiederum ein Spannungsabbau möglich ist. Es kann nur ein Aktuatorelement vorgesehen sein, aber auch mehrere verteilt angeordnete Aktuatorelemente, die entsprechend angesteuert werden können bzw. gemeinsam arbeiten. Die Ansteuerung des oder der Aktuatorelemente erfolgt in Abhängigkeit des aktiven Schrumpfungsverhaltens über eine entsprechende Steuerungseinrichtung, worauf nachfolgend noch eingegangen wird. Auch eine quasi passive Betätigung allein über den physikalischen Parameter, insbesondere die Kokillentemperatur ist denkbar. Auch durch ein auf diese Weise erwirktes Öffnen oder Entlasten der Kokille ist folglich ein Spannungsabbau im Metallgegenstand erreichbar.

**[0012]** Wie beschrieben können die beiden verschiedenen Öffnungsvarianten einzeln oder kumulativ, also

einander ergänzend oder unterstützend, vorgesehen sein.

**[0013]** Nachfolgend wird die erste Öffnungsvariante, also die Öffnung der Kokille durch den erstarrenden Metallgegenstand selbst, näher erläutert. Dies geschieht wie beschrieben dadurch, dass der erstarrende Metallgegenstand gegen eine definierte Fläche beim Erstarren und damit Schrumpfen "arbeitet", entweder direkt oder indirekt. Diese Fläche ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung als Schrägfläche ausgeführt, die unter einem Winkel  $>0^\circ$  und  $<90^\circ$  zur Trennebene steht, wobei der Winkel bevorzugt  $\geq 15^\circ$ , insbesondere  $\geq 30^\circ$  und  $\leq 75^\circ$ , insbesondere  $\leq 60^\circ$  sein sollte. Diese Schrägfläche, die je nach Kontur des Metallgegenstands respektive der Kavität eben aber auch etwas gewölbt sein kann, verläuft also weder parallel noch senkrecht zur Trennebene, sondern steht unter einem entsprechenden Winkel, so dass sich beim Erstarren und der Festkörperkontraktion des Metallgegenstands schrumpfungsbedingt eine quasi vertikal zur Trennebene stehende Druckkomponente, mit der der Metallgegenstand gegen die Trennebene und damit gegen das Kokillenteil drückt, einstellt.

**[0014]** Dabei kann die Fläche eine Begrenzungsfläche eines Formnests und damit des Metallgegenstands selbst darstellen. Das heißt, dass der Metallgegenstand so konturiert ist, dass er eine konturbedingte Fläche aufweist, die als Anlauffläche für den Metallgegenstand dient. Die Kokillenteile sind wie beschrieben so miteinander gekoppelt, dass sie durch hinreichenden Druck, den der Metallgegenstand auf eine oder beide Kokillenteile ausübt, auseinander bewegt werden können, sie sind also nicht unbeweglich miteinander verspannt. Alternativ oder zusätzlich kann die Fläche auch im Bereich eines zusätzlichen Formnestabschnitts ausgebildet sein. Die Kavität weist also einen zusätzlichen Bereich auf, der über wenigstens eine derartige Fläche begrenzt ist, über die die Öffnungsmöglichkeit realisiert wird. Ein solcher zusätzlicher Formnestabschnitt kann beispielsweise über einen sogenannten Speiser gebildet werden, also einen Volumenbereich oder Formnestabschnitt, der mit Schmelze gefüllt ist und der quasi ein Schmelzreservoir bietet, aus dem Schmelze bei Bedarf in die "Hauptkavität" nachfließen kann.

**[0015]** In den zuvor beschriebenen Fällen drückt der Metallgegenstand direkt gegen die Fläche. Denkbar ist es aber auch, dass in dem zusätzlichen Formnestabschnitt wenigstens ein Einlegeteil angeordnet ist, das eine komplementäre Fläche aufweist, und gegen das der Metallgegenstand beim Abkühlen drückt, derart, dass das Einlegeteil gegen die Fläche drückt. Hier arbeitet der Metallgegenstand gegen das z.B. keilförmige Einlegeteil und drückt dieses gegen die kokillenteilseitige Fläche, so dass die Kokillenteile auseinander gedrückt werden.

**[0016]** Die Trennebene zwischen den wenigstens zwei Kokillenteilen verläuft bevorzugt im Wesentlichen parallel zur Längsachse des Metallgegenstandes. Die Fläche respektive Schrägfläche steht wie beschrieben unter einem Winkel zu dieser Trennebene. Da die Schrumpfung

respektive Volumenabnahme in Längsrichtung üblicherweise größer als in einer der anderen Raumrichtungen ist, kann hierdurch der benötigte Druck realisiert werden und sich ein hinreichender Öffnungsgrad einstellen.

**[0017]** In einer einfachsten Ausgestaltung sind nur zwei Kokillenteile vorgesehen, die jeweils ein Formnest aufweisen, wobei wenigstens eines der Formnester wenigstens eine Fläche respektive Schrägfläche aufweist, wobei natürlich auch an einem Formnest mehrere solcher Flächen vorgesehen sein können, oder an jedem Formnest eine oder mehrere solcher Flächen realisiert sein können. Denkbar ist es aber auch mehr als zwei Kokillenteile vorzusehen, die jeweils ein Formnest aufweisen und die sich zu der Kavität ergänzen, wobei die wenigstens eine Fläche derart angeordnet ist, dass sich zumindest zwei Kokillenteile schrumpfungsbedingt voneinander wegbewegen, wobei natürlich auch mehrere derartige Flächen vorgesehen sein können. Die konkrete Lage und Anzahl der Flächen, von denen wie beschrieben auch mehrere an einem Formnest oder an den einander ergänzenden Formnestern vorgesehen sein können, richtet sich letztlich nach der Geometrie und der Hinterschneidungslage respektive Hinterschneidungsanzahl des über die Kavität definierten Volumens sowie der Lage der Trennebenen.

**[0018]** Bei den zuvor beschriebenen Ausführungsformen der Kokille befindet sich die oder sind die mehreren Flächen quasi formnestseitig oder formnestnah angeordnet. Alternativ, aber auch zusätzlich dazu, ist es denkbar, dass die Fläche eine äußere Begrenzungsfläche eines Kokillenteils ist, wobei zwei Kokillenteile mit ihren Flächen derart aneinander anliegen, dass sie druckbedingt gegeneinander verschiebbar sind. Die Kokillenteile sind also mit komplementären Schrägflächen aneinander anliegend positioniert. Kontrahiert der Metallgegenstand schrumpfungsbedingt, so baut sich ein auf die Kokillenteile wirkender Druck auf, der erwirkt, dass die beiden über die Schrägflächen gekoppelten Kokillenteile aneinander abgleiten, so dass das eine bewegliche Kokillenteil vom anderen feststehenden Kokillenteil wegbewegt wird. Der Metallgegenstand arbeitet hier quasi indirekt gegen die Flächen.

**[0019]** Dabei können wenigstens drei Kokillenteile vorgesehen sein, wobei ein erstes Kokillenteil zwei unter einem Winkel zueinander verlaufende Flächen aufweist, an denen jeweils ein weiteres Kokillenteil mit einer entsprechenden Fläche anliegt, derart, dass die beiden weiteren Kokillenteile druckbedingt auseinander und relativ zum ersten Kokillenteil bewegbar sind. Das erste Kokillenteil ist hier mit zwei Flächen, die quasi spitz aufeinander zu laufen, randseitig versehen, an denen jeweils ein weiteres Kokillenteil mit seiner Schrägfläche anliegt. Diese beiden weiteren Kokillenteile gleiten druckbedingt auf dem ersten Kokillenteil ab, sie bewegen sich in entgegengesetzte Richtungen voneinander weg und auch relativ zum ersten Kokillenteil. Das erste Kokillenteil besteht bevorzugt aus zwei Einzelteilen, die zum Beispiel über Verbindungsschrauben fest miteinander verbunden

sind, damit der Metallgegenstand entformt werden kann.

**[0020]** Zweckmäßig ist es, wenn die Kokillenteile über Führungsmittel aneinander geführt bewegbar sind. Die Kokillenteile können derart angeordnet und relativ zueinander bewegbar sein, dass die beiden weiteren Kokillenteile bei einer Rotation der Kokille ausgehend von einer Offenstellung in eine Schließstellung bewegbar sind, aus der sie druckbedingt wieder herausbewegbar sind. Es ist also ein zentrifugalkraftbedingter Selbstschließmechanismus vorgesehen. Bei einer Rotation bewegen sich die bewegbaren Kokillenteile in die Schließstellung und schließen die Kokille, so dass die Schmelze zugeführt werden kann. Gegen diesen Selbstschließmechanismus arbeitet zum Entlasten der Metallgegenstand, kontraktionsbedingt werden die Kokillenteile gegen die Zentrifugalkraft zum Spannungsabbau auseinander gedrückt. Dabei können den weiteren Kokillenteilen Spannmittel zugeordnet sein, die bei einer rotationsbedingten Bewegung in die Schließstellung eine Rückstellkraft aufbauen. Die Spannmittel, z.B. entsprechende Federbauteile umfassend Schraubenfedern oder Tellerfederpakete, arbeiten quasi zusammen mit dem Metallgegenstand gegen die Zentrifugalkraft und unterstützen das Aufdrücken der Kokille.

**[0021]** Wie beschrieben werden bei der ersten Erfindungsalternative die Kokillenteile quasi über den erstarrenden Metallgegenstand selbst auseinander gedrückt. Um dies zu ermöglichen, sind die Kokillenteile über Verbindungsabschnitte oder Führungen formschlüssig miteinander verbunden respektive greifen formschlüssig ineinander, wobei die Kokillenteile entweder dadurch in der Schließstellung gehalten werden, dass das Eigengewicht des oder der oberen Kokillenteile größer als der Gießdruck und/oder die Auftriebskraft der Schmelze ist, oder über eine Rückstellkraft erzeugende Klemm- oder Spannmittel, gegen welche Rückstellkraft die Kokillenteile aus der Schließstellung in eine geöffnete Stellung bewegbar sind. Die Kokillenteile sind also über die Verbindungsabschnitte oder Führungen definiert relativ zueinander angeordnet, so dass sich eine definiert geschlossene Kokille mit einer geschlossenen Kavität ergibt. In der einfachsten Ausgestaltung können die Kokillenteile über ihr Eigengewicht in der Schließstellung gehalten werden. Dies ist dann möglich, wenn die Kavität keine allzu komplexe Geometrie aufweist und während des Gießens bzw. Erhaltens nicht rotiert. Das erkaltende Gussteil muss folglich lediglich gegen das Eigengewicht des einen, quasi anzuhebenden Kokillenteils arbeiten. Üblicherweise jedoch sind die Kokillenteile über entsprechende Klemm- oder Spannmittel miteinander verbunden. Diese sind bei der erfindungsgemäßen Kokille nun derart ausgelegt, dass sie einerseits die Kokillenteile hinreichend fest miteinander verbinden, so dass die Kokille auch mit entsprechender Umdrehungszahl, üblicherweise mehreren 100 U/min, z.B. bis zu 400 U/min rotieren kann. Andererseits sind die Klemm- oder Spannmittel derart ausgelegt, dass sie eine Rückstellkraft erzeugen, gegen die eines oder beide Kokillenteile aus der

Schließstellung bewegbar sind. Der Metallgegenstand "arbeitet" also auch gegen diese Rückstellkraft, um die Kokillenteile voneinander zu trennen. Um diese Rückstellkraft zu erzeugen umfassen die Klemm- oder Spannmittel ein oder mehrere Federelemente, beispielsweise Schraubenfedern oder Tellerfedern oder Tellerfederpakete etc., über die die Kokillenteile miteinander verspannt sind.

**[0022]** Die zweite Erfindungsalternative sieht wie eingangs beschrieben den Einsatz wenigstens eines Aktuatorelements vor, über das die Kokillenteile aktive auseinander bewegt werden können. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann ein solches Aktuatorelement ein in seiner Länge veränderbares Aktuatorelement sein, das an zwei voneinander wegzubewegenden Kokillenteilen oder einem Kokillenteil und einem festen Auflager abgestützt ist. Ein solches Aktuatorelement ist beispielsweise ein Stellzylinder, der elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitet. Wird das Aktuatorelement bzw. der Stellzylinder angesteuert, so längt er sich und drückt dabei die Kokillenteile auseinander. Selbstverständlich ist es möglich, auch mehrere Aktuatorelemente bzw. Stellzylinder an verteilten Positionen anzuordnen, insbesondere wenn die Kokille größeren Ausmaßes ist, um eine gleichmäßige Kokillenteilbewegung zu realisieren oder verschiedene Bauteilbereiche freizulegen.

**[0023]** Das Aktuatorelement, das wie beschrieben elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitet, ist bevorzugt über eine Steuerungseinrichtung zur vorzugsweise sukzessiven Öffnung der Kokillenteile in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens steuerbar. Alternativ zum sukzessiven Öffnen besteht die Möglichkeit, das oder die Aktuatorelemente während des Erstarrungs- und Schrumpfungsprozesses nur einmal anzusteuern, um die Kokillenteile durch einen einmaligen, kurzen Bewegungsvorgang von der Schließstellung in die Offenstellung zu bewegen und um den Spannungsabbau zu realisieren. Der Öffnungszeitpunkt wird in Abhängigkeit des Erstarrungs- oder Schrumpfungsverhaltens gewählt, das beispielsweise im Rahmen einer Simulation vorab bestimmt wird. Ist nach Ablauf einer bestimmten Zeit der Erstarrungsablauf soweit fortgeschritten, dass sich eine stabile Randschale ausgebildet hat, so kann das oder können die Aktuatorelemente angesteuert werden, um die Kokille zu öffnen und mögliche Spannungen abzubauen. Bevorzugt wird die Kokille um einen definierten Weg in einem Schritt geöffnet, so dass das Bauteil frei von Spannungen schrumpfen kann. Ein solches Öffnen kann aber auch intermittierend erfolgen, das heißt dass relativ kurze Aktuatorbewegungen erfolgen, so dass zu definierten Zeitpunkten die Kokille quasi schrittweise geöffnet wird. Bevorzugt jedoch wird das oder werden die Aktuatorelemente über die Steuerungseinrichtung zur sukzessiven Öffnung der Kokille in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens angesteuert, das heißt, dass ein geregeltes Nachführen in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens respektive des Spannungsabbaus erfolgt. Die Kokille wird also langsam geöffnet, um

die Entlastung respektive den Spannungsabbau parallel zur Volumenänderung respektive zum Schrumpfungsvorgang vorzunehmen, so dass sich ein geregeltes Nachführen im Hinblick auf sich aufbauende Verspannungen zwischen Gussteil und Kokille einstellt. Die der Kokille zugeordnete oder einen Teil der Kokille respektive der Kokilleneinrichtung bildende Steuerungseinrichtung steuert folglich in jedem Fall den gesamten Öffnungsvorgang.

**[0024]** Alternativ zum aktiven Auseinanderbewegen der Kokillenteile über ein oder mehrere an beiden Kokillenteilen abgestützte Aktuatorelemente ist es denkbar, dass das über eine Steuerungseinrichtung ansteuerbare Aktuatorelement ein Spannmittel, über das zwei Kokillenteile fest miteinander verspannt sind, zum Lösen der Verspannung der Kokillenteile betätigt. Gemäß dieser Erfindungsalternative wird also die Verspannung der Kokillenteile schlagartig gelöst, so dass es zu einem Öffnen der Kokille über den hohen Innendruck kommt, das heißt, dass in diesem Fall die Kokille wiederum über den schrumpfenden Metallgegenstand selbst geöffnet wird. Die Initiierung dieses Öffnens erfolgt jedoch ausschließlich über das oder die Aktuatorelemente, die die Spannmittel, beispielsweise verspannte Federn oder Spannhebel, lösen oder öffnen. Es ist hier also quasi eine Kombination zwischen den beiden unterschiedlichen Möglichkeiten gegeben, wobei hier das Aktuatorelement nicht zum aktiven Öffnen der Kokille selbst dient, sondern zum aktiven Lösen der Spannmittel und damit zur Initiierung des eigenen Öffnungsvorgangs selbst. Der Öffnungszeitpunkt wird so gewählt, dass es trotz schrumpfungsbedingter Verspannung zwischen dem Metallgegenstand und der Kokille nicht zu einer negativen Beeinflussung des Metallgegenstands kommt.

**[0025]** Sind mehrere Spannmittel vorgesehen, so ist bevorzugt jedem Spannmittel ein separat ansteuerbares Aktuatorelement zugeordnet. Diese werden bevorzugt simultan angesteuert, um die Spannmittel gleichzeitig zu lösen.

**[0026]** Wie beschrieben erfolgt die Ansteuerung des oder jedes Aktuatorelements in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens des Metallgegenstands. Es geht also in die Steuerung die Volumenkontraktion respektive die Festigkeit der Randschicht des Gussteils ein. Da die Kokillenparameter wie Größe der Kavität und damit das Schmelzvolumen, das Kokillenmaterial und dessen Wärmeleitfähigkeitseigenschaften sowie die Kokillenwandstärke etc. bekannt sind, kann das Erstarrungs- und Schrumpfungsverhalten abgeschätzt werden und das oder jedes Aktuatorelement über die Steuerungseinrichtung zeitgesteuert angesteuert werden. Es wird also bestimmt, wie sich der Schrumpfungsvorgang mit der Zeit verhält, um anhand des Schrumpfungsverlaufs eine zeitbasierte Steuerung vorzunehmen. Alternativ ist es auch denkbar, dass die Steuerung des Öffnungsvorgangs druckbasiert durch entsprechende Sensoren in der Kokille realisiert wird. Alternativ oder zusätzlich ist auch eine temperaturbasierte Steuerung über ein kokil-

lenseitiges Thermoelement denkbar. Nach einer weiteren Alternative ist es auch denkbar die Steuerung der Aktuatorelemente in Abhängigkeit einer Simulation des Schrumpfungs- oder Erstarrungsvorgangs vorzunehmen. In der Steuerungseinrichtung läuft also gestützt auf eine Reihe an Randbedingungen respektive Simulationsparametern eine Simulation des Schrumpfungs- oder Erstarrungsvorgangs der Metallschmelze ab. Diese Simulation ist nun Basis für die Steuerung des oder jedes Aktuatorelements, sei es ein Aktuatorelement, über das die Kokillenteile aktiv auseinander bewegt werden, sei es ein Aktuatorelement, über das ein Spannmittel oder dergleichen betätigt wird.

**[0027]** Das oder jedes Aktuatorelement arbeitet wie beschrieben elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch. Es ist über eine oder mehrere entsprechende Versorgungsleitungen mit einer Steuerungseinrichtung im Falle eines elektrisch arbeitenden Aktuatorelements oder einer Pumpe oder Fördereinrichtung im Falle eines hydraulisch oder pneumatisch arbeitenden Aktuatorelements verbunden. Die Versorgungsleitungen sind so zum Aktuatorelement respektive zur Kokille zu führen, dass eine etwaige Kokillenrotation möglich ist. Wie beschrieben erfolgt der Guss üblicherweise unter Vakuum, bei entsprechend hoher Temperatur und einer Rotation mit mehreren 100 U/min, z.B.  $\leq 400$  U/min.

**[0028]** Wie zuvor beschrieben wird bevorzugt ein in seiner Länge veränderbares Aktuatorelement oder mehrere solcher Aktuatorelemente verwendet. Neben dem Einsatz eines solchen Elements in Form eines Stellzylinders ist es alternativ denkbar, als Aktuatorelement ein Metallelement zu verwenden, das seine Länge in Abhängigkeit der Temperatur der Kokille verändert. Auch hier erfolgt das Öffnen in Abhängigkeit eines kokillenseitig gegebenen Parameters, nämlich der Temperatur. Ein solches Metallelement besteht aus einem Material mit einem möglichst hohen Wärmedehnungskoeffizienten, so dass es mit zunehmender Temperatur seine Länge entsprechend stark ändert, mithin sich also längt, wodurch die beiden Kokillenteile, an denen das Metallelement festgelegt ist, auseinander gedrückt werden. Der Temperatureintrag erfolgt direkt über die sich während des Erstarrens und Abkühlens erwärmende Kokille, in der das Metallelement, von denen natürlich auch mehrere verteilt vorgesehen sein können, angeordnet ist. Der Grad der Erwärmung der Kokille ist ein Maß für den Erstarrungsgrad des Metallgegenstands, so dass ein Öffnen der Kokille zum Spannungsabbau auch hierdurch möglich ist. Das Metallelement ist z.B. an beiden relativ zueinander zu bewegenden Kokillenteilen in entsprechenden vorzugsweise formkompatiblen Aufnahmen oder Vertiefungen angeordnet, so dass ein guter Wärmeübergang von der Kokille auf das Metallelement möglich ist. Das Metallelement weist z.B. die Form eines Stiftes oder Bolzens auf.

**[0029]** In Weiterbildung der Erfindung kann in einem oder mehreren Kokillenteilen ein ein Kühlmittel führender Kühlmittelkanal vorgesehen sein. Über diesen Kühlmittel-

kanal ist ein gezieltes Kühlen der Kokille und damit eine gezielte Wärmeabfuhr möglich. Hierüber kann folglich die Erstarrung und Abkühlung beeinflusst werden. Auch eine gezielte Vorwärmung oder Temperierung der Kokille ist hierüber möglich. Als Kühlmittel wird üblicherweise ein Fluid verwendet, beispielsweise Öl, Wasser oder Druckluft. Sind mehrere Kühlmittelkanäle vorgesehen, so können diese unterschiedlich temperiert oder bedient werden, um unterschiedliche Abkühlbedingungen in verschiedenen Kokillenbereichen zu erzielen. Der Kühlmittelkanal, wobei natürlich auch mehrere Kühlmittelkanäle vorgesehen sein können, kann so geführt werden, dass gezielt bestimmte Kokillenteilbereiche gekühlt werden, um beispielsweise Bereiche des Metallgegenstandes mit einem hohen Volumen stärker zu kühlen als andere Bereiche oder Ähnliches. Ist ein oder sind mehrere solcher Kühlkanäle vorgesehen so geht die Kühlwirkung in die Bestimmung der Steuerparameter zur Ansteuerung des oder der Aktuatorelemente ein, beispielsweise werden entsprechende Kühlparameter im Rahmen der Simulation berücksichtigt. Zur weiteren Steuerung der Kühlung und damit Beeinflussung der Erstarrung und Abkühlung kann an einem oder mehreren Kokillenteilen ein oder mehrere eine höhere oder niedrigere Wärmeleitfähigkeit als das Kokillenmaterial aufweisende Metalleinlage, beispielsweise aus Kupfer, eingebracht sein und/oder ein oder mehrere Kokillenteile zur Änderung der Kokillendicke außenseitig lokal aufgedickt oder abgetragen sein. Die Anbringung oder Integration einer oder mehrerer Metalleinlagen führt dazu, dass Wärme besser vom Kokillenneinneren nach außen abgeführt werden kann, als dies durch das Kokillenmaterial der Fall wäre. Wird alternativ oder zusätzlich die Kokillendicke lokal reduziert, ergibt sich ebenfalls eine Verbesserung, da die Wärme schneller abgeführt werden kann. Die Kokille selbst ist bevorzugt eine metallene Dauerform. Sie besteht aus einem Metallwerkstoff wie beispielsweise Gusseisen, Stahl, Kupfer, Niob oder Molybdän sowie etwaigen hieraus gebildeten Legierungen. Grundsätzlich können alle metallenen Werkstoffe verwendet werden, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften und chemischen Beständigkeit gegenüber der Metallschmelze, bevorzugt der TiAl-Schmelze verwendet werden können.

**[0030]** Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines hochbelastbaren Bauteils aus einer  $\alpha$  +  $\gamma$  - TiAl-Legierung für Kolbenmaschinen und Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerke, bei welchem eine Schmelze aus einer TiAl-Legierung bereitgestellt wird, welche in einem Zentrifugal-Schleudergussverfahren in eine oder mehrere Kokillen zu einem oder mehreren vorkonturierten Halbzeugen für eine schmiede- und/oder bearbeitungstechnische Weiterverarbeitung zum Fertigteil vergossen wird, wobei die oder jede Kokille eine Kavität mit wenigstens einer Hinterschneidung und eine oder mehrere ebene oder freigeformte Trennebenen besitzt und durch einen durch die Kontraktion des abkühlenden Bauteils erzeugten inneren Druck selbst und/oder

über ein in Abhängigkeit eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters ansteuerbares oder betätigbares Aktuatorelement während des Erstarrungs- und Abkühlprozesses geöffnet wird.

**[0031]** Neben der Kokille selbst betrifft die Erfindung ferner ein Verfahren zum Gießen eines konturierten Metallgegenstands unter Verwendung einer Kokille umfassend wenigstens zwei lösbar miteinander verbindbare Kokillenteile mit jeweils wenigstens einem Formnest, wobei sich die Formnester bei geschlossener Kokille zu einer Kavität mit wenigstens einer Hinterschneidung ergänzen und längs einer ebenen oder frei geformten Trennebene voneinander lösbar sind, insbesondere einer Kokille der zuvor beschriebenen Art. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass nach dem Einbringen einer Schmelze in die Kavität die Kokille zum Abbau eines schrumpfungsbedingt im Inneren entstehenden Drucks geöffnet wird, wobei die Kokille durch den im Inneren entstehenden Druck selbst geöffnet wird und/oder durch ein oder mehrere in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens oder eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters ansteuerbare oder betätigbare Aktuatorelemente geöffnet wird.

**[0032]** Der durch Abkühlen insbesondere über seine Längsachse schrumpfende Metallgegenstand drückt erfindungsgemäß schrumpfungs- oder kontraktionsbedingt direkt oder indirekt gegen eine Fläche, die derart angeordnet ist, dass die beiden Kokillenteile druckbedingt voneinander wegbewegt werden.

**[0033]** Das oder jedes Aktuatorelement kann über die Steuerungseinrichtung zeitgesteuert, druckgesteuert, temperaturgesteuert oder in Abhängigkeit einer Simulation des Schrumpfungs- oder Erstarrungsvorgangs angesteuert werden.

**[0034]** Die verschiedenen Öffnungsmechanismen können entweder separat oder kumulativ genutzt werden.

**[0035]** Erfindungsgemäß wird ein Metallgegenstand aus einer Titanaluminid-Legierung, insbesondere ( $\alpha+\gamma$ )-Titanaluminid-Legierung gegossen, also aus einem schlechte Gießeigenschaften und ein äußerst sprödes Verhalten bei Raumtemperatur aufweisenden Material. Als Kokille wird eine metallene Dauerform verwendet, aus einem Metall oder einer Metalllegierung, das oder die physikalische und chemische Eigenschaften aufweist, die einen TiAl-Guss erlauben respektive hinreichend gegenüber diesem Material beständig sind.

**[0036]** Bevorzugt, jedoch nicht zwingend, wird eine Kokille der zuvor beschriebenen Art verwendet.

**[0037]** Sämtliche Ausführungen betreffend die Kokille gelten in gleicher Weise für das erfindungsgemäße Verfahren, und umgekehrt.

**[0038]** Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnung. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Kokille in einer

Schnittansicht,

Fig. 2 eine Prinzipdarstellung eines Metallgegenstands einer ersten Ausführungsform, beispielsweise für die Herstellung einer Niederdruckturbinenschaufel,

Fig. 3 eine Prinzipdarstellung einer Kokille einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 4 eine Prinzipdarstellung eines Metallgegenstands einer zweiten Ausführungsform, beispielsweise für die Herstellung einer Niederdruckturbinenschaufel, in einer Seitenansicht a) und einer Draufsicht b), der in der Kokille nach Fig. 3 gegossen werden kann,

Fig. 5 eine erfindungsgemäße Kokille einer ersten Ausführungsform in drei Ansichten zur Erläuterung des Öffnungsvorgangs der Kokille,

Fig. 6 eine erfindungsgemäße Kokille einer zweiten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 7 eine erfindungsgemäße Kokille einer dritten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 8 eine erfindungsgemäße Kokille einer vierten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 9 eine erfindungsgemäße Kokille einer fünften Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 10 eine erfindungsgemäße Kokille einer sechsten Ausführungsform mit randseitigen Ausnehmungen,

Fig. 11 eine erfindungsgemäße Kokille einer siebten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 12 eine erfindungsgemäße Kokille einer achten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 13 eine erfindungsgemäße Kokille einer neunten Ausführungsform in drei Ansichten,

Fig. 14 eine erfindungsgemäße Kokille einer zehnten Ausführungsform in zwei Ansichten,

Fig. 15 die Kokille aus Fig. 14 in drei weiteren Ansichten, und

Fig. 16 eine erfindungsgemäße Kokille einer elften Ausführungsform in drei Ansichten.

**[0039]** Fig. 1 zeigt eine Kokille 1 bestehend aus zwei Kokillenteilen 2a, 2b, die jeweils ein Formnest 3a, 3b aufweisen. In der zusammengesetzten Form ergänzen sich

die beiden Formnester 3a, 3b und definieren eine Kavität 4, die zum Gießen eines konturierten Metallgegenstandes mit Schmelze zu füllen ist.

**[0040]** Die beiden Kokillenteile 2a, 2b sind voneinander längs einer im gezeigten Beispiel ebenen Trennebene 5 trennbar, um den ausgehärteten Metallgegenstand aus der Kavität 4 entnehmen zu können.

**[0041]** Im gezeigten Beispiel ist die Kavität 4 zum Gießen eines Metallgegenstandes zur Herstellung einer Niederdruckturbinenschaufel ausgelegt. Die Kavität 4 weist ein über ihre Längsachse variierendes Volumen mit zwei randseitigen größeren Volumenbereichen 6a, 6b sowie einen mittleren, schmäleren Volumenbereich 6c auf. Ersichtlich weisen die Volumenbereiche 6a, 6b jeweils Hinterschneidungen auf, resultierend aus der Durchmesservergrößerung. Sie sind über schräg verlaufende Flächen 7a, 7b bzw. 8a, 8b begrenzt, wobei diese Flächen unter einem Winkel  $\alpha$  bzw.  $\beta$  zur Trennebene 5 verlaufen. Die Volumenabschnitte 6a, 6b können rotationssymmetrisch, also rund sein, sie können aber auch drei-, vier- oder mehreckig oder freigeformt sein, je nach gewünschter Form.

**[0042]** Fig. 2 zeigt ein Beispiel eines Metallgegenstandes 9, der mit einer Kokille 1 gemäß Fig. 1 gegossen werden kann. Dieser Metallgegenstand 9 dient wie beschrieben exemplarisch zur Herstellung einer Niederdruckturbinenschaufel. Er zeichnet sich durch ein Deckband 10, das im Volumenbereich 6b abgebildet wird, einen Schaufelfuß 11, der im Volumenbereich 6a abgebildet wird, und einen Schaufelblatt 12, der im Volumenbereich 6c abgebildet wird, aus. Seine Form entspricht der der Kavität 4, er ist lediglich schrumpfungsbedingt etwas kleiner vom Volumen, verglichen mit dem Volumen der Kavität 4. Hierauf wird nachfolgend noch eingegangen.

**[0043]** Fig. 4 zeigt in einer Seitenansicht a) und einer Draufsicht b) eine zweite Ausführungsform eines Metallgegenstandes 9, der gleichermaßen zur Herstellung einer Niederdruckturbinenschaufel geeignet ist und der in einer Kokille 1 gemäß Fig. 3 gegossen werden kann. Dieser Metallgegenstand 9' weist ebenfalls ein Deckband 10', einen Schaufelfuß 11' sowie ein Schaufelblatt 12' auf. An ihm ist jedoch, seitlich vorspringend, ein Speiser 13 angeformt, der einen Materialnachfluss in den eigentlichen Raum der Kavität 4 ermöglicht. Dieser Speiser 13 dient also als Materialreservoir. Die Kavität 4 weist hierzu, siehe Fig. 3, einen entsprechenden, seitlich erweiterten Formnestabschnitt 6d auf. Dieser Formnestabschnitt weist, resultierend aus der Geometrie des Speisers, zwangsläufig entsprechend schräge Flächen 15a, 15b auf, damit die schrägen Flächen 14a und 14b des Speisers 13 gebildet werden können. Diese Flächen sind in Fig. 3 gezeigt. In Fig. 3 ist im oberen Teil a) exemplarisch eine Schnittansicht durch die beiden Kokillenteile 2a, 2b gezeigt, während Fig. 3 im Teil b) eine Draufsicht auf das Kokillenteil 2b, also das untere Kokillenteil, zeigt.

**[0044]** Quasi ausgehend von der Grundform gemäß Fig. 1 ist im Volumen der Kavität 4 ein zusätzlicher Volumenbereich 6d realisiert, der der Bildung des Speisers

13 dient. Dieser ist über entsprechende Schrägflächen 15a und 15b definiert. Auch die Flächen 15a, 15b stehen ersichtlich unter einem Winkel  $\gamma$  zur Trennebene 5 der Kokillenteile 2a, 2b. Der Winkel der Flächen 15a, 15b ist hier exemplarisch gleich, er kann aber auch unterschiedlich sein.

**[0045]** Beim Gießen derartiger Metallgegenstände 9, 9', wie in den Fig. 2 und 4 gezeigt, beispielsweise aus einer Titanaluminid-Legierung stellt sich eine beachtliche Volumenkontraktion des Gussteils während der Abkühlung ein, der zu hohen Spannungen des in der Kavität 4 eingeschlossenen Metallgegenstandes führen würde, da die Volumenschrumpfung über die Hinterschneidungen im Bereich der Volumenabschnitte 6a, 6b respektive 6d behindert wäre. Um einen Spannungsabbau zu realisieren ist jedoch, wie in den nachfolgenden Fig. 5 - 9 gezeigt wird, eine Möglichkeit angegeben, wie die Kokille 1 definiert geöffnet werden kann, um einen Spannungsabbau zu realisieren.

**[0046]** Fig. 5 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kokille bestehend aus den beiden Kokillenteilen 2a, 2b. Diese sind über Führungen 17 geführt aufeinander gesetzt. Im Bereich der Führungen 17 sind Spannmittel 18 beispielsweise in Form von Federelementen 26 vorgesehen, über die die beiden Kokillenteile 2a, 2b gegeneinander verspannt werden.

**[0047]** Ausgehend vom Bildabschnitt a) wird zunächst die Schmelze in die Kavität der Kokille 1 eingebracht, die sodann langsam in der Kokille 1 erstarrt, so dass sich der Metallgegenstand 9 (gleichermaßen könnte auch der Metallgegenstand 9' gebildet werden) bildet.

**[0048]** Mit zunehmender Erstarrung und Abkühlung schrumpft der Metallgegenstand 9, wie im Figurenteil b) gezeigt ist. Über die beiden Pfeile 19 ist angedeutet, dass sich das Volumen insbesondere axial reduziert, das heißt, dass sich der Metallgegenstand quasi verkürzt. Nachdem der Metallgegenstand randseitig, gegebenenfalls bereits im gesamten Volumen erstarrt ist, kommt es dazu, dass der Metallgegenstand 9 gegen die Flächen 7a, 7b respektive 8a, 8b drückt. Da diese Flächen unter einem Winkel  $\alpha$  respektive  $\beta$ , der  $>0^\circ$  und  $<90^\circ$  ist und bevorzugt im Bereich zwischen  $20 - 70^\circ$ , insbesondere zwischen  $30 - 60^\circ$  liegt, zur Trennebene stehen, ergibt sich eine Druckkomponente in Richtung des Pfeils 20, wie im Figurenteil b) gezeigt. Es baut sich also ein Innendruck auf. Aufgrund der Schrägstellung der entsprechenden Flächen 7a, 7b, 8a, 8b relativ zur Trennebene 5 wird nun das obere Kokillenteil 2a vom unteren Kokillenteil 2b weggedrückt. Dies geschieht gegen die Rückstellkraft der Federelemente 26, die hierbei zusammengedrückt werden. Ersichtlich öffnet sich die Kokille, gemäß Teilfigur b) ist das obere Kokillenteil 2a vom unteren Kokillenteil 2b bereits etwas beabstandet. Die Winkel der Flächen können gleich sein, sie können aber auch in unterschiedlichen Bauteilbereichen unterschiedlich groß sein.

**[0049]** Nimmt die Abkühlung und damit der Volumenkontraktion weiter zu, wie in Teilfigur c) durch die Pfeile

19 gezeigt ist, so drückt respektive arbeitet der Metallgegenstand 9 immer weiter respektive stärker gegen die entsprechenden Flächen 7a, 7b, respektive 8a, 8b, so dass die Kokille immer weiter geöffnet wird. Die Federelemente 26 werden immer weiter zusammengedrückt. Der Schrumpungs- und Öffnungsgrad ist in den Figuren (dies gilt für alle Figuren) übertrieben dargestellt, um das Funktionsprinzip darstellen zu können.

**[0050]** Dadurch, dass die Kokille in diesem Fall sukzessive durch den sukzessiven schrumpfenden Metallgegenstand geöffnet wird, wird hierüber zwangsläufig die Spannung zwischen Metallgegenstand und Kokillenteilen 2a, 2b abgebaut. Diese abgebauten Spannungen können sich nicht mehr schädlich auf den Metallgegenstand auswirken. Das Öffnen der Kokille erfolgt hier allein durch den schrumpfenden Metallgegenstand selbst.

**[0051]** Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kokille 1, die im gezeigten Beispiel aus vier Kokillenteilen 2a, 2b, 2c und 2d besteht, die jeweilige Formnester 3a, 3b, 3c und 3d aufweisen, die in ihrer Gesamtheit wiederum die Kavität 4 bilden. Die Kokillenteile 2a und 2c sind über eine im gezeigten Beispiel horizontale Trennebene 5 von den unteren Kokillenteilen 2b, 2d getrennt. Die Kokillenteile 2a und 2b ihrerseits sind über eine vertikale Trennebene 5' von den Kokillenteilen 2c und 2d getrennt.

**[0052]** Im gezeigten Beispiel sind die Kokillenteile 2a, 2b wiederum über entsprechende Führungen 17 geführt miteinander verbunden, wobei den Führungen 17 wiederum entsprechende Spannmittel 18 in Form von Federelementen 26 zugeordnet sind. Die Form der Kavität entspricht angenommenermaßen der wie zu Fig. 5 beschrieben, also der des Metallgegenstands 9. Gleichermäßen könnte die Kavität 4 aber auch die Form aufweisen, wie sie der Metallgegenstand 9' zeigt.

**[0053]** Gemäß Teilfigur 6a wird auch hier zunächst Schmelze in die Kavität 4 der Kokille 1 eingebracht, die zur Bildung des Metallgegenstands 9 erstarrt. Es kommt wiederum mit zunehmender Erstarrung und Abkühlung zu einer Volumenkontraktion, wie durch die Pfeile 19 dargestellt ist, die primär in Längsrichtung des Metallgegenstands 9 gegeben ist. Der Metallgegenstand 9 drückt auch hier gegen die Flächen 7a, 7b respektive 8a, 8b, die hier an den einzelnen Kokillenteilen 2a - 2d realisiert sind. Resultierend aus dem Druck ergibt sich wiederum eine Druckkomponente in Richtung der Pfeile 20. Dies führt dazu, dass die Kokillenteile 2a, 2b auseinander bewegt werden, wie Teilfigur b und insbesondere bei fortschreitender Abkühlung die Teilfigur c zeigt. Die Kokille 1 wird abschnittsweise geöffnet, es kommt wiederum zum Spannungsabbau, auch wenn hier nur ein abschnittsweises Öffnen der Kokille erfolgt.

**[0054]** Würde ein Metallgegenstand 9' gegossen, so hätte die Kavität die in Fig. 3 gezeigte Form. Zum Öffnen würde der Metallgegenstand 9' in diesem Fall nicht nur gegen die Schrägflächen 7a, 7b, 8a und 8b drücken respektive arbeiten, sondern zusätzlich gegen die Schrägflächen 15a, 15b, das heißt, dass auch der erstarrende

Speiser 13 dazu dient, die Kokillenöffnung gegen die Rückstellkraft der Federelemente 26 zu erwirken.

**[0055]** Fig. 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kokille 1 wiederum bestehend exemplarisch aus den beiden Kokillenteilen 2a, 2b, bei welcher Kokille 1 ein Aktuatorelement 21 vorgesehen ist, über das die Kokille 1 aktiv geöffnet werden kann.

**[0056]** Das Aktuatorelement 21 ist im gezeigten Beispiel an den beiden Kokillenteilen 2a, 2b an entsprechenden Lagerbereichen 23a, 23b abgestützt. Es handelt sich beispielsweise um einen Stellzylinder 22, der elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch betätigt wird, wozu entsprechende, hier nicht näher gezeigte Versorgungs- oder Steuerleitungen zum Aktuatorelement 21 geführt sind.

**[0057]** Angenommenermaßen wird wiederum ein Metallgegenstand 9 gegossen, das heißt, die Kavität 4 weist die bezüglich Fig. 1 detailliert beschriebene Geometrie auf. Gleichermäßen könnte auch hier ein Metallgegenstand 9' mit einer entsprechenden Kavitätsgeometrie gegossen werden.

**[0058]** Nach Eingießen der Schmelze erstarrt der Metallgegenstand 9, wie in Teilfigur a gezeigt ist. Es kommt, wie Teilfigur b zeigt und durch die Pfeile 19 angedeutet ist, zu einem Volumenschwund und damit einer Kontraktion in Längsrichtung des Metallgegenstands 9, so dass sich im Inneren wiederum Spannungen im Metallgegenstand 9 aufbauen. Um diese zu kompensieren wird das Aktuatorelement 21 respektive der Stellzylinder 22 über eine nicht näher gezeigte Steuerungseinrichtung angesteuert, so dass er die Kokillenteile 2a, 2b auseinander bewegt, wie in den Teilfiguren b, c durch die Pfeile 20 dargestellt ist. Zwar arbeitet auch hier der Metallgegenstand 9 gegen die entsprechenden schrägstehenden Flächen 7a, 7b, 8a, 8b, jedoch ist dieser Lasteintrag in die Kokille nicht respektive nicht allein dafür verantwortlich, die Kokille zu öffnen. Die Kokillenöffnung kann entweder ausschließlich durch das Aktuatorelement 21 erfolgen, oder durch das Aktuatorelement 21, unterstützt durch die "Arbeit" des Metallgegenstands.

**[0059]** Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kokille 1, die - vergleichbar mit Fig. 6 - ebenfalls aus vier Kokillenteilen 2a, 2b, 2c und 2d besteht. Vergleichbar mit Fig. 7 sind auch hier die beiden Kokillenteile 2a, 2b über ein Aktuatorelement 21, vorzugsweise einen Stellzylinder 22, der an entsprechenden Lagerabschnitten 23a, 23b aufgelagert ist, gekoppelt.

**[0060]** Wie Fig. 8 deutlich zeigt, werden hier mit zunehmendem Schrumpfen des Metallgegenstands 9, der exemplarisch auch hier gegossen wird, die Kokillenteile 2a, 2b über das Aktuatorelement 21 auseinander gefahren und die Kokille, siehe insbesondere Teilfigur c, geöffnet, so dass es zum Spannungsabbau kommt. Zwar drücken auch hier, wie durch die Pfeile 19 dargestellt ist, die entsprechenden Flanken des Metallgegenstands 9 gegen die entsprechenden schrägen Flächen 7a, 7b, 8a, 8b der Kokillenteile 2a, 2d, jedoch ist dieser Druck nicht

respektive nicht ausschließlich für das Öffnen der Kokille verantwortlich. Das Öffnen der Kokille respektive das Auseinanderfahren der Kokillenteile 2a, 2b wird allein durch das Aktuatorelement 21 initiiert, der Druck des Metallgegenstands gegen die entsprechenden Schrägflächen wirkt allenfalls unterstützend.

**[0061]** Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kokille 1, die wiederum nur aus zwei Kokillenteilen 2a, 2b besteht, die über entsprechende Führungen 17 mit zugeordneten Spannelementen 18 umfassend die Federelemente 26 miteinander verspannt sind. Es sei wiederum angenommen, dass ein Metallgegenstand 9 mit der entsprechenden Geometrie gegossen wird, das heißt, die Kavität 4 weist die bezüglich Fig. 1 beschriebene Form auf. Vorgesehen ist auch hier ein Aktuatorelement 21, beispielsweise wiederum ein Stellzylinder 22, der an einem Auflagerabschnitt 23a des Kokillenteils 2a angeordnet ist, während er mit seinem anderen Ende an einem positionsfesten Auflager 24 angeordnet ist.

**[0062]** Nach Eingießen der Schmelze kommt es auch hier zu einer Erstarrung und Abkühlung und damit einer Volumenkontraktion seitens des Metallgegenstandes 9. Dieser arbeitet, siehe Teilfigur 2b, wiederum gegen die schrägen Flächen 7a, 7b, 8a, 8b. Dieser Druck führt dazu, dass es zu einem Öffnen der Kokille 1 kommt. Das Aktuatorelement 21 unterstützt diesen Öffnungsvorgang, bewegt also das Kokillenteil 2a vom Kokillenteil 2b weg. Hier wirken also die beiden Öffnungsmechanismen zusammen, das heißt, dass die Öffnung sowohl durch den auf die Kokillenteile 2a, 2b drückenden, schrumpfenden Metallgegenstand 9 als auch den sich längenden Stellzylinder 22 erwirkt wird. In der in Teilfigur c gezeigten Offenstellung sind die Kokillenteile 2a, 2b hinreichend weit auseinander gefahren, es ist ein entsprechender vollständiger Spannungsabbau gegeben. Wie durch die Pfeile 19 und 20 dargestellt, hat sich einerseits der Metallgegenstand 9 in Längsrichtung verkürzt, gleichzeitig aber wurde auch das Kokillenteil 2a relativ vom Kokillenteil 2b wegbewegt.

**[0063]** Die Ansteuerung des Aktuatorelements 21, also beispielsweise des Stellzylinders, erfolgt, wie lediglich in Fig. 9 exemplarisch dargestellt ist, über eine Steuerungseinrichtung 25. Die Ansteuerung kann zeitgesteuert erfolgen, das heißt, dass nach Ablauf einer bestimmten Zeit nach Einbringen der Schmelze das Aktuatorelement 21 - gleich welche Kokillenausführungsform nun betrachtet wird - kontinuierlich betätigt wird, um sukzessive das Kokillenteil 2a vom Kokillenteil 2b zu trennen. Neben einer zeitbasierten Ansteuerung ist auch eine druckbasierte oder temperaturbasierte Ansteuerung denkbar. Alternativ ist es denkbar, die Ansteuerung auch auf Basis einer Simulation, die den Schrumpfungs- und Erstarrungsvorgang des Metallgegenstands 9 simuliert, vorzunehmen.

**[0064]** Exemplarisch ist in Fig. 9 des Weiteren in jedem Kokillenteil 2a, 2b ein Kühlmittelkanal 27 dargestellt, der über eine nicht näher gezeigte Kühlmittelversorgung mit

Kühlmittel versorgt wird. Hierüber können die Kokillenteile entsprechend gekühlt werden. Als Kühlmittel wird beispielsweise Öl oder Wasser oder Luft verwendet, oder eine Kombination mindestens zweier dieser Kühlmittel. Diese Kühlung geht, sofern die Steuerungseinrichtung 25 über eine Simulation arbeitet, in die Simulation mit ein.

**[0065]** Zusätzlich oder alternativ können auch Materialeinlagen an den Kokillenteilen vorgesehen sein, die die Wärmeabfuhr beeinflussen, die also eine höhere oder geringere Wärmeleitfähigkeit als das Kokillenmaterial aufweisen.

**[0066]** Auch besteht die Möglichkeit, an der Kokille außenseitig Veränderungen der lokalen Kokillendicke vorzunehmen, z.B. durch Materialabtrag oder Materialauftrag, um die lokale Wärmeabfuhr zu beeinflussen. Ein Prinzipbeispiel ist in Fig. 10 gezeigt, wo die Kokille 1 an den Seiten Ausnehmungen 28 aufweist.

**[0067]** Fig. 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kokille 1, bei der der Metallgegenstand selbst keine entsprechenden Schrägflächen aufweist, gleichwohl aber Hinterscheidungen in der Kavität 4 vorgesehen sind. Hier sind die Schrägflächen an den aneinander anliegenden Stoßseiten der Kokillenteile vorgesehen, derart, dass im Falle einer Längenkontraktion des erstarrenden Metallgegenstandes die beiden beweglichen Kokillenteile auf den Schrägflächen des feststehenden Kokillenteils abgleiten und es so zur Kokillenöffnung kommt.

**[0068]** Vorgesehen sind drei Kokillenteile 2a, 2b und 2c. Das feststehende Kokillenteil 2a, das aus zwei lösbar miteinander verschraubten Einzelteilen (nicht näher gezeigt) zur Ermöglichung der Entformung des Metallgegenstands 9 besteht, weist zwei schräge Flächen 7a, 7b auf, die quasi keilförmig aufeinander zulaufen. Jedes der beweglichen Kokillenteile 2b, 2c weist eine Schrägfläche 8a bzw. 8b auf, wobei in der geschlossenen Form die Kokillenteile 2b, 2c formschlüssig aneinander und über die schrägen Flächen 8a, 8b an den Flächen 7a, 7b anliegen.

**[0069]** Gezeigt ist die bereits eingegossene Schmelze zur Bildung des Metallgegenstandes 9, der hier quasi knochenförmig in der Prinzipdarstellung gezeigt ist, wobei kavitäts- und metallgegenstandsseitig keine Schrägflächen vorgesehen sind. Zum Verspannen der Kokillenteile 2b und 2c sind auch hier wieder entsprechende Führungen 17 mit Spannmitteln 18 umfassend die Federelemente 26 vorgesehen.

**[0070]** Die Teilfigur 11 b zeigt die Kokille 1 während des Gießprozesses, beispielsweise während der Rotation der Kokille 1. Wie durch die Pfeile 19 auch hier dargestellt, kontrahiert der Metallgegenstand 9 schrumpfungsbedingt insbesondere entlang seiner Längsachse. Der verbreiterte Bereich 29 des Metallgegenstandes 9 drückt kontraktionsbedingt innerhalb seiner Teilkavität gegen die entsprechenden hinterschnittenen Flanken an den Kokillenteilen 2b, 2c. Dies führt dazu, dass die beiden Kokillenteile 2b und 2c mit ihren schrägen Flächen 8a, 8b auf den schrägen Flächen 7a, 7b des Kokillenteils 2a

abgleiten und es auf diese Weise sukzessive zu einer Kokillenöffnung und damit zu einem Spannungsabbau kommt. Die Kokillenöffnung ist durch die Pfeile 20 dargestellt. Die geöffnete Kokille ist in Teilfigur 2c dargestellt, wo ersichtlich ist, dass die Kokillenteile 2b und 2c einerseits relativ zum feststehenden Kokillenteil 2a, andererseits auch relativ zueinander verschoben sind.

**[0071]** Sofern die Kokille nach dem teilweisen Erstarren und der Ausbildung einer stabilen Randschicht nicht mehr rotiert, kann der Öffnungsvorgang im Wesentlichen auch allein durch die gespannten Federelemente 2b realisiert werden, die die Kokillenteile 2b, 2c in die Offenstellung ziehen, quasi dem Volumenschwund folgend.

**[0072]** Fig. 12 zeigt ein vergleichbares Ausführungsbeispiel einer solchen Kokille 1, bei der wiederum drei Kokillenteile 2a, 2b und 2c vorgesehen sind, wobei die Kokillenteile 2b und 2c relativ zum feststehenden Kokillenteil 2a beweglich sind. Sie sind über entsprechende Führungen 30 relativ zum Kokillenteil 2a beweglich geführt.

**[0073]** Die Kavität 4 weist auch hier exemplarisch keine Schrägflächen auf, wiederum weist die Kavität eine Art Knochenform auf.

**[0074]** Fig. 12a zeigt den Ausgangszustand der Gießform. In diesem Ausgangszustand sind die beiden Kokillenteile 2b und 2c quasi geöffnet. Die Kokille 1 ist also nicht geschlossen.

**[0075]** Das Schließen erfolgt erst, wenn bei diesem Ausführungsbeispiel die Kokille 1 in Rotation versetzt wird, wobei die wirkenden Zentrifugalkräfte dazu führen, dass die beiden Kokillenteile 2b, 2c, über die Führungen 30 geführt, mit ihren schrägen Flächen 8a, 8b auf den schrägen Flächen 7a, 7b des Kokillenteils 2a abgleiten und, wie durch die Pfeile 31 dargestellt ist, in die Schließstellung bewegt werden. In dieser Position kann die Schmelze zugeführt werden, um den Metallgegenstand 9 zu gießen.

**[0076]** Auch hier erstarrt der Metallgegenstand und kontrahiert über seine Längsachse, wie durch die Pfeile 19 dargestellt ist. Diese Längenkontraktion und die damit auf die Kokillenteile 2b, 2c ausgeübte, in Richtung der Längsachse wirkende Kraft wirkt der Zentrifugalkraft entgegen. Da die kontraktionsbedingte Kraft deutlich größer ist als die Zentrifugalkraft kommt es mit zunehmendem Erstarren und damit Schrumpfen des Metallgegenstandes 19 dazu, dass die Kokillenteile 2b, 2c, wie durch die Pfeile 20 dargestellt ist, auseinanderbewegt werden, sie gleiten mit ihren schrägen Flächen 8a, 8b auf den schrägen Flächen 7a, 7b des feststehenden Kokillenteils ab. Auch hierüber kann folglich der Spannungsabbau erreicht werden.

**[0077]** Fig. 13 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Kokille 1, das dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 12 nahe kommt, was den grundsätzlichen Aufbau der Kokille 1 sowie das Funktionsprinzip angeht. Diesbezüglich wird auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen.

**[0078]** Anders als bei der Ausführungsform nach Fig.

12 ist hier jedem beweglichen Kokillenelement 2b, 2c ein Rückstellelement 32 umfassend ein Federelement 33 vorgesehen, das jeweils an einem Auflager 34 befestigt ist und mit dem anderen Ende mit dem Kokillenteil 2b bzw. 2c gekoppelt ist.

**[0079]** In der Ausgangsstellung gemäß Teilfigur 13a sind auch hier die Kokillenteile 2b, 2c geöffnet und relativ zum Kokillenteil 2a verschoben. Die Federelemente 33 sind entspannt respektive kontrahiert.

**[0080]** Das Schließen der Kokille 1 erfolgt auch hier durch die Zentrifugalkraft während der Rotation, wie durch die Pfeile 31 dargestellt ist. Die Zentrifugalkraft führt dazu, dass die Kokillenteile 2b, 2c mit ihren schrägen Flächen 8a, 8b auf den schrägen Flächen 7a, 7b des feststehenden Kokillenteils 2a, über die Führungen 30 geführt, abgleiten. Hierbei kommt es zu einer Längung des jeweiligen Federelements 33, so dass dieses eine Rückstellkraft aufbaut. Diese Rückstellkraft wirkt also der Zentrifugalkraft entgegen. Sie unterstützt den über den erstarrenden Metallgegenstand 9 induzierten Öffnungsvorgang, wie er in Teilfigur 13c dargestellt ist. Der entlang seiner Längsachse schrumpfende Metallgegenstand, siehe die Pfeile 19, drückt, wie bereits zu Fig. 12 beschrieben, gegen die Kokillenteile 2b, 2c, so dass diese wiederum auf dem Kokillenteil 2a abgleiten. Diese Gleitbewegung wird durch die Federelemente 33, die sich hierbei wieder kontrahieren, unterstützt.

**[0081]** Sofern die Kokille nach dem teilweisen Erstarren und der Ausbildung einer stabilen Randschicht nicht mehr rotiert, kann der Öffnungsvorgang im Wesentlichen auch allein durch die gespannten Federelemente 2b realisiert werden, die die Kokillenteile 2b, 2c in die Offenstellung ziehen, quasi dem Volumenschwund folgend.

**[0082]** Fig. 14 zeigt eine Ausführungsform einer Kokille 1, exemplarisch bestehend aus zwei Kokillenteilen 2a, 2b und zwar in Teilfigur 14a in einer Seitenansicht und in Teilfigur 14b in einer Draufsicht auf die untere Kokillenhälfte 2b.

**[0083]** Der Öffnungsvorgang wird hier über mehrere thermisch aktivierbare Stellelemente 35 in Form von Metallstiften 36 erwirkt.

**[0084]** Exemplarisch ist hier wiederum eine Kavität 4 gezeigt, deren Geometrie der Kavität 4 aus den Figuren 1 - 9 entspricht, die also über entsprechende Schrägflächen 7a, 7b und 8a, 8b verfügt, gegen die der Metallgegenstand 9 drückt. Der Öffnungsprozess kann über diesen bereits vorstehend beschriebenen Mechanismus zusätzlich unterstützt werden, er kann aber auch allein über die Stellelemente 35 erwirkt werden.

**[0085]** Bei den Stellelementen 35 respektive den Metallelementen 36, die die Form von Bolzen oder Stiften haben, handelt es sich um Metallelemente mit einem möglichst hohen Wärmedehnungskoeffizienten. Jedes Metallelement 36 ist in entsprechenden Aufnahmen 37 an den beiden Kokillenteilen 2a, 2b aufgenommen, wobei die Geometrie der Aufnahmen 37 bevorzugt der Geometrie des Metallelements 36 entspricht, so dass ein guter

Wärmeübergang von Kokille zum Metallelement gegeben ist. Denn die Erwärmung der Metallelemente 36 erfolgt ausschließlich über die Kokille 1. Nach Eingießen der Schmelze erwärmt sich zwangsläufig während des Abkühlens des Metallgegenstandes 9 die Kokille 1. Hierüber kommt es auch zu einer Erwärmung der Metallgegenstände 36. Diese sind derart ausgelegt, dass sie erwärmungsbedingt eine Extension in Längsrichtung vornehmen, sie längen sich also. Da sie beidseits an den Kokillenteilen 2a, 2b aufgelagert sind, führt eine Längung zwangsläufig dazu, dass die Kokillenteile 2a, 2b auseinandergedrückt werden, so dass die Kokille 1 geöffnet wird. Dies ist exemplarisch Fig. 15 gezeigt.

**[0086]** Teilfigur 15a zeigt die Situation nach dem Einbringen der Schmelze zur Bildung des Metallgegenstandes 9. Mit zunehmendem Abkühlen und Erstarren kommt es zur Längskontraktion, wie die Pfeile 19 anzeigen. Gleichzeitig längen sich aber auch die Metallelemente 36, von denen in Fig. 15 schnittbedingt nur eines gezeigt ist. Es kommt zum Auseinanderdrücken der Kokillenteile 2a, 2b und damit zum Öffnen der Kokille 1, wie durch den Pfeil 20 angedeutet ist. Dieser Öffnungsvorgang erfolgt im gezeigten Beispiel wieder gegen die Rückstellkraft der Spannmittel 18, wobei auch hier die Kokillenteile über Führungen 17 definiert relativ zueinander bewegbar sind. Der Öffnungsvorgang kann im Wesentlichen allein durch die Metallelemente 36 erreicht werden, oder im Zusammenwirken mit dem Metallgegenstand 9.

**[0087]** Fig. 16 zeigt schließlich eine Kokille 1, die ähnlich der Kokille aus Fig. 3 aufgebaut ist. Sie besteht aus zwei Kokillenteilen 2a, 2b und weist einen zusätzlichen seitlichen Formnestabschnitt auf, der über schräge Flächen 15a, 15b begrenzt ist. Dieser Formnestabschnitt ermöglicht das Ausbilden eines Speisers 13 am Metallgegenstand 9, wie in Teilfigur 16a gezeigt. In dem Formnestabschnitt ist jedoch zusätzlich ein Einlegeteil 37 aufgenommen, das keilförmig ist und entsprechende schräge Flächen 38a, 38b aufweist, mit denen es an den schrägen Flächen 15a, 15b anliegt. Der Speiser 13 bildet sich in unmittelbarem Anschluss an das Einlegeteil 37 aus. Der Speiser 13 weist exemplarisch eine rundliche Geometrie auf, kann aber auch anders geformt sein.

**[0088]** Wird die Schmelze eingegossen und erstarrt der Metallgegenstand 9, so kontrahiert er wieder über seine Längsachse, wie die Pfeile 19 zeigen. Der Speiser 13 arbeitet gegen das Einlegeteil 37, das, wie durch den Pfeil 39 dargestellt ist, ebenfalls in Richtung der Längsachse verschoben wird. Es drückt mit seinen schrägen Flächen 38a, 38b gegen die schrägen Flächen 15a, 15b der beiden Kokillenteile 2a, 2b, so dass es zum Öffnen der Kokille 1 kommt, wie durch den Pfeil 20 dargestellt ist. Teilfigur 16c zeigt die geöffnete Kokille 1. Hier drückt also der Metallgegenstand 9 über das Einlegeteil 37 indirekt gegen die Flächen der Kokillenteile 2a, 2b. Der Öffnungsvorgang kann entweder nur über diesen über das Einlegeteil 37 ausgeübten Druck erfolgen, oder in Unterstützung durch den ebenfalls entsprechende Schrägflächen aufweisenden Metallgegenstand 9, der

gegen die entsprechenden schrägen Flächen der Kokillenteile 2a, 2b drückt.

**[0089]** Die erfindungsgemäße Kokille, gleich welcher Ausführungsform, wird insbesondere dazu verwendet, einen Metallgegenstand respektive ein Halbzeug mit einer über die Längsachse variierenden Volumenverteilung für eine schmiede- und/oder bearbeitungstechnische Weiterverarbeitung zum Fertigteil herzustellen. Das Fertigteil kann insbesondere, jedoch nicht ausschließlich für den Einsatz in einer Kolbenmaschine oder einer Gasturbine, insbesondere in Flugtriebwerken, vorgesehen sein.

**[0090]** Wie beschrieben wird bevorzugt eine Titanaluminid-Legierung zur Bildung des Metallgegenstands 9 oder 9' verwendet. Eine solche Legierung kann folgende Zusammensetzung (in Atom%) aufweisen:

40 - 49% Al

1-10%Nb

0,01 - 10% wenigstens eines der Elemente Mo, Cr, Mn oder B

sowie ein Rest aus Ti und erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

**[0091]** Besonders bevorzugt wird eine Legierung folgender Zusammensetzung (in Atom%):

42 - 48,5% Al

1,5 - 5,5% Nb

0,05 - 5% wenigstens eines der Elemente Mo, Cr, Mn oder B

sowie ein Rest aus Ti und erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

**[0092]** In weiterer Konkretisierung wird bevorzugt eine Legierung folgender Zusammensetzung (in Atom%) verwendet:

43,3 - 48,2% Al

1,8 - 4,2% Nb

0,07 - 2,7% wenigstens eines der Elemente Mo, Cr, Mn oder B

sowie ein Rest aus Ti und erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

**[0093]** Als weitere Legierungselemente können Ta, Si, V oder C enthalten sein. Dies gilt für alle vorgenannten Zusammensetzungen.

**[0094]** Beim Gießprozess wird eine solche Legierung erschmolzen, was beispielsweise durch VIM (Vacuum Induction Melting), VAR (Vacuum Arc Remelting) oder PAM (Plasma Arc Melting) erfolgen kann und anschließend in die Gießform gegossen, in der die Schmelze in der beschriebenen Weise erstarrt. Der Guss erfolgt dabei entweder statisch, druckunterstützt oder in einer Kombination aus beiden, wobei vorzugsweise das Zentrifugal-Schleudergussverfahren zum Einsatz kommt. Dabei wird die Schmelze aus dem Schmelztiegel/-behälter in ein ro-

tierendes Gießsystem, bestehend aus einem Schmelzeverteiler, Laufsystem und der oder den Kokillen, gegossen. Das Schmelzen der Legierung sowie der Guss erfolgt bevorzugt unter Vakuum, wahlweise auch bei chemisch inerte Atmosphäre unter Schutzgas.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines hochbelastbaren Bauteils aus einer  $\alpha + \gamma$ -TiAl-Legierung für Kolbenmaschinen und Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerke, bei welchem eine Schmelze aus einer TiAl-Legierung bereitgestellt wird, welche in einem Zentrifugal-Schleudergussverfahren in eine oder mehrere Kokillen zu einem oder mehreren vorkonturierten Halbzeugen für eine schmiede- und/oder bearbeitungstechnische Weiterverarbeitung zum Fertigteil vergossen wird, wobei die oder jede Kokille eine Kavität mit wenigstens einer Hinterschneidung und eine oder mehrere ebene oder freigeformte Trennebenen besitzt und durch einen durch die Kontraktion des abkühlenden Bauteils erzeugten inneren Druck selbst und/oder über ein in Abhängigkeit eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters ansteuerbares oder betätigbares Aktuatorelement während des Erstarrungs- und Abkühlprozesses geöffnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durch Abkühlen schrumpfende Metallgegenstand (9, 9') kontraktionsbedingt gegen eine Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) drückt, wobei die Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) derart angeordnet ist, dass die beiden Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) druckbedingt voneinander wegbewegt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes Aktuatorelement (21) über die Steuerungseinrichtung (25) zeitgesteuert, druckgesteuert, temperaturgesteuert oder in Abhängigkeit einer Simulation des Schrumpfungs- oder Erstarrungsvorgangs angesteuert wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird umfassend wenigstens zwei lösbar miteinander verbindbare Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) mit jeweils wenigstens einem Formnest (3a, 3b, 3c, 3d), wobei sich die Formnester (3a, 3b, 3c, 3d) bei geschlossener Kokille (1) zu einer Kavität (4) mit einem längs einer Achse variierenden Volumen mit einer oder mehreren Hinterschneidungen ergänzen und längs einer ebenen oder freigeformten Trennebene (5) voneinander lösbar sind, wobei an wenigstens einem Kokillenteil wenigstens eine Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) vorgesehen ist, gegen die über den beim Abkühlen schrumpfenden Metallgegenstand (9, 9') kontraktionsbedingt direkt oder indirekt Druck aufbaubar ist, wobei die Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) derart angeordnet ist, dass die beiden Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) druckbedingt voneinander wegbewegbar sind, und/oder wobei wenigstens ein in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens oder eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters betätigbares Aktuatorelement (21) zum Öffnen der Kokille (1) vorgesehen ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der
  - entweder die Kokillenteile in der Schließstellung verbindende Klemm- oder Spannmittel vorgesehen sind, die derart ausgelegt sind, dass sie eine Rückstellkraft erzeugen, gegen die die Kokillenteile durch den schrumpfenden Metallgegenstand aus der Schließstellung drückbar sind,
  - oder die Kokillenteile durch Rotation in die Schließstellung bewegbar sind und Spannmittel vorgesehen sind, die bei einer Bewegung in die Schließstellung eine Rückstellkraft aufbauen, wobei die Kokillenteile sowohl durch den schrumpfenden Metallgegenstand als auch die Rückstellkraft aus der Schließstellung drückbar sind,
  - oder die Kokillenteile in der Schließstellung fest miteinander verspannende Spannmittel vorgesehen sind, die über einen in Abhängigkeit des Schrumpfungsverhaltens oder eines kokillenseitig gegebenen physikalischen Parameters betätigbaren, über eine Steuerungseinrichtung ansteuerbaren Aktuator zum Öffnen der Kokille lösbar und die Kokillenteile durch den schrumpfenden Metallgegenstand aus der Schließstellung drückbar sind.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) als Schrägfläche aufgeführt ist, die unter einem Winkel ( $\alpha, \beta, \gamma$ )  $>0^\circ$  und  $<90^\circ$  zur Trennebene (5) steht, wobei vorzugsweise der Winkel ( $\alpha, \beta, \gamma$ )  $\geq 15^\circ$ , insbesondere  $\geq 30^\circ$  und  $\leq 75^\circ$ , insbesondere  $\leq 60^\circ$  ist.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Fläche (7a, 7b, 8a, 8b) an einem Formnest (3a, 3b) vorgesehen ist und eine Begrenzungsfläche des Metallgegenstands (9) darstellt, oder dass die Fläche (15a, 15b) im Bereich eines zusätzlichen Formnestabschnitts (6d) ausgebildet ist, wobei vorzugsweise in dem zusätzlichen Formnestabschnitt (6d) wenigstens ein Einlegeteil (37) angeordnet ist, das eine komplementäre Fläche

(38a, 38b) aufweist, und gegen das der Metallgegenstand (9) beim Abkühlen drückt, derart, dass das Einlegeteil (37) gegen die Fläche (15a, 15b) drückt.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, die mehr als zwei Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) aufweist, die jeweils ein Formnest (3a, 3b, 3c, 3d) aufweisen, die sich zu der Kavität (4) ergänzen, wobei die wenigstens eine Fläche (7a, 7b, 8a, 8b, 15a, 15b) derart angeordnet ist, dass sich zumindest zwei Kokillenteile (2a, 2b) schrumpfungsbedingt voneinander wegbewegen.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Fläche (7a, 7b, 8a, 8b) eine äußere Begrenzungsfläche eines Kokillenteils (2a, 2b, 2c) ist, wobei zwei Kokillenteile (2a, 2b, 2c) mit ihren Flächen (7a, 7b, 8a, 8b) derart aneinander anliegen, dass sie druckbedingt gegeneinander verschiebbar sind.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der wenigstens drei Kokillenteile (2a, 2b, 2c) vorgesehen sind, wobei ein erstes Kokillenteil (2a) zwei unter einem Winkel zueinander verlaufende Flächen (7a, 7b) aufweist, an denen jeweils ein weiteres Kokillenteil (2b, 2c) mit einer entsprechenden Fläche (8a, 8b) anliegt, derart, dass die beiden weiteren Kokillenteile (2b, 2c) druckbedingt auseinander und relativ zum ersten Kokillenteil bewegbar sind.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Kokillenteile (2a, 2b, 2c) über Führungsmittel (30) aneinander geführt bewegbar sind.
12. Verfahren nach Anspruch 10 und 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Kokillenteile (2a, 2b, 2c) derart angeordnet und relativ zueinander bewegbar sind, dass die beiden weiteren Kokillenteile (2b, 2c) bei einer Rotation der Kokille (1) ausgehend von einer Offenstellung in eine Schließstellung bewegbar sind, aus der sie vorzugsweise druckbedingt wieder herausbewegbar sind.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) über Verbindungsabschnitte oder Führungen (17) formschlüssig ineinandergreifen.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der die Klemm- oder Spannmittel

(18) ein oder mehrere Federelemente (26) umfassen, über die die Kokillenteile (2a, 2b, 2c, 2d) miteinander verspannt sind.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kokille verwendet wird, bei der mehrere Spannmittel vorgesehen sind, denen jeweils ein separat ansteuerbares Aktuatorelement (21) zugeordnet ist.
16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes Aktuatorelement (21) über die Steuerungseinrichtung (25) zeitgesteuert, druckgesteuert oder temperaturgesteuert oder in Abhängigkeit einer Simulation des Schrumpfungs- oder Erstarrungsvorgangs angesteuert wird.
17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Aktuatorelement (21) elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitet.

FIG. 1

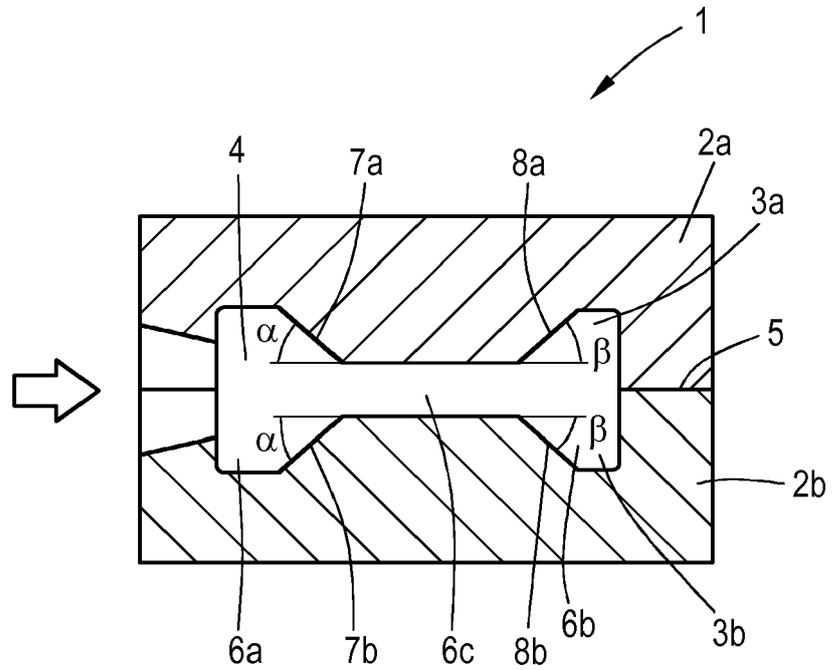


FIG. 2

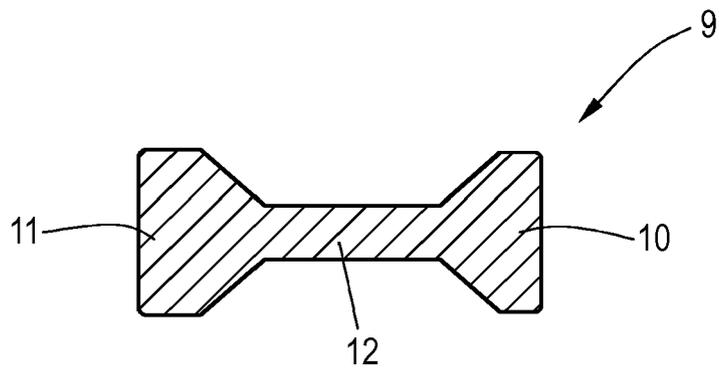


FIG. 3

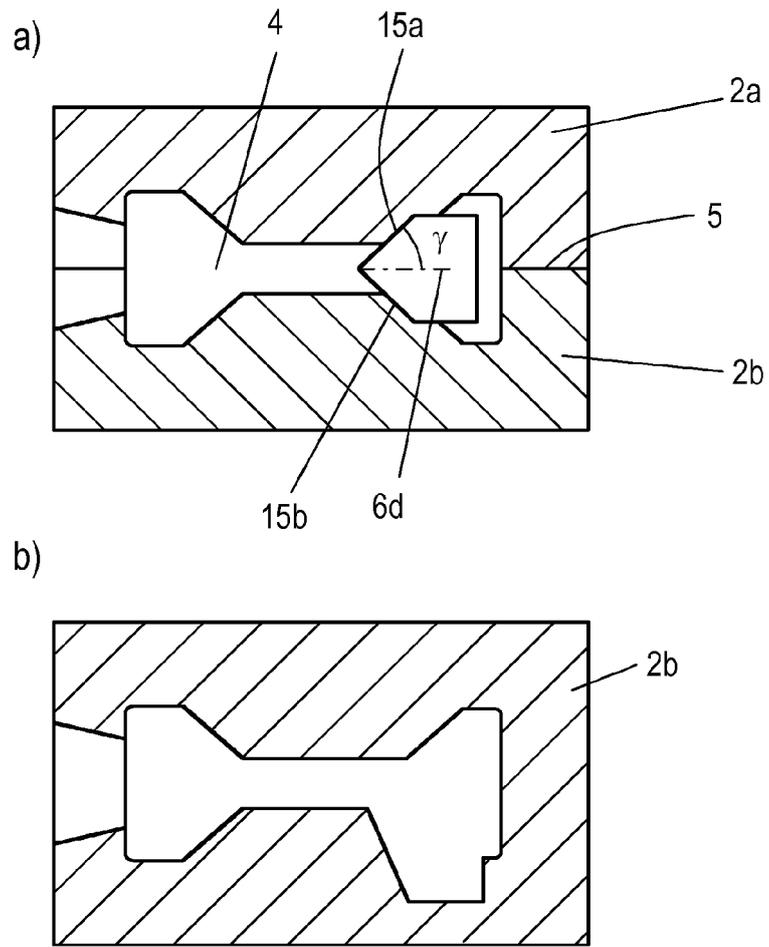


FIG. 4

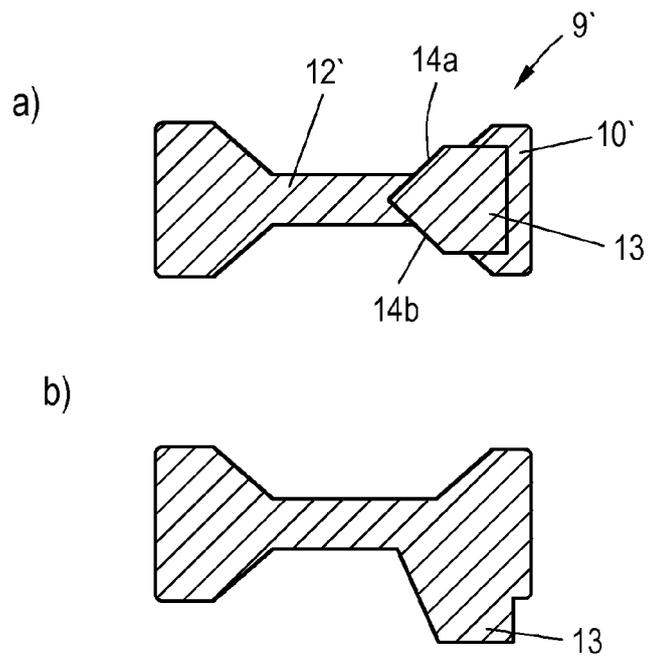


FIG. 5

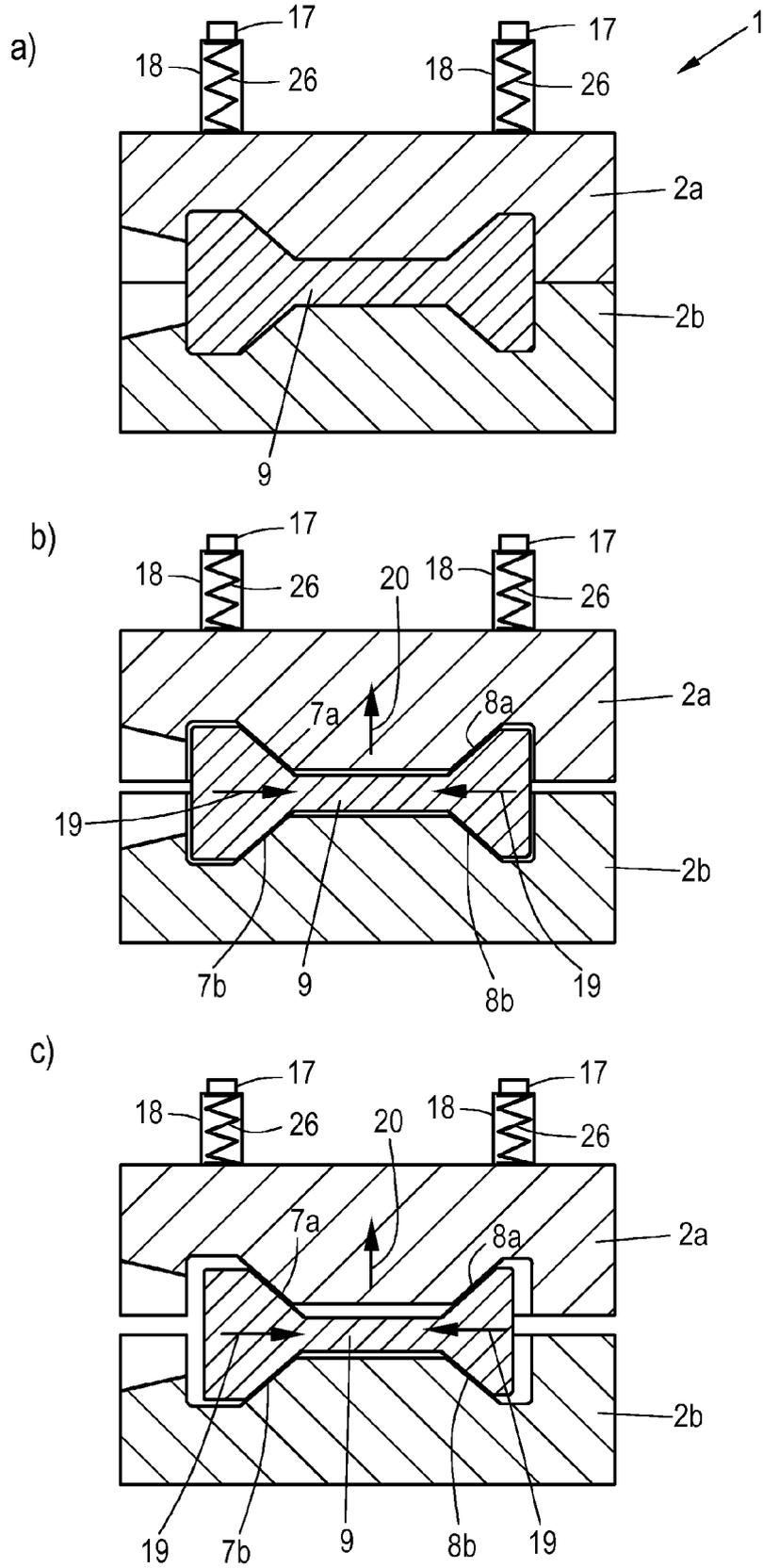


FIG. 6

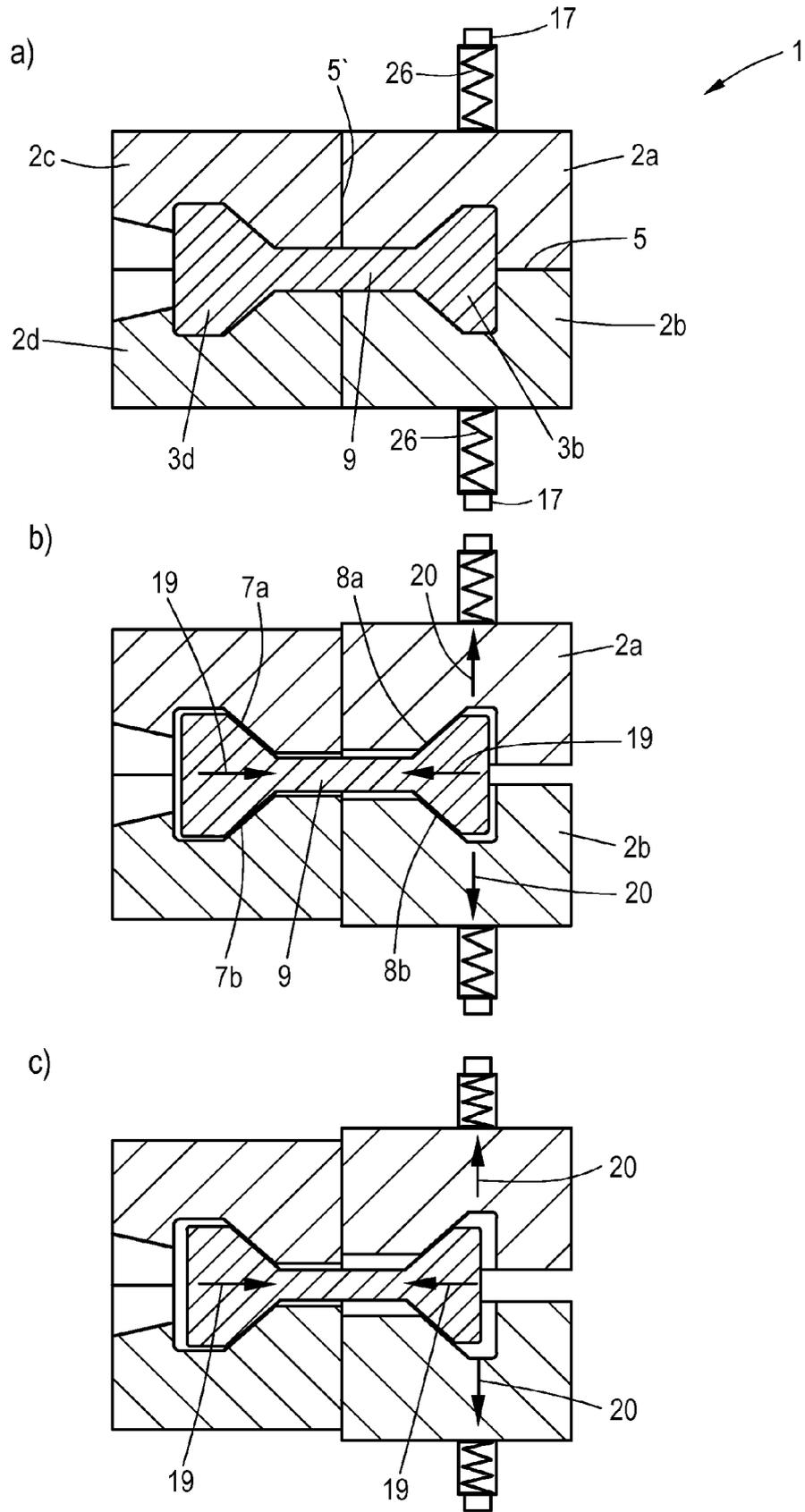


FIG. 7

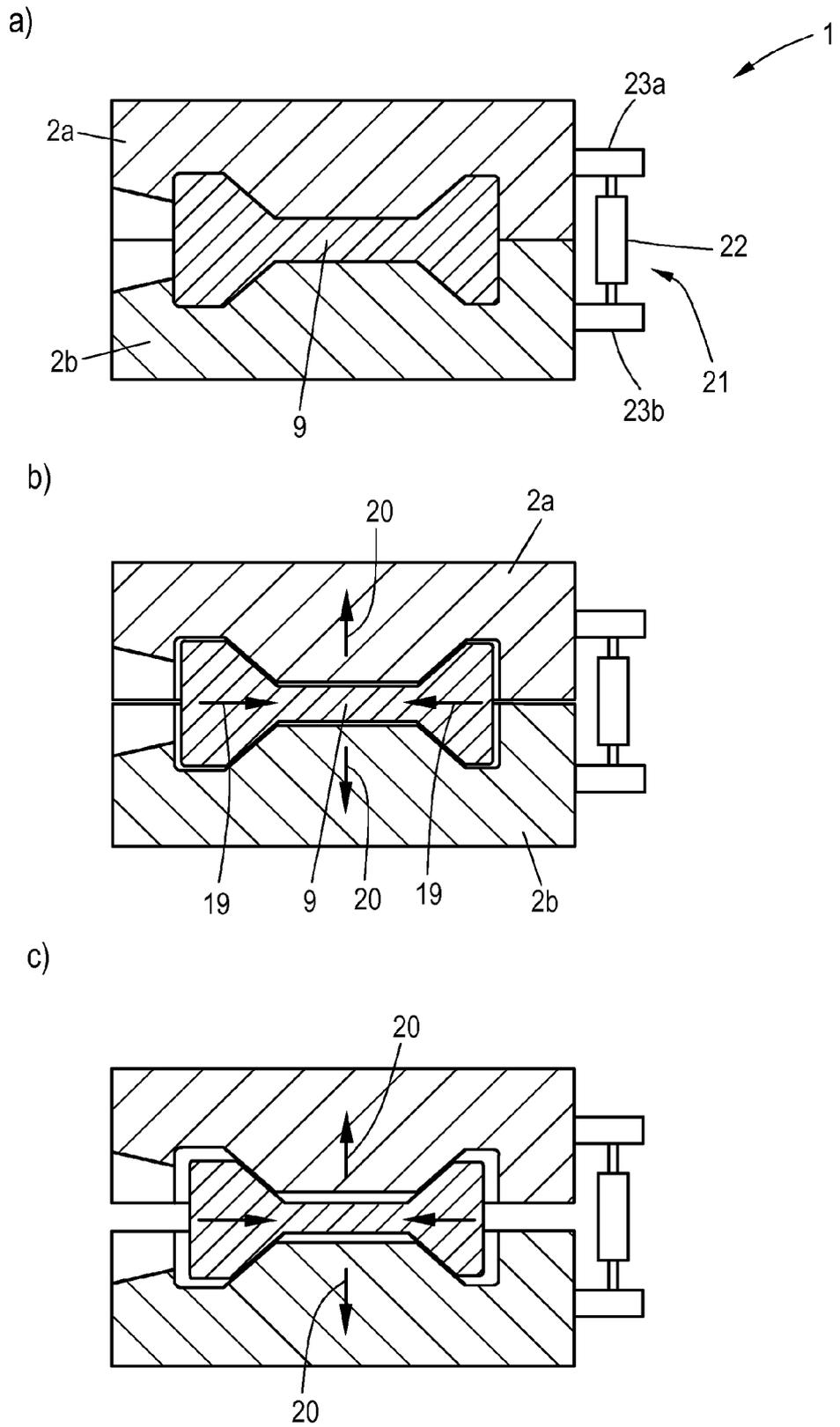


FIG. 8

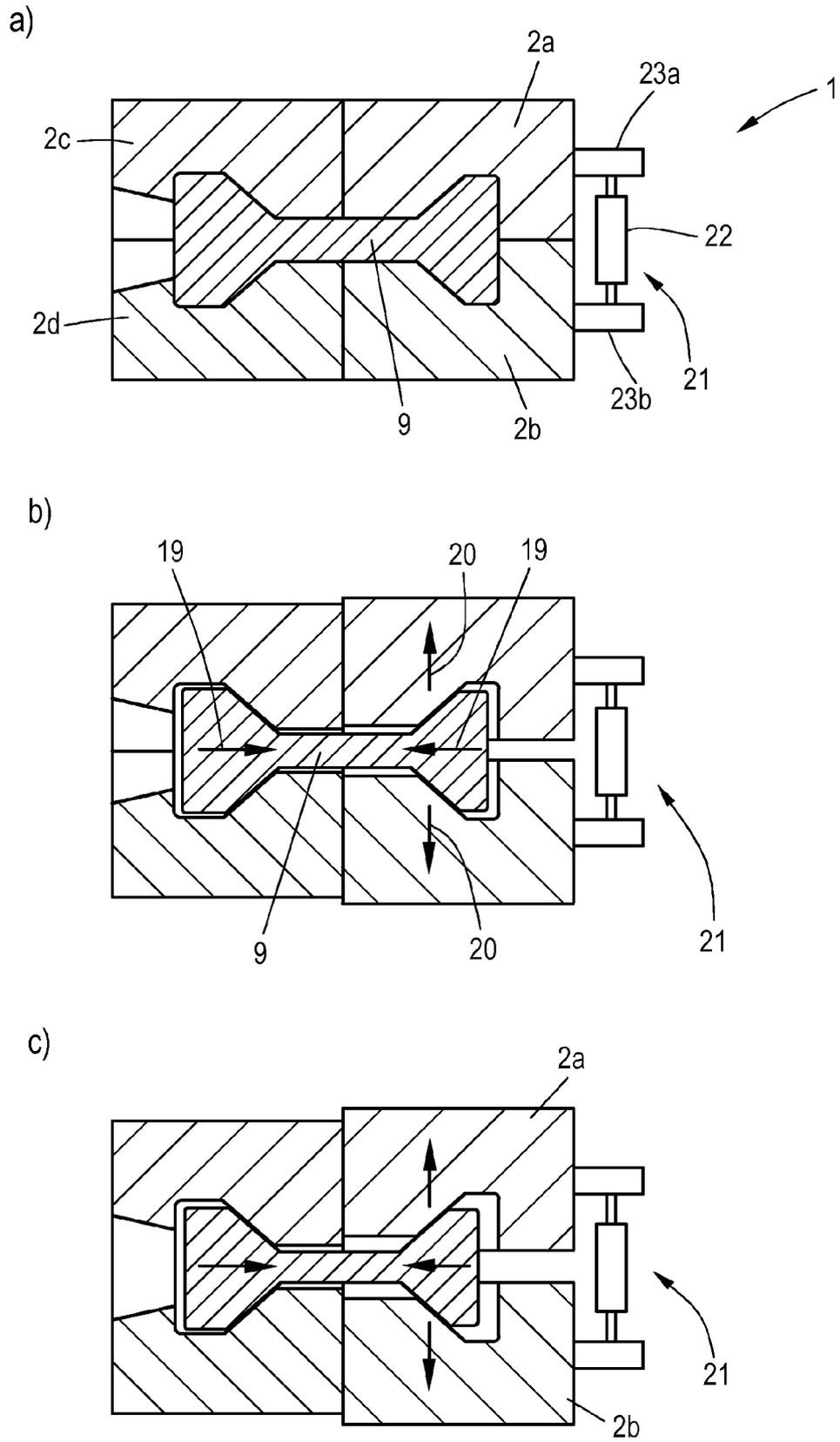


FIG. 9

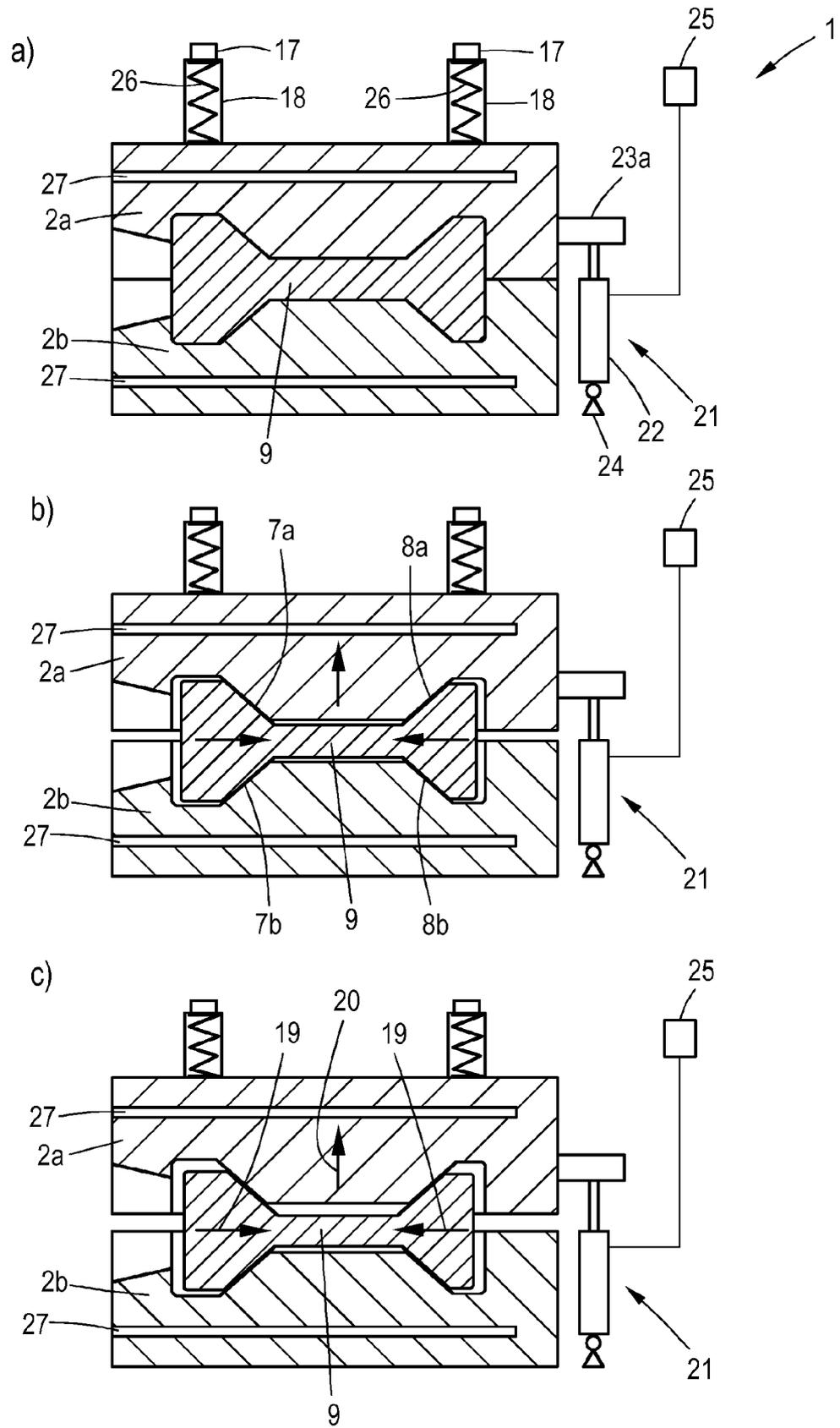


FIG. 10

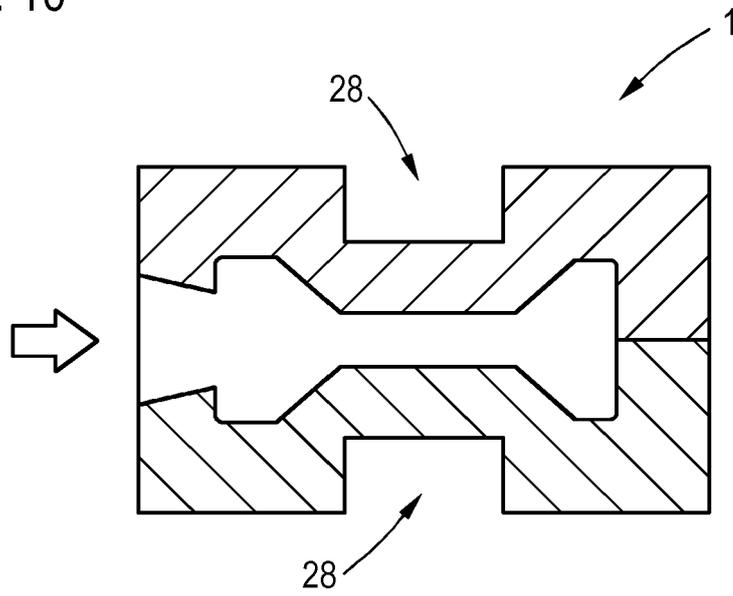


FIG. 11

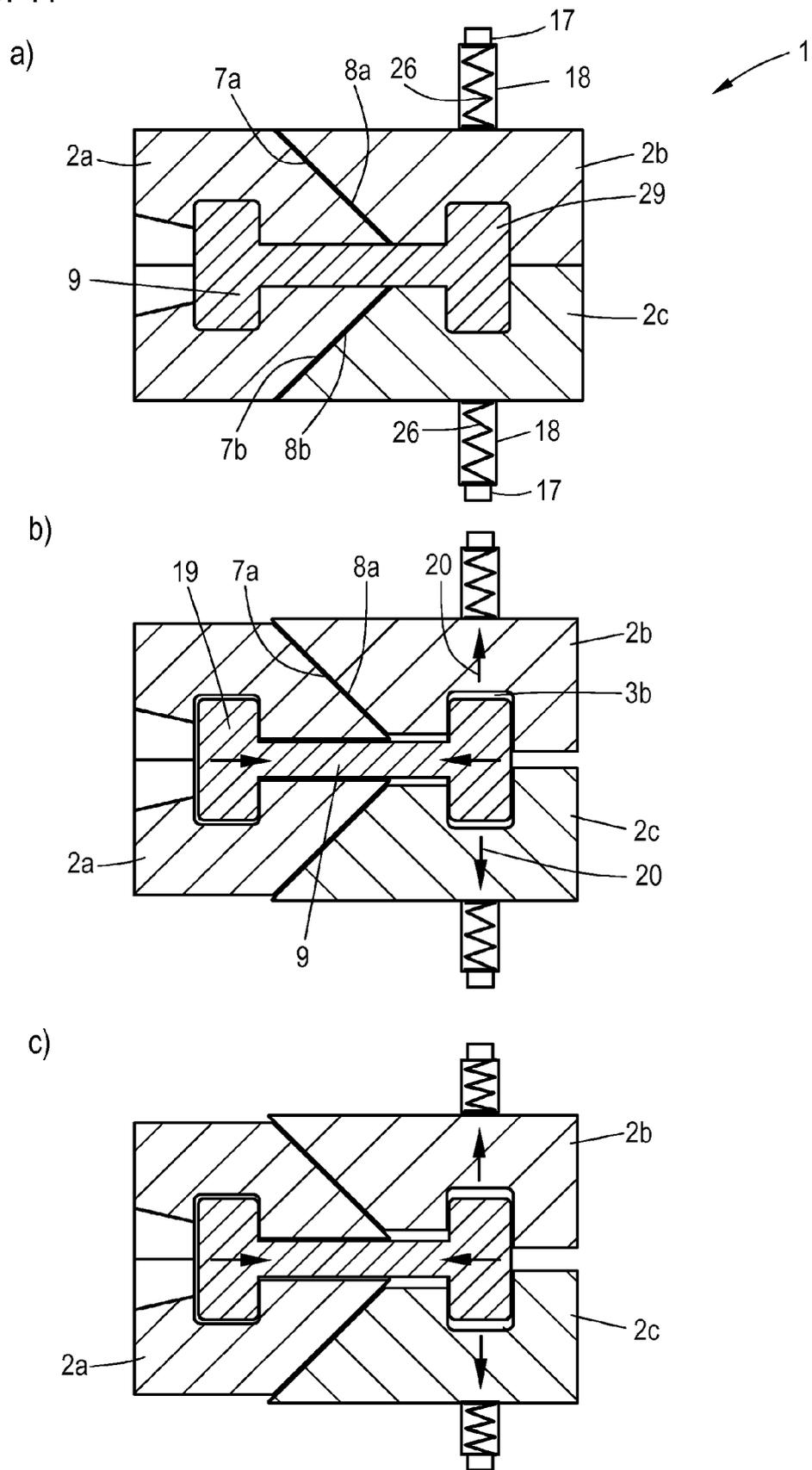
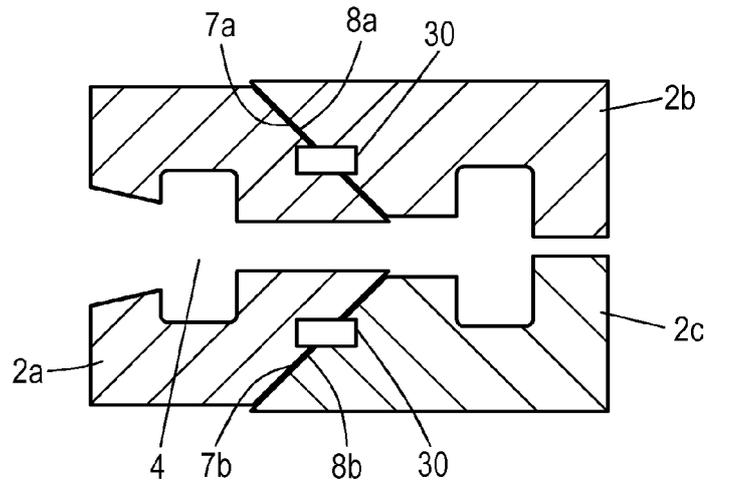
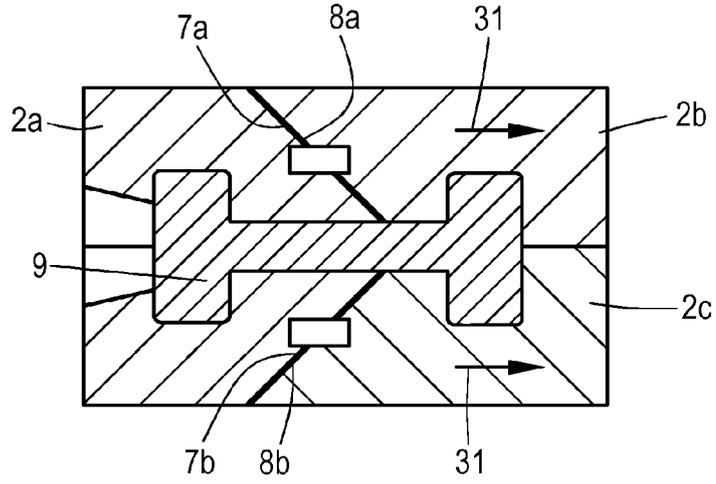


FIG. 12

a)



b)



c)

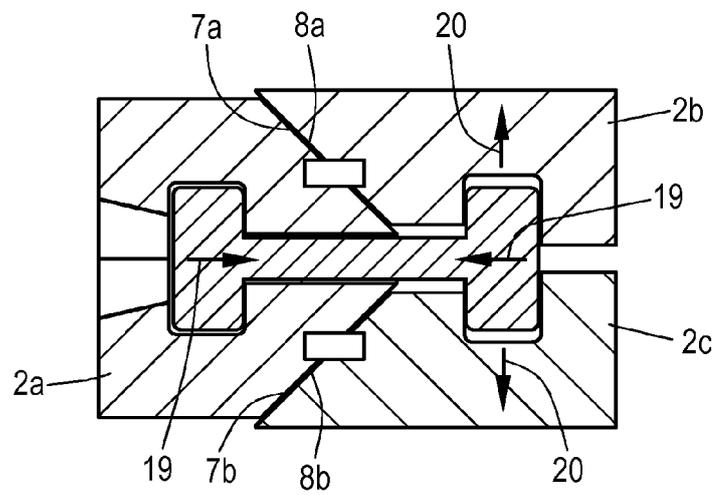


FIG. 13

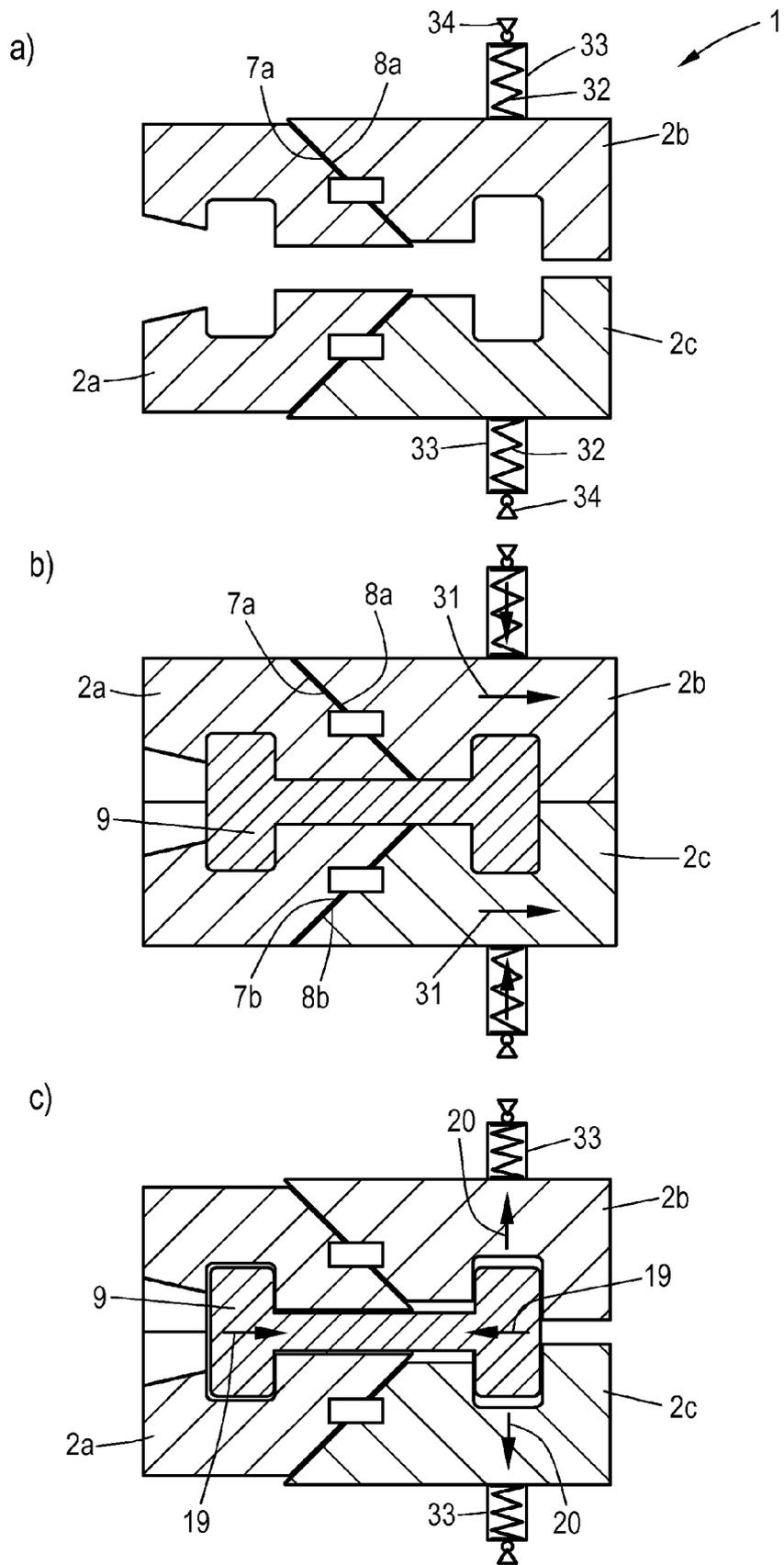


FIG. 14

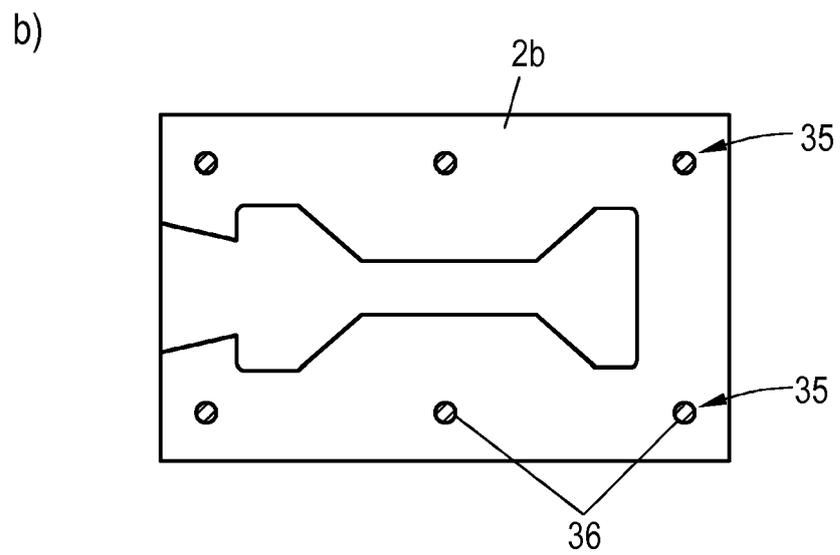
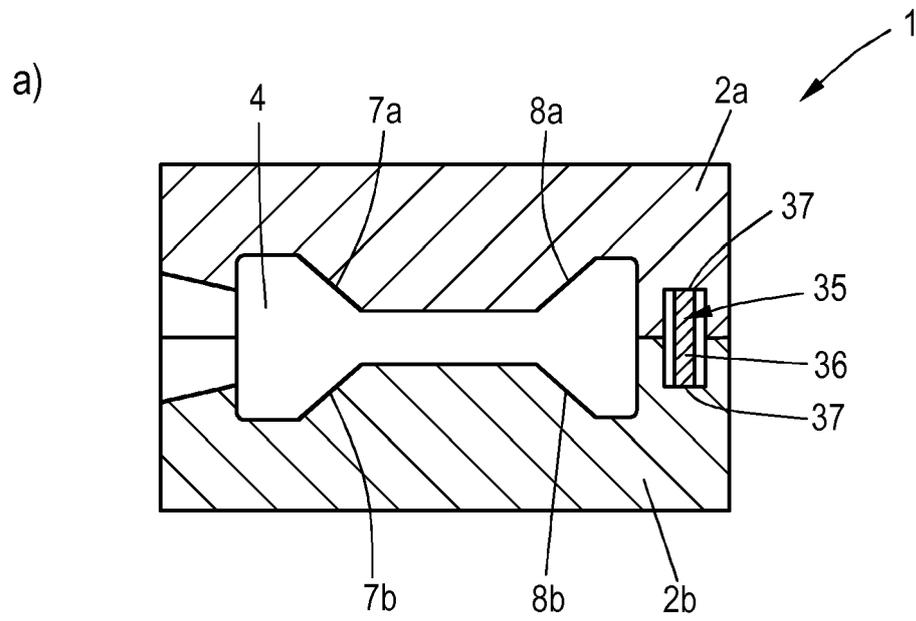


FIG. 15

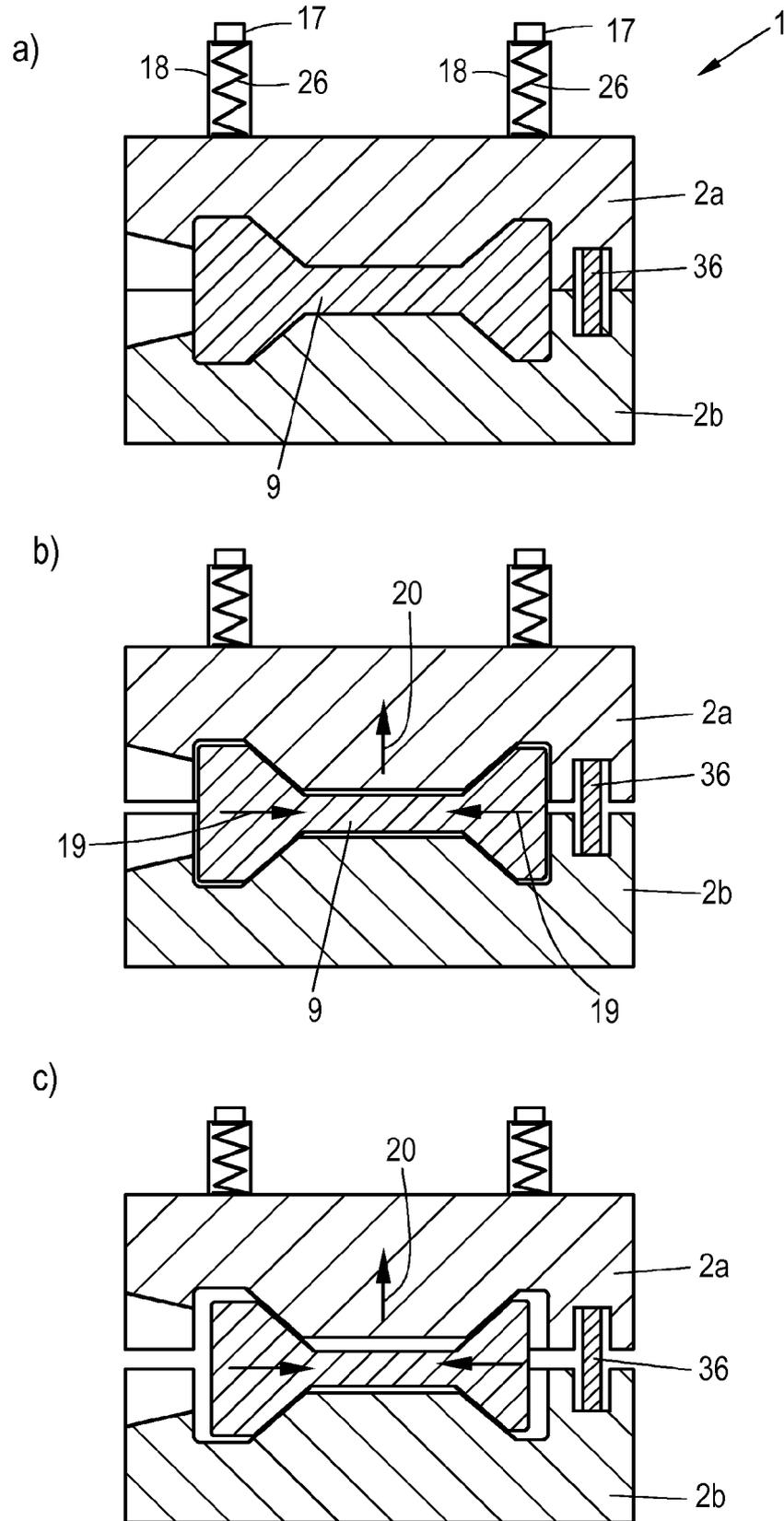
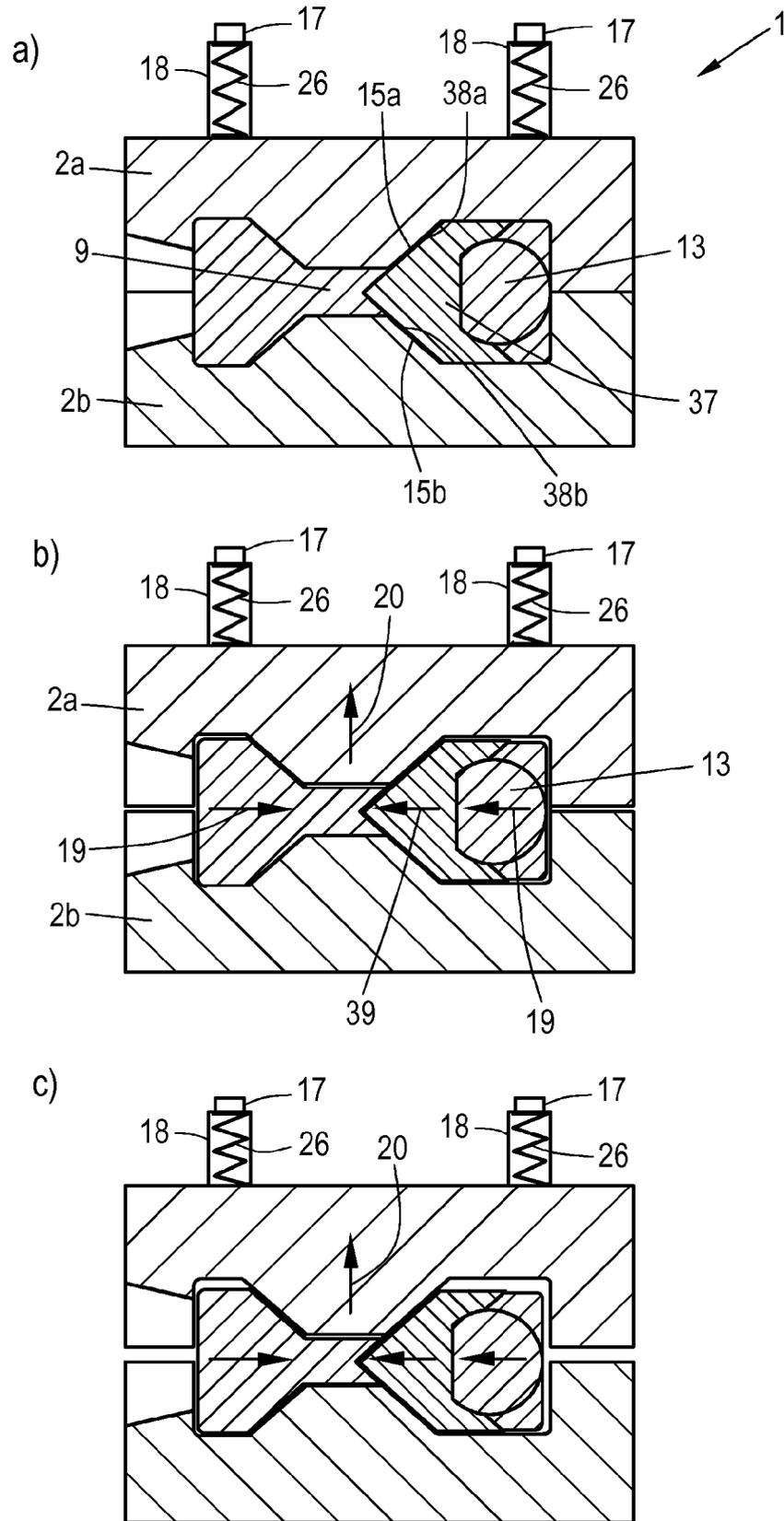


FIG. 16





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 17 16 3412

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 0 992 305 A1 (ALD VACUUM TECHN AG [DE]) 12. April 2000 (2000-04-12) * Zusammenfassung *	1-17	INV. B22D13/10 B22C9/06 B22D17/22 C22C14/00 B22D21/00 B22D17/26
A	EP 0 686 443 A1 (ALD VACUUM TECHN GMBH [DE]) 13. Dezember 1995 (1995-12-13) * Zusammenfassung *	1-17	
A	DE 693 27 195 T2 (HONDA GIKEN KOGYO K.K.) 6. April 2000 (2000-04-06) * Abbildung 1 *	2-17	
A	US 2 367 727 A (MCWANE HENRY E) 23. Januar 1945 (1945-01-23) * Seite 2, Zeilen 27-35; Abbildungen *	2-17	
A	DE 103 29 530 A1 (ACCESS MATERIALS & PROCESSES [DE]) 3. Februar 2005 (2005-02-03) * Absatz [0003] *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B22D B22C C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlussdatum der Recherche <b>14. Juli 2017</b>	Prüfer <b>Hodiamont, Susanna</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 16 3412

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

14-07-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	EP 0992305	A1	12-04-2000	AT 244085 T	15-07-2003
DE 19846781 A1				13-04-2000	
EP 0992305 A1				12-04-2000	
JP 2000117409 A				25-04-2000	
US 6443212 B1				03-09-2002	
20	EP 0686443	A1	13-12-1995	EP 0686443 A1	13-12-1995
JP 3258201 B2				18-02-2002	
JP H08187570 A				23-07-1996	
US 5626179 A				06-05-1997	
US 5950706 A				14-09-1999	
25	DE 69327195	T2	06-04-2000	CA 2105968 A1	14-07-1993
DE 69327195 D1				13-01-2000	
DE 69327195 T2				06-04-2000	
EP 0572683 A1				08-12-1993	
US 5394931 A				07-03-1995	
WO 9313895 A1				22-07-1993	
30	US 2367727	A	23-01-1945	KEINE	
35	DE 10329530	A1	03-02-2005	KEINE	
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82