



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43)

Veröffentlichungstag:
21.08.2024 Patentblatt 2024/34

(51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):
B21C 37/16 (2006.01) B21J 1/06 (2006.01)
B21J 5/02 (2006.01) B21J 5/08 (2006.01)
B21J 9/08 (2006.01) B21K 21/16 (2006.01)

(21)

Anmeldenummer: 24155025.0

(22)

Anmeldetag: 31.01.2024

(52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B21J 1/06; B21C 37/16; B21J 5/02; B21J 5/08;
B21J 9/08; B21K 21/16

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN

(71)

Anmelder: GFU - Maschinenbau GmbH
Gesellschaft für
Umformung und Maschinenbau
54634 Bitburg (DE)

(72)

Erfinder: Roderich, Michael
54675 Nusbaum (DE)

(74)

Vertreter: Kuhnen & Wacker
Patent- und Rechtsanwaltsbüro PartG mbB
Prinz-Ludwig-Straße 40A
85354 Freising (DE)

(30)

Priorität: 17.02.2023 DE 102023104031

(54)

VORRICHTUNG, SYSTEM UND VERFAHREN ZUM UMFORMEN EINES EINTEILIGEN, WENIGSTENS ABSCHNITTSWEISE ROHRFÖRMIGEN WERKSTÜCKS AUS METALL, ENTSPRECHEND UMGEFORMTES WERKSTÜCK UND ENTSPRECHENDE VERWENDUNG

(57)

Beansprucht wird eine Vorrichtung (V), ein System (S) und ein Verfahren zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks (WS) aus Metall mit zwei Stauchhüben, wobei ein Umformgrad, ausgedrückt als Verhältnis (A_3/A_1) der Querschnittsfläche (A_3) des Werkstücks (WS) im Umformbereich nach der zweistufigen Umformung zu der

Querschnittsfläche (A_1) des Werkstücks (WS) im Umformbereich vor der Umformung im Bereich von 2 bis 4 erreicht wird, ohne dass eine Radialfalte (F) an der inneren Umfangsfläche des umgeformten Werkstücks (WS) entsteht. Ferner wird eine entsprechende Verwendung beansprucht.

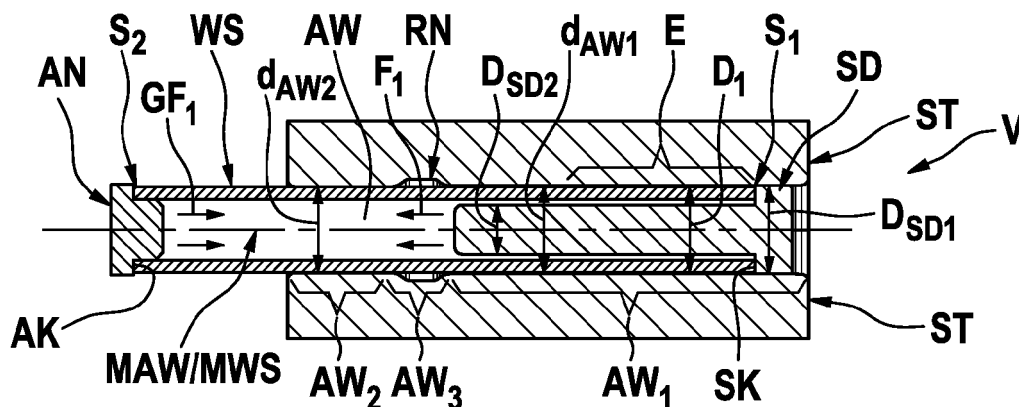


Fig. 2d

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnitts-
weise rohrförmigen Werkstücks aus Metall nach Anspruch 1, ein entsprechendes System nach Anspruch 6, ein Verfahren
zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks aus Metall nach Anspruch 8,
ein einteiliges, umgeformtes Werkstück nach Anspruch 15 oder 16 und eine Verwendung nach Anspruch 18. Das
10 erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise dazu genutzt werden, folgende, einteilige Bauteile oder deren Vor-
läufer aus wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücken umzuformen, ist jedoch nicht hierauf beschränkt:
Rotorwellen, Antriebswellen, Stabilisatoren, Stoßdämpfer, Gas-Kartuschen, Gerüststützen, Wellen und Rohrbausteine
sämtlicher Art.

Hintergrund und Stand der Technik

15 **[0002]** Aus dem Stand der Technik sind Warmumformverfahren zum Herstellen einer einteiligen Hohlwelle mit einer
Auskrugung auf ihrer äußeren Umfangsfläche durch Stauchen eines rohrförmigen Werkstücks aus Metall bekannt.
Allerdings weisen die auf herkömmliche Weise hergestellten Werkstücke auf der Innenseite des Werkstücks im Bereich
der Auskrugung eine durchgehende Radialfalte, also eine umlaufende Falte, aufgrund einer beim Umformen auftretenden
20 Faltenbildung auf. Hierdurch wird die mechanische Stabilität des Werkstücks verringert, was für eine Vielzahl von An-
wendungen des Werkstücks, beispielsweise im Automobilbau, nachteilig ist oder derartige Anwendungen sogar aus-
schließt. Derartige Risse oder Falten treten insbesondere bei Warmumformverfahren auf, die durch Stauchen des
rohrförmigen Werkstücks zur Ausbildung der Auskrugung einen derart hohen Umformgrad bereitstellen, dass die Quer-
schnittsfläche des Werkstücks im Bereich der Auskrugung das Zwei- bis Vierfache der Querschnittsfläche des Werk-
25 stücks im Bereich der Auskrugung vor dem Umformen oder im Vergleich zu einem unverformten Bereich des rohrförmigen
Werkstücks beträgt.

Aufgabe der Erfindung

30 **[0003]** Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung oder ein System bereitzustellen, die/das
es erlaubt, ein ursprünglich wenigstens abschnittsweise, vorzugsweise vollständig rohrförmiges Werkstück mit kreis-
runden oder im Wesentlichen kreisrunden Querschnitt in einem vorbestimmten Bereich oder Abschnitt derart umzufor-
men, dass es in dem vorbestimmten Bereich eine Auskrugung auf seiner äußeren Umfangsfläche aufweist und die
Querschnittsfläche des Werkstücks im Bereich der Auskrugung das Zwei- bis Vierfache der Querschnittsfläche des
35 Werkstücks im selben Bereich bzw. an derselben Stelle des Werkstücks vor dem Umformen beträgt oder die Quer-
schnittsfläche des Werkstücks im Bereich der Auskrugung das Zwei- bis Vierfache der Querschnittsfläche des Werk-
stücks in einem anderen, von der Umformung nicht betroffenen Bereich des Werkstücks beträgt. Dabei weist das
Werkstück erfindungsgemäß auf seiner inneren Umfangsfläche im Bereich der Auskrugung keine Radialfalte bzw. keinen
umlaufenden Spalt oder Riss auf.

40 **[0004]** Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein entsprechendes Verfahren zum Umformen eines
einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks aus Metall unter Einsatz der erfindungsgemäßen Vor-
richtung bzw. des erfindungsgemäßen Systems zur Herstellung des wie vorstehend beschriebenen, umgeformten Werk-
stücks ohne Radialfalte auf seiner inneren Umfangsfläche im Bereich der Auskrugung sowie das damit hergestellte,
umgeformte Werkstück bereitzustellen. Schließlich ist es eine Aufgabe, eine entsprechende Verwendung der erfin-
45 dungsgemäßen Vorrichtung oder des erfindungsgemäßen Systems zur Herstellung des erfindungsgemäß umgeformten
Werkstücks vorzuschlagen.

Definitionen

50 **[0005]** Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff "rohrförmiges Werkstück" jede Gestalt eines läng-
lichen Hohlkörpers, vorzugsweise eines Rohrs, dessen Länge größer als sein Außendurchmesser ist. Dabei ist die
Querschnittsgestalt des rohrförmigen Werkstücks ein Kreis oder nahezu ein Kreis. Dabei bedeutet im Rahmen der
vorliegenden Erfindung "nahezu ein Kreis" oder "im Wesentlichen kreisrunder Querschnitt" in Bezug auf das Werkstück
oder eines Abschnitts derselben, dass sich der Außendurchmesser des Werkstücks oder des betroffenen Abschnitts
55 davon, wenn an derselben Stelle des Werkstücks in zwei voneinander verschiedenen Richtungen senkrecht zur Mittel-
achse des Werkstücks gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert, bei den beiden Messungen
um höchstens 1,0 % unterscheidet. Dasselbe gilt analog in Bezug auf den Innendurchmesser des Werkstücks. Der
Begriff "wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstück" bedeutet, dass die vorstehend beschriebenen, geometri-

schen Eigenschaften des rohrförmigen Werkstücks wenigstens für einen Abschnitt des Werkstücks gelten, während das Werkstück in einem anderen Abschnitt eine von einem kreisrunden Rohr abweichende Gestalt aufweisen kann, oder vorzugsweise für das gesamte Werkstück. Das wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstück, das erfindungsgemäß umzuformen ist, kann eine Länge, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse des Werkstücks, zwischen 150 und 4.000 mm, vorzugsweise 200 bis 1.000 mm, einen Außendurchmesser zwischen 20 und 406 mm, vorzugsweise zwischen 30 und 120 mm, und vorzugsweise eine Dicke (= Wanddicke = $[\text{Außendurchmesser} - \text{Innendurchmesser}]/2$) zwischen 4 und 20 mm aufweisen.

[0006] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung schließt der Begriff "einteilig" in Bezug auf das wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstück auch wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstücke ein, die eine Schweißnaht oder eine Fügenaht längs der Mittelachse des Werkstücks aufweisen.

[0007] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung umfasst der Begriff "Metall" beispielsweise als das Material für das Werkstück ein zu den Metallen gehörendes Element, wie beispielsweise Eisen, Legierungen aus zwei oder mehr Metallen, wie beispielsweise Edelstahl, oder sonstige Legierungen mit einem Eisengehalt von > 90 %, wie beispielsweise Stahl. Die Definition des Begriffs "Metall" schließt erfindungsgemäß auch ein Element oder eine Legierung mit ein, welche einen Anteil an technisch unvermeidbaren Verunreinigungen aufweist. Die erfindungsgemäße Definition des Begriffs "Metall" kann beschränkt sein auf Eisen und Legierungen mit einem Eisengehalt von > 90 % einschließlich Stahl und Edelstahl. Die Definition des Begriffs "Metall" kann vorzugsweise beschränkt sein auf Stahl einschließlich Edelstahl, insbesondere einer der Werkstoffe mit der Bezeichnung 1.2344 (X40CrMoV5-1), "NB5", Werkstoff 1.7227 "42CrMoS4 + QT", Werkstoff 1.7227 "42CrMoS4 + C", Werkstoff 1.7225 "42CrMo4" oder ein borierter Vergütungsstahl wie der Werkstoff 1.1161 "26MnB5" in Anlehnung an DIN EN 10083-3:2007-01.

[0008] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bedeutet der Begriff "konzentrisch" in Bezug auf die Anordnung von Mittelachsen eine Anordnung symmetrisch um eine gemeinsame Mitte, so dass die Mittelachsen zusammenfallen. Darüber hinaus kann der Begriff "konzentrisch" erfindungsgemäß auch Anordnungen umfassen, die geringfügige, technisch unvermeidbare Abweichungen von der vorstehenden Definition von "konzentrisch" im streng geometrischen Sinne aufweisen.

[0009] Die Bestandteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung oder wenigstens ein Teil derselben, vorzugsweise der Stauchtopf, der Stauchdorn und der Anschlag oder eine Auswahl der genannten Bestandteile oder Teile derselben, bestehen vorzugsweise aus Hartmetall oder gehärtetem Stahl, insbesondere aus beschichtetem Stahl. Der Stauchdorn oder wenigstens ein Abschnitt desselben besteht bevorzugt aus Hartmetall.

[0010] Alle in der vorliegenden Anmeldung angegebenen Dimensionen (z.B. Außendurchmesser, Innendurchmesser, Länge, Wanddicke) des Werkstücks und der Bestandteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung (insbesondere des Stauchtopfs, des Stauchdorns und des Anschlags) beziehen sich auf Raumtemperatur, also auf 20 °C.

[0011] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung werden die angegebenen Durchmesser eines Bestandteils der erfindungsgemäßen Vorrichtung einschließlich Innen- und Außendurchmesser immer gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert senkrecht zur längsten Symmetrieachse bzw. Mittelachse des betreffenden Bestandteils angegeben, falls nicht anders angegeben. Dasselbe gilt analog für das Werkstück.

[0012] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist der Begriff "gemessen" bezogen auf eine Längendimension in Formulierungen wie "gemessen parallel zu ...", "gemessen längs ...", "gemessen senkrecht zu ...", "gemessen in Richtung ...", "gemessen ab ..." gleichbedeutend wie und austauschbar mit "bestimmt" bzw. "betrachtet" bzw. "wenn betrachtet" "gesehen" bzw. "wenn gesehen" und "definiert" zu verstehen. Entsprechend sind diese Begriffe gegenseitig austauschbar. So bedeutet beispielsweise "gemessen parallel zur Mittelachse (MWS)" dasselbe wie "bestimmt parallel zur Mittelachse (MWS)" oder "betrachtet parallel zur Mittelachse (MWS)" oder "wenn betrachtet parallel zur Mittelachse (MWS)" oder "gesehen parallel zur Mittelachse (MWS)" oder "wenn gesehen parallel zur Mittelachse (MWS)" oder "definiert parallel zur Mittelachse (MWS)". Daher schließt der Begriff "gemessen" in vorstehend diskutierten Zusammenhang erfindungsgemäß nicht notwendigerweise einen Verfahrensschritt des Messens ein, sondern definiert lediglich die Richtung, auf die sich die Längendimension bezieht. Dasselbe, nämlich die Richtung, auf die sich die Längendimension bezieht, wird durch die Begriffe "bestimmt", "betrachtet" bzw. "wenn betrachtet", "gesehen" bzw. "wenn gesehen" und "definiert" zum Ausdruck gebracht.

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bedeutet der "Erwärmungsbereich E" einen Teilbereich des Werkstücks, der zum Umformen auf wenigstens 700 °C erwärmt wird. Der Erwärmungsbereich kann ein Ende bzw. einen Endabschnitt des Werkstücks umfassen (erfindungsgemäß als "endständiger Erwärmungsbereich" bezeichnet) oder nicht (erfindungsgemäß als "innenliegender Erwärmungsbereich" bezeichnet). Nach der Durchführung der erfindungsgemäßen Umformschritte weist das Werkstück im Erwärmungsbereich bzw. innerhalb des Erwärmungsbereichs eine Auskrägung auf seiner äußeren Umfangsfläche auf. Erfindungsgemäß kann sich der Ausdruck "im Erwärmungsbereich" oder "innerhalb des Erwärmungsbereichs" auf den gesamten Erwärmungsbereich, einen Teilbereich desselben oder eine einzige räumliche Stelle innerhalb des Erwärmungsbereichs beziehen.

[0014] Falls der Erwärmungsbereich E kein Ende bzw. keinen Endabschnitt des Werkstücks umfasst, also ein innenliegender Erwärmungsbereich ist, sind die Teilbereiche des Werkstücks, die sich zwischen dem Erwärmungsbereich

und jeweils einem der beiden Enden des Werkstücks befinden, Nichterwärmungsbereiche, die während der Durchführung wenigstens der Schritte (a), (b), (c) und (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Temperatur von weniger als 300 °C aufweisen. Diese Nichterwärmungsbereiche werden im Rahmen dieser Erfindung auch als "Kaltbereiche K1, K2" bezeichnet.

[0015] Falls der Erwärmungsbereich E ein Ende bzw. einen Endabschnitt des Werkstücks umfasst, also ein endständiger Erwärmungsbereich ist, ist der Teilbereich des Werkstücks, der sich zwischen dem Erwärmungsbereich und dem anderen, gegenüberliegenden Ende bzw. dem anderen, gegenüberliegenden Endabschnitt des Werkstücks befindet, ein Nichterwärmungsbereich, der während der Durchführung wenigstens der Schritte (a), (b), (c) und (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Temperatur von weniger als 300 °C aufweisen. Dieser Nichterwärmungsbereich wird im Rahmen dieser Erfindung als "Kaltbereich K" bezeichnet.

[0016] Erfindungsgemäß bedeutet "vor dem Umformen" einen Zustand, insbesondere einen Zustand des Werkstücks, zeitlich vor der Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) und vor der Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens, meint also den ursprünglichen Zustand des unverformten, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks.

[0017] Erfindungsgemäß wird d_{AW} als der Innendurchmesser der Aufnahme AW definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der die Aufnahme AW senkrecht zur ihrer Mittelachse MAW geschnitten wird.

[0018] Erfindungsgemäß wird D_0 als der Außendurchmesser des Werkstücks WS in einem Kaltbereich K, also in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen, also im Ursprungszustand, definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird.

[0019] Erfindungsgemäß wird D_1 als der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen, also im Ursprungszustand, definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird.

[0020] Erfindungsgemäß wird D_2 als der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird. Erfindungsgemäß bedeutet der Begriff "nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens" den Zustand des Werkstücks WS nach der Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b), aber noch vor Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens, sofern nichts anderes angegeben ist. Dabei hat die Durchführung des Verschiebens gemäß Schritt (c) keinen Einfluss auf den Außendurchmesser D_2 .

[0021] Erfindungsgemäß wird D_3 als der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird. Erfindungsgemäß bedeutet der Begriff "nach dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens" den Zustand des Werkstücks WS nach der Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b), des Verschiebens gemäß Schritt (c) und des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0022] Die vorstehend definierten Außendurchmesser D_0 , D_1 , D_2 , D_3 des Werkstücks WS beziehen sich unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranz des Werkstücks WS jeweils immer auf den maximalen Außendurchmesser des Werkstücks WS im angegebenen Bereich, z.B. im Erwärmungsbereich E D_1 , D_2 , D_3 oder außerhalb des Erwärmungsbereichs E D_0 , und unter Berücksichtigung des Umformgrades bzw. Stauchgrades (D_1 = vor dem ersten Stauchen; D_2 = nach dem ersten Stauchen und vor dem zweiten Stauchen; D_3 = nach dem zweiten Stauchen), wenn nicht anders angegeben.

[0023] Alternativ hierzu können erfindungsgemäß die Außendurchmesser D_0 , D_1 , D_2 , D_3 des Werkstücks WS auch als Funktion des Ortes x entlang der Mittelachse MWS des Werkstücks WS definiert werden. Dabei gilt beispielsweise: $D_1(x)$ ist der Außendurchmesser D_1 des Werkstücks WS vor dem ersten Stauchen an der Stelle x im Erwärmungsbereich E entlang der Mittelachse MWS zwischen x_0 (Anfang des Erwärmungsbereichs E) und x_1 (Ende des Erwärmungsbereichs E).

[0024] Erfindungsgemäß wird d_a als der Innendurchmesser des Werkstücks WS in einem Kaltbereich K, also in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen, also im Ursprungszustand, definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird.

[0025] Erfindungsgemäß wird d_1 als der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird.

[0026] Erfindungsgemäß wird d_2 als der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird. Hierbei bedeutet der Begriff "nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens" den Zustand des Werkstücks WS nach

der Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b), aber noch vor Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0027] Erfindungsgemäß wird d_3 als der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der das Werkstück WS senkrecht zu seiner Mittelachse MWS geschnitten wird. Hierbei bedeutet der Begriff "nach dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens" den Zustand des Werkstücks WS nach der Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) und des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0028] Die vorstehend definierten Innendurchmesser d_0 , d_1 , d_2 , d_3 des Werkstücks WS beziehen sich unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranz des Werkstücks WS jeweils immer auf den minimalen Innendurchmesser des Werkstücks WS im angegebenen Bereich, d.h., im Erwärmungsbereich E oder außerhalb des Erwärmungsbereichs E, und unter Berücksichtigung des Umformgrades (d_0 , d_1 = vor dem ersten Stauchen; d_2 = nach dem ersten Stauchen; vor dem zweiten Stauchen; d_3 = nach dem zweiten Stauchen), wenn nicht anders angegeben.

[0029] Alternativ hierzu können erfindungsgemäß die Innendurchmesser d_0 , d_1 , d_2 , d_3 des Werkstücks WS auch als Funktion des Ortes x entlang der Mittelachse MWS des Werkstücks WS definiert werden. Dabei gilt beispielsweise: $d_1(x)$ ist der Innendurchmesser d_1 des Werkstücks WS vor dem ersten Stauchen an der Stelle x im Erwärmungsbereich E entlang der Mittelachse MWS zwischen x_0 (Anfang des Erwärmungsbereichs E und x_1 (Ende des Erwärmungsbereichs E).

[0030] Erfindungsgemäß wird D_{SD1} als der Außendurchmesser des Stauchdorns SD im Bereich seines ersten Abschnitts SD_1 definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Stauchdorn SD im Bereich seines ersten Abschnitts SD_1 senkrecht zu seiner Mittelachse MSD geschnitten wird.

[0031] Erfindungsgemäß wird D_{SD2} als der Außendurchmesser des Stauchdorns SD im Bereich seines zweiten Abschnitts SD_2 definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Stauchdorn SD im Bereich seines zweiten Abschnitts SD_2 senkrecht zu seiner Mittelachse MSD geschnitten wird.

[0032] Erfindungsgemäß wird D_{SD3} als der Außendurchmesser des Stauchdorns SD im Bereich seines optionalen dritten Abschnitts SD_3 definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Stauchdorn SD im Bereich seines optionalen dritten Abschnitts SD_3 senkrecht zu seiner Mittelachse MSD geschnitten wird.

[0033] Erfindungsgemäß wird D_{AN} als der Außendurchmesser des Anschlags AN in einem zylinderförmigen Bereich des Anschlags AN definiert, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Anschlag AN im Bereich dieses Abschnitts senkrecht zu seiner Mittelachse MAN geschnitten wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0034] Die vorstehend beschriebene Aufgabe wird durch die Vorrichtung nach Anspruch 1 gelöst. So wird erfindungsgemäß eine Vorrichtung zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks WS aus Metall, vorzugsweise zur Durchführung wenigstens der Schritte (b), (c) und (d) des Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 14, beansprucht,

wobei das Werkstück WS einen Erwärmungsbereich E aufweist;

wobei das Werkstück WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen einen Außendurchmesser D_1 und einen Innendurchmesser d_1 aufweist;

wobei das Werkstück WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen einen Außendurchmesser D_0 und einen Innendurchmesser d_0 aufweist.

[0035] Dabei weist die Vorrichtung V wenigstens auf:

einen Stauchtopf ST;

einen Stauchdorn SD; und

einen Anschlag AN;

wobei der Stauchtopf ST mehrteilig, vorzugsweise zweiteilig, ist;

wobei der Stauchtopf ST eine Aufnahme AW zum Aufnehmen des gesamten Werkstücks WS oder wenigstens eines Teils des Werkstücks WS einschließlich eines Erwärmungsbereichs E des Werkstücks WS aufweist;

wobei die Aufnahme AW einen ersten Abschnitt AW_1 , einen zweiten Abschnitt AW_2 und einen dritten Abschnitt AW_3 entlang der Mittelachse MAW der Aufnahme AW aufweist;

wobei der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW das 1,005-fache bis 1,040-fache des Außendurchmessers D_1 des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen ist;

wobei der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW das 1,002-fache bis 1,020-fache des Außendurchmessers D_0 des Werkstücks WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbe-

reichs E vor dem Umformen ist;

wobei der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW zwischen dem ersten Abschnitt AW₁ der Aufnahme AW und dem zweiten Abschnitt AW₂ der Aufnahme AW angeordnet ist;

wobei der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW als eine umlaufende Ringnut RN ausgebildet ist;

wobei der Innendurchmesser d_{AW3} des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW größer als der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW₁ der Aufnahme AW;

wobei der Innendurchmesser d_{AW3} des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW größer als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW ist;

wobei die Länge des ersten Abschnitts AW₁ der Aufnahme AW, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW, größer als die Länge des Erwärmungsbereichs E des Werkstücks WS, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, ist;

wobei der Stauchdorn SD einen ersten Abschnitt SD₁ und einen zweiten Abschnitt SD₂ entlang der Mittelachse MSD des Stauchdorns SD aufweist;

wobei der Stauchdorn SD im Bereich des ersten Abschnitts SD₁ einen Außendurchmesser D_{SD1} aufweist, der 0,1 bis 0,4 mm, vorzugsweise 0,2 bis 0,3 mm, kleiner ist als der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW₁ der Aufnahme AW;

wobei der Stauchdorn SD im Bereich des zweiten Abschnitts SD₂ einen Außendurchmesser D_{SD2} aufweist, welcher die nachfolgende Bedingung erfüllt:

$$D_{SD2} \geq \sqrt{-2,0 \cdot (D_1^2 - d_1^2) + d_{AW1}^2},$$

$$\text{vorzugsweise } D_{SD2} \geq \sqrt{-1,6 \cdot (D_1^2 - d_1^2) + d_{AW1}^2};$$

wobei die Länge des zweiten Abschnitts SD₂ des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, wenigstens das 1,1-fache der Länge des Erwärmungsbereichs E, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, ist;

wobei der Innendurchmesser d_{AW3} der Aufnahme AW im dritten Abschnitt AW₃ die nachfolgende Bedingung erfüllt:

$$d_{AW3} \leq \sqrt{2,0 \cdot d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2},$$

$$\text{vorzugsweise } d_{AW3} \leq \sqrt{1,6 \cdot d_{AW1}^2 - 1,6 \cdot D_{SD2}^2};$$

wobei der Stauchdorn SD relativ zum Stauchtopf ST und/oder der Stauchtopf ST relativ zum Stauchdorn SD beweglich gelagert ist/sind;

wobei der Stauchdorn SD in einer Richtung parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW beweglich gelagert ist;

wobei der Stauchdorn SD geeignet ist, eine erste Kraft F₁ und eine zweite Kraft F₂ auf das Werkstück WS vorzugsweise auf eine erste Stirnseite S₁ des Werkstücks WS, in einer Richtung parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD aufzubringen;

wobei der Anschlag AN relativ zum Stauchtopf ST und/oder der Stauchtopf ST relativ zum Anschlag AN beweglich gelagert ist/sind;

wobei der Anschlag AN geeignet ist, eine erste Gegenkraft GF₁ und eine zweite Gegenkraft GF₂ auf das Werkstück WS, vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite S₁ gegenüberliegende Stirnseite S₂ des Werkstücks WS, in einer Richtung parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD aufzubringen; wobei die erste Gegenkraft GF₁

der ersten Kraft F₁ und die zweite Gegenkraft GF₂ der zweiten Kraft F₂ entgegengerichtet ist;

wobei der Stauchtopf ST und der Stauchdorn SD derart in der Vorrichtung V angeordnet oder anordenbar sind, dass die Mittelachse MAW der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST und die Mittelachse MSD des Stauchdorns SD konzentrisch sind.

[0036] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht das Ausbilden einer Auskrugung, wie beispielsweise eines Flansches, auf der äußeren Umfangsfläche eines wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks aus Metall durch Umformen, wobei das Werkstück im Bereich der Auskrugung, genauer an seiner inneren Umfangsfläche im Erwärmungsbereich, keine umlaufende oder auch nur abschnittsweise vorhandene Falte in Gestalt eines Spalts oder Risses

aufweist, obwohl das Werkstück im Bereich der Auskrägung eine Querschnittsfläche aufweist, die in etwa das Zwei- bis Vierfache der Querschnittsfläche des Werkstücks im Bereich der Auskrägung vor dem Umformen beträgt, also im Ausgangszustand, oder in einem anderen, von der Umformung nicht betroffenen Bereich, also in einem Kaltbereich außerhalb des Erwärmungsbereichs, des Werkstücks, in dem das Werkstück noch seine ursprüngliche Rundrohr-Gestalt aufweist. Dabei lässt sich erfindungsgemäß die zweistufige Umformung in einer einzigen Vorrichtung vornehmen, was platzsparend ist und die Durchführung des nachstehend beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahrens erleichtert und vor allem beschleunigt.

[0037] Falls das wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstück wenigstens abschnittsweise ein ideales Rundrohr darstellt, ist der Außendurchmesser D_1 des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen gleich dem Außendurchmesser D_0 des Werkstücks WS außerhalb des Erwärmungsbereichs E, also innerhalb eines Kaltbereichs K (vor und/oder nach dem Umformen). Falls das wenigstens abschnittsweise rohrförmige Werkstück wenigstens abschnittsweise ein ideales Rundrohr darstellt, ist analog hierzu der Innendurchmesser d_1 des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen gleich dem Innendurchmesser d_0 des Werkstücks WS außerhalb des Erwärmungsbereichs E, also innerhalb eines Kaltbereichs K, und zwar vor und nach dem erfindungsgemäßen Umformen.

[0038] Werden die in der Praxis üblichen Fertigungstoleranzen bei realen Rundrohren mit einem im Wesentlichen kreisrunden Querschnitt berücksichtigt, kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung davon ausgegangen werden, dass bei einem realen Rundrohr der Unterschied zwischen dem Außendurchmesser D_1 des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen und dem Außendurchmesser D_0 des Werkstücks WS außerhalb des Erwärmungsbereichs E, also innerhalb eines Kaltbereichs K (vor und/oder nach dem Umformen) vernachlässigbar gering ($< 1\%$) ist, sodass im Rahmen der vorliegenden Anmeldung die beiden Außendurchmesser D_1 und D_0 betragsmäßig ebenfalls als gleich angesehen werden. Analog hierzu kann bei einem realen Rundrohr der Innendurchmesser d_1 des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen als gleich mit dem Innendurchmesser d_0 des Werkstücks WS außerhalb des Erwärmungsbereichs E, also innerhalb eines Kaltbereichs K, und zwar vor und nach dem erfindungsgemäßen Umformen, angesehen werden.

[0039] Vorteilhafterweise lässt sich das Konzept der erfindungsgemäßen Vorrichtung für eine Vielzahl unterschiedlicher, wenigstens abschnittsweise rohrförmiger Werkstücke einsetzen, wobei die Dimensionen der Komponenten der Vorrichtung in Abhängigkeit von den Dimensionen des umzuformenden Werkstücks (z.B. Außendurchmesser, Innendurchmesser und Länge des Werkstücks) gewählt werden.

[0040] Da der Stauchtopf der erfindungsgemäßen Vorrichtung mehrteilig ausgebildet ist, ist es möglich, das unverformte Werkstück in die geöffnete erfindungsgemäße Vorrichtung, genauer gesagt in die Aufnahme des geöffneten Stauchtopfs der erfindungsgemäßen Vorrichtung, einzulegen, und dieses nach dem Umformen in der Vorrichtung und Ausbildung der Auskrägung wieder problemlos aus der Vorrichtung durch Öffnen des Stauchtopfs zu entnehmen.

[0041] Vorzugsweise kann der mehrteilige Stauchtopf nicht nur hydraulisch, sondern auch mechanisch verriegelt sein, wodurch die mechanische Stabilität der Vorrichtung und insbesondere der Halt des Werkstücks in der Vorrichtung weiter verbessert wird.

[0042] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann der Stauchtopf derart dimensioniert sein, dass er das Werkstück vollständig aufnimmt. Die Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Vielmehr ist es ausreichend, wenn wenigstens ein Teil des Werkstücks, der auch den Erwärmungsbereich umfasst, von der Aufnahme aufgenommen wird. So kann beispielsweise ein Kaltbereich oder ein Teil eines Kaltbereichs aus der Aufnahme und damit aus der Vorrichtung überstehen.

[0043] Genauer ist die Aufnahme AW der erfindungsgemäßen Vorrichtung V in ihrer axialen Länge derart dimensioniert, dass sie wenigstens den Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS aufnehmen kann. Weist das Werkstück WS einen Kaltbereich oder mehrere Kaltbereiche wie vorstehend definiert auf, kann die Aufnahme AW in ihrer axialen Länge derart dimensioniert sein, dass sie zusätzlich zum Erwärmungsbereich E den einen Kaltbereich K oder einen der beiden Kaltbereiche K_1 , K_2 oder sogar beide Kaltbereiche K_1 , K_2 jeweils ganz oder teilweise aufnehmen kann. Die Aufnahme AW der erfindungsgemäßen Vorrichtung V kann auch so dimensioniert sein, dass sie das Werkstück WS vollständig aufnimmt. Vorzugsweise ist die Aufnahme AW zumindest in ihrem ersten Abschnitt AW_1 und zweiten Abschnitt AW_2 zylinderförmig.

[0044] Der Innendurchmesser d_{AW1} und die Länge des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW sind bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung durch die Beschränkung auf den vorgegebenen Bereich derart dimensioniert, dass die Aufnahme AW den Erwärmungsbereich des Werkstücks WS aufnehmen kann, selbst wenn bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf eine zum Umformen geeignete Temperatur im Bereich von 700 bis 1.450 °C erwärmt wird und sich dabei wärmebedingt ausdehnt. So beträgt die Länge des ersten Abschnitts AW_1 , gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse der Aufnahme, vorzugsweise das 1,1- bis 1,5-fache, insbesondere das 1,1- bis 1,2-fache, der Länge des Erwärmungsbereichs E, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse des Werkstücks.

[0045] Der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW ist bei der erfindungsgemäßen

Vorrichtung durch die Beschränkung auf den vorgegebenen Bereich derart dimensioniert, dass die Aufnahme AW einen Kaltbereich des Werkstücks WS aufnehmen und das Werkstück trotz des Vorhandenseins der üblichen Dimensionstoleranzen innerhalb der Vorrichtung stabil halten bzw. tragen kann. Damit stellt der zweite Abschnitt AW₂ der Aufnahme AW bei Bedarf einen Führungsabschnitt für das Werkstück innerhalb der erfindungsgemäßen Vorrichtung dar. Bei der

erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Länge des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW nicht besonders beschränkt, solange wie die vorstehend beschriebene Funktion des stabilen Haltens bzw. Tragen des Werkstücks in der geschlossenen Vorrichtung sichergestellt ist.

[0046] Der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW kann beispielsweise um 0,05 bis 0,5 mm, vorzugsweise um 0,1 bis 0,4 mm, größer sein als der Außendurchmesser D_0 des Werkstücks WS außerhalb des Erwärmungsbereichs E im Ausgangszustand vor dem Umformen. In absoluten Zahlen kann der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW beispielsweise 5 bis 50 mm, vorzugsweise 10 bis 40 mm, betragen.

[0047] Aufgrund der Dimensionierung des Außendurchmessers des Stauchdorns SD in seinem ersten Abschnitt SD₁ wird sichergestellt, dass der Stauchdorn auch unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen und temperaturbedingter Dimensionsänderung/Ausdehnung problemlos von der Aufnahme, genauer vom ersten Abschnitt AW₁ der Aufnahme AW oder, falls der erste Abschnitt AW₁ der Aufnahme AW einen Endabschnitt bzw. endständigen Abschnitt der Aufnahme AW nicht umfasst, von einem dazu benachbarten Endabschnitt der Aufnahme, der beispielsweise denselben Innendurchmesser wie der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW hat, aufgenommen werden kann und zudem bei Bewegungen des Stauchdorns innerhalb der Aufnahme entlang der Mittelachse der Aufnahme hinreichend sicher geführt werden kann.

[0048] Im Bereich seines zweiten Abschnitts SD₂ weist der Stauchdorn SD einen Außendurchmesser D_{SD2} auf, welcher die vorstehend bzw. im Anspruch 1 genannte Bedingung erfüllt. Darüber hinaus ist der Außendurchmesser D_{SD2} des zweiten Abschnitts SD₂ des Stauchdorns SD kleiner als der Außendurchmesser D_{SD1} seines ersten Abschnitts SD₁. Aufgrund dieser Dimensionierung des zweiten Abschnitts SD₂ des Stauchdorns SD wird nach Erkenntnis des Erfinders sichergestellt, dass der Umformungsgrad des Werkstücks im Erwärmungsbereich beim ersten Stauchen gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Maß begrenzt wird, so dass die Bildung einer Falte oder eines Spalts an der inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich beim jeweiligen, erfindungsgemäß vorgesehenen Umformschritt vermieden werden kann. In diesem Zusammenhang hat der Erfinder gefunden, dass dies überraschenderweise erreicht werden kann, wenn beim ersten Stauchen der Umformgrad bzw. Stauchgrad dahingehend beschränkt wird, dass sich die Querschnittsfläche des Werkstücks im Umformbereich beim ersten Stauchen um weniger als den Faktor 2, vorzugsweise um weniger als den Faktor 1,6, gegenüber der Querschnittsfläche an derselben Stelle des Werkstücks vor dem ersten Stauchen vergrößert. Dabei kann eine Beschränkung auf den Faktor 1,6 durch die vorstehende bzw. im Anspruch 1 angegebene, bevorzugte Bedingung für den Außendurchmesser D_{SD2} erreicht werden.

[0049] Analog hierzu ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung der Innendurchmesser d_{AW3} der Aufnahme AW im dritten Abschnitt AW₃ dahingehend beschränkt, dass er die vorstehend bzw. im Anspruch 1 genannte Bedingung erfüllt. Darüber hinaus ist der Innendurchmesser d_{AW3} des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW größer als der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW₁ und größer als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW. Aufgrund dieser Dimensionierung des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW wird nach Erkenntnis des Erfinders sichergestellt, dass der Umformungsgrad des Werkstücks im Erwärmungsbereich auch beim zweiten Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens auf ein Maß begrenzt wird, dass die Bildung einer Falte oder eines Spalts im Erwärmungsbereich aufgrund des Umformens vermieden werden kann. In diesem Zusammenhang hat der Erfinder gefunden, dass dies überraschenderweise erreicht werden kann, wenn auch beim zweiten Stauchen der Umformgrad bzw. Stauchgrad dahingehend beschränkt wird, dass sich die Querschnittsfläche des Werkstücks im Umformbereich beim zweiten Stauchen um weniger als den Faktor 2, vorzugsweise um weniger als den Faktor 1,6, gegenüber der Querschnittsfläche an derselben Stelle nach dem ersten Stauchen (und vor dem zweiten Stauchen) vergrößert. Dabei kann eine Beschränkung auf den Faktor 1,6 durch die vorstehende bzw. im Anspruch 1 angegebene, bevorzugte Bedingung für den Innendurchmesser d_{AW3} des dritten Abschnitts AW₃ erreicht werden.

[0050] Insgesamt lässt sich also mithilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein hoher Umformgrad am Werkstück mit einer Querschnittsvergrößerung des Werkstücks im Erwärmungs- bzw. Umformbereich bis zu einem Faktor von 4, vorzugsweise bis zu einem Faktor von 2,56, und unter Ausbildung einer auf der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks angeordneten Auskrägung erzielen, ohne dass es zu einer Faltenbildung an seiner inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich kommt. Es ist auch eine Erkenntnis des vorliegenden Erfinders, dass bei einer Beschränkung des vorstehend beschriebenen Querschnittsverhältnissfaktors auf höchstens 1,6 für jeden Stauchvorgang, also bei einem Gesamtfaktor von höchstens 2,56 für beide Stauchvorgänge, die Faltenbildung am Werkstück definitiv vermieden wird. Darüber hinaus kann die Faltenbildung für die allermeisten Anwendungsfälle der vorliegenden Erfindung sogar bis zu einem Querschnittsverhältnissfaktor von 2,0 für jeden Stauchvorgang, also bei einem Gesamtfaktor von höchstens 4,0 für beide Stauchvorgänge, die Faltenbildung am Werkstück wirksam vermieden werden.

[0051] In der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW als eine umlaufende Ringnut ausgebildet, deren Kontur (wenn betrachtet in einer Schnittansicht der Vorrichtung, geschnitten längs der Mit-

telachse der Aufnahme) die Größe und Gestalt der Auskrugung des Werkstücks an seiner äußeren Umfangsfläche prägt, wenn die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Umformen eines wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks beispielsweise im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt wird.

[0052] Dabei ist die Kontur der Ringnut nicht besonders beschränkt, und kann beispielsweise die Gestalt eines Rechtecks, eines Halbkreises, eines Halbellipsoids oder eine andere beliebige Gestalt mit geraden, gebogenen oder frei gestalteten Flanken aufweisen. Vorzugsweise ist der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW rotationssymmetrisch um die Mittelachse der Aufnahme ausgebildet. Es ist jedoch auch eine nicht rotationsymmetrische Gestalt des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW in der erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich.

[0053] Die Gestalt der Ringnut RN ist auch in Bezug auf deren Dimensionen nicht besonders beschränkt. So kann die Länge LN der Ringnut RN, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse der Aufnahme, an der Stelle ihrer größten Ausdehnung beispielsweise 3 bis 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm, sein. Zusätzlich oder unabhängig davon kann die Tiefe TN der Ringnut RN, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert senkrecht zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW und ab dem Niveau der inneren Umfangsfläche des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW, an der Stelle ihrer größten Ausdehnung beispielsweise 2 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, sein (vgl. auch Fig. 5b).

[0054] Erfindungsgemäß beträgt die Länge des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, wenigstens das 1,1-fache der Länge des Erwärmungsbereichs E, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS. Bevorzugt beträgt die Länge des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, das 1,1- bis 1,5-fache, insbesondere das 1,1- bis 1,2-fache, der Länge des Erwärmungsbereichs E, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse des Werkstücks.

[0055] Weist das Werkstück einen nach vorstehender Definition innenliegenden Erwärmungsbereich E auf, dann kann die Länge des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, die Summe aus dem wenigstens 1,1-fachen der Länge des Erwärmungsbereichs E und der Länge eines zwischen dem Erwärmungsbereich und einem Ende des Werkstücks liegenden Kaltbereichs K, der mit dem Stauchdorn SD während des ersten und/oder zweiten Stauchens gemäß den Schritten (b) und/oder (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens in Berührung ist, betragen, wobei die Längen des Erwärmungsbereichs E und des Kaltbereichs K jeweils parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert werden bzw. sind.

[0056] Optional kann der Stauchdorn SD zusätzlich einen dritten Abschnitt SD_3 entlang der Mittelachse MSD des Stauchdorns SD aufweisen, wobei der dritte Abschnitt SD_3 zwischen dem ersten Abschnitt SD_1 und dem zweiten Abschnitt SD_2 angeordnet ist. Der dritte Abschnitt SD_3 kann beispielsweise als ein linearer, stetiger, stufenförmiger oder frei geformter Übergang zwischen dem ersten Abschnitt SD_1 und dem zweiten Abschnitt SD_2 ausgebildet sein. In diesem Fall beträgt die Länge des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, genauso wie vorstehend definiert, nämlich wenigstens das 1,1-fache der Länge des Erwärmungsbereichs E. Die Länge des dritten Abschnitts SD_3 des Stauchdorns SD, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD, kann dabei beispielsweise der Länge des endständigen Kaltbereichs K des Werkstücks entsprechen, der mit dem Stauchdorn SD während des ersten und/oder zweiten Stauchens gemäß den Schritten (b) und/oder (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens in Berührung ist, wobei die auf die Bereiche des Werkstücks WS bezogenen Längen jeweils parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert werden bzw. sind.

[0057] Ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass sowohl das erste Stauchen als auch das zweite Stauchen (Schritte (b) bis (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens) mit ein und derselben Vorrichtung, genauer mit dem Stauchtopf, dem Stauchdorn und dem Anschlag der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wie sie in dieser Beschreibung definiert sind, durchgeführt werden kann. So muss bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung zwischen dem ersten Stauchen und dem zweiten Stauchen weder das äußere Werkzeug (Stauchtopf), noch das innere Werkzeug (Stauchdorn und Anschlag) gewechselt werden, was einerseits eine Vereinfachung der Konstruktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung bedeutet, andererseits die Durchführung zweier hintereinandergeschalteter Umformvorgänge, insbesondere die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, signifikant erleichtert und beschleunigt. Mit der beschleunigten Durchführung verbunden ist auch ein geringeres Abkühlen des Werkstücks während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0058] Die bewegliche Lagerung ermöglicht eine relative Bewegung des Stauchdorns zum Stauchtopf und/oder eine relative Bewegung des Stauchtopfs zum Stauchdorn. Durch die bewegliche Lagerung des Stauchdorns kann einerseits durch das Zusammenspiel aus Stauchdorn und Anschlag ein Stauchen des Werkstücks in axialer Richtung verwirklicht werden. Andererseits wird durch die bewegliche Lagerung auch ein Verschieben des Werkstücks innerhalb der Aufnahme durch Bewegen des Stauchdorns und gegebenenfalls des Anschlags ermöglicht. Aus den vorstehend genannten Grün-

den ist auch der Anschlag relativ zum Stauchtopf beweglich gelagert und/oder umgekehrt.

[0059] Das Stauchen des Werkstücks in axialer Richtung kann dadurch bewirkt werden, dass der Stauchdorn eine hinreichend große Kraft auf das in der Aufnahme der Vorrichtung befindliche Werkstück WS, vorzugsweise auf eine erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS an einem ersten Ende E_1 des Werkstücks, in einer Richtung parallel zur Mittelachse MSD des Stauchdorns SD aufbringt. Die Kraft kann beispielsweise durch eine Stauchkante SK oder ein anderes geeignetes Teil des Stauchdorns SD auf das Werkstück WS aufgebracht werden. Dabei bestimmt sich die zum Stauchen erforderliche Kraft einerseits durch die Materialeigenschaften (Zusammensetzung, Struktur, Herstellungsverfahren und aktuelle Temperatur) des Werkstücks, andererseits durch die Dimensionen (Länge und insbesondere Wanddicke) des Werkstücks.

[0060] Entsprechend ist der Anschlag der erfindungsgemäßen Vorrichtung derart gestaltet, dass er eine hinreichend große Gegenkraft auf das Werkstück in einer der Kraft des Stauchdorns entgegengesetzten Richtung parallel zur Mittelachse des Stauchdorns aufzubringen kann. Dabei bringt der Anschlag die Gegenkraft vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite S_1 gegenüberliegende Stirnseite S_2 des Werkstücks WS am gegenüberliegenden, zweiten Ende E_2 des Werkstücks auf. Die Gegenkraft kann beispielsweise durch eine Stauchkante AK oder ein anderes geeignetes Teil des Anschlags AN auf das Werkstück WS aufgebracht werden.

[0061] Um die vorstehend diskutierten Kräfte zum Bewerkstelligen des Stauchens und/oder des Verschiebens des Werkstücks in der Vorrichtung auf das Werkstück aufzubringen zu können, sind der Stauchtopf ST und der Stauchdorn SD derart in der Vorrichtung V angeordnet oder für das erfindungsgemäße Umformen anordenbar, dass die Mittelachse MAW der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST und die Mittelachse MSD des Stauchdorns SD konzentrisch sind. Bevorzugt sind der Stauchtopf, der Stauchdorn und der Anschlag derart in der Vorrichtung angeordnet oder für das erfindungsgemäße Umformen anordenbar, dass die Mittelachsen der Aufnahme des Stauchtopfs, des Stauchdorns und des Anschlags konzentrisch sind. Durch diese Anordnung wird ein Verkanten der Bauteile beim Bewegen entlang der Mittelachse der Aufnahme vermieden.

[0062] Vorzugsweise weist der Anschlag AN der erfindungsgemäßen Vorrichtung einen zylinderförmigen Abschnitt auf, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Anschlag AN im Bereich dieses Abschnitts senkrecht zu seiner Mittelachse MAN geschnitten wird. Der zylinderförmige Abschnitt des Anschlags AN kann als Rundrohr oder Vollzylinder ausgebildet sein und als Führungsabschnitt des Anschlags in der Aufnahme des Stauchtopfs dienen. Dazu weist wenigstens dieser Abschnitt des Anschlags vorzugsweise einen Außendurchmesser D_{AN} auf, der 0,1 bis 0,3 mm, insbesondere 0,2 mm, kleiner als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW ist.

[0063] Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0064] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die erste Kraft F_1 und die erste Gegenkraft GF_1 jeweils auf eine erste Querschnittsfläche A_1 bezogen sein und können jeweils zwischen 200 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 280 und 450 N/mm², betragen. Dabei sind die zweite Kraft F_2 und die zweite Gegenkraft GF_2 jeweils auf eine zweite Querschnittsfläche A_2 bezogen sein und können jeweils zwischen 300 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 400 und 550 N/mm², betragen. Dabei wird die erste Querschnittsfläche A_1 nach folgender Formel berechnet:

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2);$$

und

die zweite Querschnittsfläche A_2 nach folgender Formel berechnet:

$$A_2 = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2).$$

[0065] Der Erfinder hat festgestellt, dass die vom Stauchdorn auf das Werkstück zu übertragende erste Kraft F_1 zur Durchführung eines ersten Stauchhubs vorzugsweise zwischen 200 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 280 und 450 N/mm², bezogen auf eine erste Querschnittsfläche A_1 beträgt, wobei $A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2)$ ist. Der Stauchdorn verfügt demgemäß über einen entsprechenden Antrieb, wie beispielsweise einen Servomotor, der das Aufbringen einer derartigen Kraft auf das Werkstück, vorzugsweise auf die erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS an dem ersten Ende des Werkstücks, ermöglicht.

[0066] Des Weiteren hat der Erfinder festgestellt, dass die vom Stauchdorn auf das Werkstück zu übertragende zweite Kraft F_2 zur Durchführung eines zweiten Stauchhubs vorzugsweise zwischen 300 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 400 und 550 N/mm², bezogen auf eine zweite Querschnittsfläche A_2 beträgt, wobei $A_2 = \pi/4 \cdot (D_2^2 - d_2^2) = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2)$ ist. Der Stauchdorn verfügt demgemäß über einen entsprechenden Antrieb, wie beispielsweise einen Servomotor, der das Aufbringen einer derartigen Kraft auf das Werkstück, vorzugsweise auf die erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS an dem ersten Ende E_1 des Werkstücks, ermöglicht.

[0067] Entsprechend ist die vom Anschlag AN auf das Werkstück zu übertragene, erste Gegenkraft GF_1 zur Durch-

führung eines ersten Stauchhubs vorzugsweise zwischen 200 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 280 und 450 N/mm², bezogen auf eine erste Querschnittsfläche A_1 ist, wobei $A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2)$ ist. Analog ist die vom Anschlag auf das Werkstück übertragene zweite Gegenkraft GF2 zur Durchführung eines zweiten Stauchhubs vorzugsweise zwischen 300 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 400 und 550 N/mm², bezogen auf die zweite Querschnittsfläche A_2 ist, wobei $A_2 = \pi/4 \cdot (D_2^2 - d_2^2) = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2)$ ist.

[0068] Hierdurch wird der Anschlag AN in die Lage versetzt, das Werkstück WS gegen die vom Stauchdorn übertragene erste Kraft in seiner axialen Position während des Stauchens zu halten. Der Anschlag verfügt demgemäß über einen entsprechenden Antrieb, wie beispielsweise einen Servomotor, der das Aufbringen einer derartigen Kraft auf das Werkstück, vorzugsweise auf die zweite Stirnseite S_2 des Werkstücks WS an dem anderen Ende des Werkstücks, ermöglicht. Dabei befindet sich die zweite Stirnseite S_2 am zweiten Ende E_2 des Werkstücks, welches dem ersten Ende E_1 des Werkstücks mit der ersten Stirnseite S_1 gegenüberliegt.

[0069] Indem der Stauchdorn und der Anschlag geeignet sind, die vorstehend beschriebenen Kräfte bzw. Gegenkräfte in der jeweils vorgesehenen Richtung auf das Werkstück in der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu übertragen, wird einerseits ermöglicht, dass in die Vorrichtung eingelegte Werkstück in seiner axialen Position in Bezug auf seine Mittelachse zu halten oder axial zu verschieben und andererseits, die beiden Stauchhübe entsprechend den Schritten (b) und (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen. Durch das Zusammenspiel der durch die Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf das Werkstück einwirkenden Kräfte und der vorstehend diskutierten Geometrie dieser Komponenten kann die Einhaltung der vorstehend diskutierten, maximalen Umformgerade beim jeweiligen Umformschritt sichergestellt werden.

[0070] Ferner kann die erfindungsgemäße Vorrichtung derart beschränkt sein, dass der Stauchtopf ST, vorzugsweise der Stauchtopf ST und der Stauchdorn SD, auf eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C, temperierbar ist/sind; und/oder

dass die Vorrichtung V eine Temperiereinrichtung TE zum Temperieren des Stauchtopfs ST, vorzugsweise des Stauchtopfs ST und des Stauchdorns SD, auf eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C; aufweist; und/oder

dass der Anschlag AN wenigstens einen Abschnitt aufweist, der einen Außendurchmesser D_{AN} aufweist, der 0,1 bis 0,3 mm, vorzugsweise 0,2 mm, kleiner ist als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW.

[0071] Das Temperieren der Bauteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C, reduziert die Reibung zwischen Werkstück und Vorrichtung während der Durchführung der beiden Stauchhübe erheblich. Darüber hinaus ist die Möglichkeit der Temperierung der Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorteilhaft, wenn ein Schmiermittel, beispielsweise auf Wasser- oder Alkohobasis, verwendet wird und das Dispergier- oder Lösemittel des Schmiermittels vor dem Einlegen des Werkstücks in die Vorrichtung oder spätestens vor dem Stauchen desselben entfernt werden soll.

[0072] Wenn der Anschlag AN wenigstens einen zylinderförmigen Abschnitt (Vollzylinder oder Rohr) aufweist, der einen Außendurchmesser D_{AN} aufweist, der 0,1 bis 0,3 mm, vorzugsweise 0,2 mm, kleiner ist als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme AW, wird sichergestellt, dass der Anschlag auch unter Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen und temperaturbedingter Dimensionsänderung/Ausdehnung problemlos in die Aufnahme, genauer vom zweiten Abschnitt AW_2 der Aufnahme AW oder von einem dazu benachbarten Endabschnitt der Aufnahme, aufgenommen werden kann und zudem bei Bewegungen des Anschlags innerhalb der Aufnahme entlang der Mittelachse der Aufnahme hinreichend sicher geführt werden kann.

[0073] Des Weiteren kann die erfindungsgemäße Vorrichtung aufweisen:

eine Einrichtung I zum Erwärmen des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E oder in einem Teil desselben, auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise 1.000 bis 1.450 °C; wobei die Einrichtung I das Erwärmen des Erwärmungsbereichs E des Werkstücks WS vorzugsweise mittels Induktion, Bestrahlung oder Beflammung durchführt.

[0074] Das Erwärmen des Erwärmungsbereichs des Werkstücks auf eine Temperatur im vorstehend angegebenen Temperaturbereich ermöglicht es in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung und den Dimensionen des Werkstücks, insbesondere von dessen Wanddicke, das Material des Werkstücks im Erwärmungsbereich ausreichend thermisch zu erweichen, um die beiden erfindungsgemäß beabsichtigten Stauchhübe durchzuführen. Dies gilt insbesondere für die Einhaltung des unteren Grenzwerts des Temperaturbereichs. Andererseits wird durch die Einhaltung des vorgegebenen oberen Grenzwerts des Temperaturbereichs vermieden, dass, wiederum in Abhängigkeit von den Dimensionen und dem verwendeten Material des Werkstücks, eine zu starke Verflüssigung des Werkstückmaterials vermieden wird, die eine oder mehrere definierte Stauchungen, wie sie mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzielt werden sollen,

auftritt. Selbstverständlich wird der hier einschlägige Fachmann dank seines allgemeinen Fachwissens oder dank der Durchführung von Routineversuchen die zur Durchführung der erfindungsgemäßen Stauchhübe erforderliche, geeignete Temperatur innerhalb des beanspruchten Temperaturbereich in Abhängigkeit von Material und Dimensionen des Werkstücks bestimmen können, sobald das Werkstück ausgewählt bzw. festgelegt wurde.

[0075] Um den Erwärmungsbereich des Werkstücks auf eine geeignete Temperatur innerhalb des erfindungsgemäß vorgesehenen Temperaturbereichs zu bringen, hat sich nach der Erfahrung des Erfinders insbesondere eine Einrichtung, die mittels Induktion arbeitet, bewährt.

[0076] Für die Bestimmung der Temperatur des Werkstücks im Erwärmungsbereich kann auf die üblichen, dem Fachmann bekannten Maßnahmen, insbesondere berührungslose Messverfahren, wie beispielsweise Infrarotthermometer, zurückgegriffen werden.

[0077] Des Weiteren kann die erfindungsgemäße Vorrichtung dadurch gekennzeichnet sein, dass die Ringnut RN rotationssymmetrisch, zickzackförmig oder wellenförmig um die Mittelachse MAW der Aufnahme AW ausgebildet ist; und/oder

dass die Ringnut RN eine V-förmige, U-förmige, halbkreisförmige, rechteckige oder trapezförmige Kontur aufweist, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW; und/oder dass die Länge LN der Ringnut RN an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 3 bis 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW, ist; und/oder

dass die Tiefe TN der Ringnut RN an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 2 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert senkrecht zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW, ist. Erfindungsgemäß wird bzw. ist die Tiefe TN der Ringnut RN senkrecht zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW an der Stelle ihrer größten Ausdehnung in dieser Richtung gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert (vgl. auch Fig. 5b).

[0078] Die vorstehend ausgeführten Varianten der Gestalt der Ringnut RN der Aufnahme des Stauchtopfs zeigt die hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Bezug auf die vom Anwender der Vorrichtung gewünschte Gestalt der Auskragung auf der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich.

[0079] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ferner durch das System nach Anspruch 6 definiert.

[0080] Vorgeschlagen wird ein System S, aufweisend ein einteiliges, wenigstens abschnittsweise rohrförmiges Werkstück WS aus Metall und die Vorrichtung V zum Umformen des Werkstücks WS nach einem Ansprüche 1 bis 5, oder bestehend aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück WS aus Metall und der Vorrichtung V zum Umformen des Werkstücks WS nach einem der Ansprüche 1 bis 5;

wobei das Werkstück WS einen Erwärmungsbereich E aufweist;

wobei das Werkstück WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen einen Außendurchmesser D_1 und einen Innendurchmesser d_1 aufweist;

wobei das Werkstück WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E, d.h., in einem Kaltbereich K, vor dem Umformen einen Außendurchmesser D_0 und einen Innendurchmesser d_0 aufweist;

wobei die Vorrichtung V vorzugsweise zur Durchführung wenigstens der Schritte (b), (c) und (d) des Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 14 geeignet ist.

[0081] Für das erfindungsgemäße System gelten die vorstehend in Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung diskutierten obligatorischen und optionalen Merkmale, Vorteile und Abwandlungen sowie deren Vorteile analog. Entsprechendes gilt auch für die Gestalt des mit der Vorrichtung des Systems umzuformenden Werkstücks.

[0082] Des Weiteren kann das erfindungsgemäße System dahingehend beschränkt sein, dass das Werkstück WS in einer ersten Anordnung derart in der Vorrichtung V anordenbar ist, dass der erste Abschnitt AW_1 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, und der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E nicht, auch nicht teilweise, überlappt, wenn jeweils betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW. Dabei kann das Werkstück WS in einer zweiten Anordnung derart in der Vorrichtung V anordenbar sein, dass der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW. Ferner kann das Werkstück WS und/oder der Stauchdorn SD in der Vorrichtung V in der ersten Anordnung und in der zweiten Anordnung derart anordenbar sein, dass der zweite Abschnitt SD_2 des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW.

[0083] Der erfindungsgemäßen Aufgabe wird ferner durch das Verfahren nach Anspruch 8 gelöst.

[0084] Vorgeschlagen wird ein Verfahren zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks WS aus Metall unter Einsatz der Vorrichtung V nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder des Systems S nach Anspruch 6 oder 7;

wobei das Werkstück WS einen Erwärmungsbereich E aufweist;
wobei das Werkstück WS vor dem Umformen innerhalb des Erwärmungsbereichs E einen Außendurchmesser D_1 und einen Innendurchmesser d_1 aufweist;
wobei das Werkstück WS vor dem Umformen in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E einen Außendurchmesser D_0 und einen Innendurchmesser d_0 aufweist;
wobei das Werkstück WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E eine erste Querschnittsfläche A_1 aufweist;
wobei die erste Querschnittsfläche A_1 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2),$$

wobei das Verfahren wenigstens die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erwärmen des Erwärmungsbereichs E des Werkstücks WS auf eine Temperatur von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise von 1.000 bis 1.300 °C;
wobei der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E höchstens 100 °C beträgt;

(b) erstes Stauchen des Werkstücks WS in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, derart, dass das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E nach dem ersten Stauchen eine zweite Querschnittsfläche A_2 aufweist, wobei das Verhältnis A_2/A_1 der zweiten Querschnittsfläche A_2 zur ersten Querschnittsfläche A_1 folgende Bedingung erfüllt:

$$(A_2/A_1) \leq 2,0,$$

$$\text{vorzugsweise } (A_2/A_1) \leq 1,6;$$

wobei die zweite Querschnittsfläche A_2 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_2 = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2),$$

wobei das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E beim ersten Stauchen eine Temperatur von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise von 1.000 bis 1.300 °C, aufweist;
wobei der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen des Werkstücks WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E höchstens 100 °C beträgt;
wobei das Werkstück WS oder ein Teil desselben einschließlich des Erwärmungsbereichs E während des ersten Stauchens in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST der Vorrichtung V angeordnet ist;
wobei das Werkstück WS während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass die Mittelachse MWS des Werkstücks WS konzentrisch zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST ist;
wobei das Werkstück WS während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass der erste Abschnitt AW_1 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;
wobei das Werkstück WS während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E nicht überlappt, auch nicht teilweise überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;
wobei der Stauchdorn SD der Vorrichtung V oder ein Teil desselben während des ersten Stauchens im Innern des Werkstücks WS angeordnet ist;
wobei das Werkstück WS und/oder der Stauchdorn SD während des ersten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der zweite Abschnitt SD_2 des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;

wobei der Anschlag AN der Vorrichtung V während des ersten Stauchens mit dem Werkstück WS in Berührung ist; und
wobei das erste Stauchen durch das Einwirken des Stauchdorns SD und des Anschlags AN auf das Werkstück WS bewirkt wird;

(c) nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) und vor dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d), Verschieben des Werkstücks WS und/oder des Stauchtopfs ST in einer Richtung parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW, so dass das Werkstück WS derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;
wobei das Verschieben vorzugsweise durch Bewegen des Stauchdorns SD und des Anschlags AN und/oder des Stauchtopfs ST in einer Richtung parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW erfolgt;

(d) zweites Stauchen des Werkstücks WS in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, derart, dass das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E oder in wenigstens einem Teil des Erwärmungsbereichs E nach dem zweiten Stauchen eine dritte Querschnittsfläche A₃ aufweist, wobei das Verhältnis (A₃/A₂) der dritten Querschnittsfläche A₃ zur zweiten Querschnittsfläche A₂ folgende Bedingung erfüllt:

$$(A_3/A_2) \leq 2,0,$$

$$\text{vorzugsweise } (A_3/A_2) \leq 1,6;$$

wobei die dritte Querschnittsfläche A₃ nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_3 = \pi/4 \cdot (d_{AW3}^2 - D_{SD2}^2),$$

wobei nach dem ersten Stauchen und vor dem zweiten Stauchen kein Erwärmen des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E, vorzugsweise kein Erwärmen des Werkstücks WS, erfolgt;
wobei das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E beim zweiten Stauchen eine Temperatur von 650 bis 1.200 °C, vorzugsweise von 800 bis 1.100 °C, aufweist;

wobei das Werkstück WS oder ein Teil desselben einschließlich des Erwärmungsbereichs E während des zweiten Stauchens in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST der Vorrichtung V angeordnet ist;

wobei das Werkstück WS während des zweiten Stauchens derart angeordnet ist, dass die Mittelachse MWS des Werkstücks WS konzentrisch zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST ist;
wobei das Werkstück WS während des zweiten Stauchens derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;

wobei der Stauchdorn SD der Vorrichtung V oder ein Teil desselben während des zweiten Stauchens im Innern des Werkstücks WS angeordnet ist; und

wobei der Stauchtopf ST und/oder der Stauchdorn SD während des zweiten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW mit dem zweiten Abschnitt SD₂ des Stauchdorns SD vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;

wobei das Werkstück WS und/oder der Stauchdorn SD während des zweiten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der zweite Abschnitt SD₂ des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW;

wobei der Anschlag AN der Vorrichtung V während des zweiten Stauchens mit dem Werkstück WS in Berührung ist; und

wobei das zweite Stauchen durch das Einwirken des Stauchdorns SD und des Anschlags AN auf das Werkstück WS bewirkt wird.

[0085] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Werkstück aus Metall in oder mittels der vorstehend beschriebenen, erfindungsgemäßen Vorrichtung oder mittels des erfindungsgemäßen Systems umgeformt.

[0086] Das erfindungsgemäße Prinzip wird nachfolgend anhand des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert:

Zunächst wird in Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens der Erwärmungsbereich des Werkstücks aus Metall auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise von 1.000 bis 1.300 °C, gebracht. Dieser Schritt kann innerhalb oder außerhalb der erfindungsgemäßen Vorrichtung, beispielsweise mittels einer Einrichtung I zum Erwärmen des Erwärmungsbereichs, insbesondere einer Induktionseinrichtung, erfolgen. Wichtig dabei ist, dass die Erwärmung des Erwärmungsbereichs homogen erfolgt, d.h., dass der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen des Werkstücks innerhalb des Erwärmungsbereichs höchstens 100 °C beträgt. Eine derart hohe Homogenität der Erwärmung ist erforderlich, um ein gleichmäßiges, symmetrisches Stauchergebnis in den weiteren Verfahrensschritten (b) und (d) zu erzielen.

[0087] So kann das Werkstück nach den vorstehenden Bedingungen entweder in der Vorrichtung erwärmt werden, oder das auf die vorstehend beschriebene Weise in seinem Erwärmungsbereich erwärmte Werkstück kann in die erfindungsgemäße Vorrichtung eingebracht werden. Das Einbringen des Werkstücks in die Vorrichtung kann beispielsweise durch Einlegen des Werkstücks in den unteren Teil der Aufnahme des geöffneten Stauchtopfs und anschließendes Schließen des mehrteiligen Stauchtopfs erfolgen. Alternativ kann das Werkstück durch eine Öffnung der Aufnahme in den geschlossenen Stauchtopf von außen eingeführt werden.

[0088] Bereits beim Einbringen des Werkstücks in die Aufnahme kann das Werkstück derart in der Aufnahme des Stauchtopfs angeordnet werden, dass der erste Abschnitt AW_1 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW. Alternativ hierzu kann das Werkstück auch in die Aufnahme in einer beliebigen axialen Position eingebracht werden und das Werkstück beispielsweise unter Zuhilfenahme des Stauchdorns und/oder des Anschlags entlang der Mittelachse der Aufnahme derart verschoben werden, dass die vorstehend bzw. im Anspruch 8 definierte Überlappingsbedingung erfüllt ist.

[0089] Anschließend wird ein erstes Stauchen des Werkstücks in einer Richtung parallel zu seiner Mittelachse durchgeführt. Beim ersten Stauchen ist erforderlich, dass die Anordnung des Werkstücks in der Aufnahme des Stauchtopfs derart ist, dass die vorstehend beschriebene Überlappingsbedingung erfüllt ist. Dies kann, wie vorstehend erläutert, durch gezieltes Platzieren des Werkstücks in der gewünschten Position in der Vorrichtung, genauer in der Aufnahme des Stauchtopfs, erfolgen. Alternativ kann das Werkstück an einer beliebigen Stelle in der Aufnahme platziert werden und anschließend entlang seiner Mittelachse so verschoben werden, beispielsweise unter Zuhilfenahme des Stauchdorns und/oder des Anschlags, dass die vorstehend beschriebene Überlappingsbedingung erfüllt ist.

[0090] Das Nichtüberlappen des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens bedeutet eine Anordnung, bei der, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW, der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW und damit die Ringnut RN derart weit vom Erwärmungsbereich E entfernt ist, dass keine, auch keine teilweise Überlappung dieser beiden Bereiche besteht. Dabei können die beiden Bereiche bevorzugt so zueinander angeordnet sein, dass ihre Ränder beabstandet zueinander sind.

[0091] Typische Nichtüberlappings-Anordnungen sind in Fig. 1 dargestellt. In Fig. 1 sind schematisch vereinfacht die Längen des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW und des Erwärmungsbereichs E längs der Mittelachse MAW/MWS der Aufnahme AW und des Werkstücks WS. Dabei ist in Fig. 1a und 1b das Nichtüberlappen des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) dargestellt. Fig. 1a zeigt eine Anordnung, bei der dritte Abschnitt AW_3 entfernt vom Erwärmungsbereich E ist und nicht mit diesem überlappt. In Fig. 1b berühren sich der dritte Abschnitt AW_3 und der Erwärmungsbereich E im jeweiligen Randbereich, es findet jedoch keine Überlappung statt.

[0092] Des Weiteren muss der Erwärmungsbereich beim ersten Stauchen eine Temperatur aufweisen, die innerhalb des beanspruchten Temperaturbereichs liegt, und die vorstehend bzw. im Anspruch definierte Homogenität der Temperaturverteilung innerhalb des Erwärmungsbereichs muss sichergestellt sein. Dies wird dadurch erreicht, dass das Werkstück im Erwärmungsbereich im Schritt (a) des Verfahrens beispielsweise mittels Induktion auf eine Temperatur im angegebenen Temperaturbereich gleichmäßig erwärmt wird. Dabei wird der Fachmann in Abhängigkeit vom Material und den Dimensionen des Werkstücks (insbesondere Werkstoff und Wanddicke) festlegen, auf welche Temperatur innerhalb des beanspruchten Temperaturbereichs der Erwärmungsbereich zu erwärmen ist, um eine geeignete Konsistenz bzw. Plastizität bzw. Fließfähigkeit für das Stauchen gemäß Anspruch 1 zu erreichen. So kann der Fachmann die optimale Temperatur, auf die der Erwärmungsbereich des bei den erfindungsgemäß vorgesehenen Stauchvorgängen umzuformenden, konkreten Werkstücks zu erwärmen ist, beispielsweise durch einfache Versuche, computergestützte Simulationsprogramme, auf Basis von Fachliteratur oder sein allgemeines Fachwissen bestimmen. So wird er beispielsweise bei einem Werkstück aus Stahl (Werkstoff 1.7227 42CrMoS4 + QT) mit einem Durchmesser von 58 mm und einer Wanddicke von 8 mm eine Temperatur von ca. 1.300 °C wählen.

[0093] Da es die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht, wie der Erfinder bereits in Praxistests zeigen konnte, das Werkstück innerhalb weniger Sekunden nach Abschluss des Erwärmens in der Aufnahme des Stauchtopfs geeignet zu

platzieren und dann ein erstes und zweites Mal zu Stauchen, spielt das Abkühlen des Erwärmungsbereichs des Werkstücks beim Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. bei Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufgrund der erzielbaren Geschwindigkeit üblicherweise eine untergeordnete Rolle. Folglich sinkt die Temperatur des Erwärmungsbereichs des Werkstücks zwischen dem Abschluss des Erwärmens und der Durchführung des zweiten Stauchhubes nach Schritt (d) durch Abkühlen in einer kühleren Umgebung (konkret: die das Werkstück umgebende Gasatmosphäre mit zumeist Raumtemperatur (20 °C) bzw. der das Werkstück umgebende Stauchtopf der Vorrichtung), aber nicht so weit, dass sie außerhalb des vorgesehenen Temperaturfensters für die Umformung wäre bzw. die Temperatur für das zweite Stauchen zu gering wäre.

[0094] Sollte der Fachmann bei der Einrichtung des erfindungsgemäßen Verfahrens feststellen, dass die Temperatur des Erwärmungsbereichs im konkreten Fall, d.h., beim konkreten Werkstück, wenigstens für das zweite Stauchen in der erfindungsgemäßen Vorrichtung durch Abkühlen in der zur Erwärmungstemperatur im Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens kühleren Umgebung zu weit abgesunken ist und damit das Werkstück im Erwärmungsbereich keine ausreichende Plastizität bzw. Fließfähigkeit mehr aufweist, kann er oder sie versuchen, entweder die Zeitspanne zwischen dem Abschluss des Erwärmens und der Durchführung des zweiten Stauchens zu verkürzen und/oder im Schritt (a) eine höhere Erwärmungstemperatur innerhalb des beanspruchten Bereiches zu wählen. Andererseits wird der Fachmann die Erwärmungstemperatur nur soweit erhöhen, dass das Werkstück im Erwärmungsbereich für das vorgesehene Stauchen im Schritt (a) nicht zu weich ist. Entscheidend bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass die Temperatur im Erwärmungsbereich E für die beiden Stauchhübe und damit die Umformbarkeit ausreichend hoch ist, wenn die beiden erfindungsgemäßen kurzzeitig hintereinander durchgeführt werden.

[0095] Darüber hinaus kann der Fachmann anhand der Wärmekapazität des Materials des umzuformenden Werkstücks berechnen oder durch einfache Versuche oder Simulationen ermitteln, wie schnell das erwärmte Werkstück bei der Temperatur der üblichen bzw. vorgesehenen Arbeitsumgebung (zumeist Raumtemperatur: 20 °C) abkühlt. Um also bei einem vorgegebenen Werkstück sicherzustellen, dass die Temperatur des Erwärmungsbereichs innerhalb des beanspruchten Bereichs und dort bei einer zum Warmumformen/Warmstauchen des spezifischen Werkstücks in Schritt (b) geeigneten Temperatur ist, wird man die Erwärmungstemperatur in Schritt (a) so wählen, dass sie bei einer Temperatur liegt, dass der Erwärmungsbereich während der beiden Stauchhübe eine für die hintereinandergeschalteten Stauchungen der Schritte (b) und (d) jeweils ausreichend plastisch bzw. umformbar bzw. fließfähig, d.h., innerhalb der beanspruchten Temperaturfenster ist. Selbstverständlich wird der Fachmann die Eigenschaften des konkret zu verarbeitenden Werkstücks, insbesondere dessen Materialeigenschaften und Wanddicke, bei der Wahl bzw. Einstellung der konkreten Erwärmungstemperatur berücksichtigen. Gerade durch den Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gelingt es, die beiden Stauchhübe innerhalb so kurzer Zeit, nämlich innerhalb weniger Sekunden, hintereinander durchzuführen, dass Probleme beim zweiten Stauchhub wegen zu geringer Umformbarkeit durch zu starke Temperaturabsenkung des Werkstücks im Erwärmungsbereich vermieden werden. So erlaubt es die erfindungsgemäße Vorrichtung, die beiden Stauchhübe im erfindungsgemäßen Verfahren so schnell hintereinander durchzuführen, dass sich die Umformbarkeit des Werkstücks im Erwärmungsbereich vom ersten zum zweiten Stauchhub nicht signifikant/relevant ändert.

[0096] Während des ersten Stauchens verformt sich das Werkstück aufgrund der temperaturbedingten Plastizität bzw. Fließfähigkeit des Materials im Erwärmungsbereich und der an das Werkstück angelegten Kräfte derart, dass sich das Werkstück im Erwärmungsbereich an die innere Umfangsfläche der Aufnahme und an die äußere Umfangsfläche des Stauchdorns, welche jeweils dem Erwärmungsbereich gegenüberliegen und somit mit diesem - in Schnittansicht gesehen, geschnitten längs zur Mittelachse des Werkstücks - überlappen, anlegt. Dabei kommt es innerhalb des Erwärmungsbereichs zu einer Wandverdickung des Werkstücks und insgesamt zu einer Verkürzung der Länge des Werkstücks, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert in Richtung seiner Mittelachse. Dank der gezielten Wahl des Innendurchmessers des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW und des Außendurchmessers des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD lässt sich erfindungsgemäß die Wandverdickung oder anders ausgedrückt das Querschnittsflächenverhältnis (A_2/A_1) im Erwärmungsbereich des Werkstücks beim ersten Stauchen gezielt steuern und vor allem definiert begrenzen. Zusätzlich wird die Beschränkung der Wandverdickung im Erwärmungsbereich E beim ersten Stauchen durch die Einhaltung der Nichtüberlappingsbedingung sichergestellt.

[0097] Erfindungsgemäß gelingt es anhand der Beschränkung des Querschnittsflächenverhältnisses (A_2/A_1) $\leq 2,0$ oder bevorzugt $\leq 1,6$, den Umformgrad beim ersten Stauchen auf ein Maß zu beschränken, dass nach der Erkenntnis des Erfinders eine Faltenbildung an der inneren Umfangsfläche wirksam vermieden werden kann. Dabei wird die Einhaltung des Querschnittsflächenverhältnisses einerseits durch die spezifische Anordnung des Werkstücks in der Aufnahme unter Erfüllung der vorstehend diskutierten Überlappingsbedingung und Nichtüberlappingsbedingung, andererseits durch die Wahl des Innendurchmessers d_{AW1} des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW und des Außendurchmessers d_{SD2} des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns sichergestellt.

[0098] Während des zweiten Stauchens verformt sich das Werkstück aufgrund der noch vorhandenen, temperaturbedingten Plastizität bzw. Fließfähigkeit des Materials im Erwärmungsbereich und der an das Werkstück angelegten zweiten Kräfte derart, dass sich das Werkstück im Erwärmungsbereich an die innere Umfangsfläche des aufgrund der

Verschiebung des zuvor durchgeführten Schritts (c) des Verfahrens nun zum Erwärmungsbereich benachbart, also wenigstens teilweise überlappend, gelegenen Abschnitts der Aufnahme, nämlich der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW, anlegt. Dabei wird die umlaufende Ringnut des dritten Abschnitts vom Material des Werkstücks ausgefüllt, wodurch sich die Auskrugung an der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks in der von der Ringnut vorgegebenen Gestalt ausbildet. Im selben Abschnitt des Werkstücks, nämlich im Erwärmungsbereich, liegt dessen Innenseite seit der ersten Stauchung an der äußeren Umfangsfläche des Stauchdorns an, was sich während des zweiten Stauchens nicht ändert. Die äußere Umfangsfläche des Stauchdorns bleibt auch während des zweiten Stauchens eine räumliche Begrenzung für den Fluß des Werkstückmaterials nach innen. Es kommt während des zweiten Stauchens innerhalb des Erwärmungsbereichs aufgrund des Auskragens des Materials in die Ringnut, welche eine räumliche Begrenzung für den Fluß des Werkstückmaterials nach außen darstellt, zu einer weiteren Wandverdickung des Werkstücks und zu einer weiteren Verkürzung der Länge des Werkstücks, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert in Richtung seiner Mittelachse. Dank der gezielten Wahl des Innendurchmessers des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW bzw. der Gestalt der Ringnut und des Außendurchmessers des zweiten Abschnitts des Stauchdorns SD läßt sich erfindungsgemäß die zweite Wandverdickung oder anders ausgedrückt, das Querschnittsflächenverhältnis (A_3/A_2) im Erwärmungsbereich des Werkstücks beim zweiten Stauchen gezielt steuern und vor allem definiert begrenzen.

[0099] Ein vollständiges Überlappen des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens bedeutet eine Anordnung, bei der, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW, der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW und damit die Ringnut RN derart zum Erwärmungsbereich E angeordnet ist, dass die Länge des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW und damit der Ringnut RN, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW, vollständig innerhalb der Länge des Erwärmungsbereichs E angeordnet ist, d.h., dass die Ringnut RN des Stauchtopfs ST und der Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS vollständig überlappen. Entsprechend bedeutet eine teilweise Überlappung, z.B. 90 %, dass ein Teil, z.B. 90 %, der Länge des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW bzw. der Ringnut RN innerhalb der Länge des Erwärmungsbereichs E angeordnet ist, während der übrige Teil, z.B. 10 %, außerhalb angeordnet ist. Erfindungsgemäß kann das zweite Stauchen gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens stattfinden, sobald auch nur eine teilweise Überlappung, von bspw. 10 %, vorhanden ist. So kann bei einem relativen Verschieben des Stauchtopfs ST zum Werkstück WS das zweite Stauchen ab dem Zeitpunkt beginnen, an dem der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW und der Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS teilweise überlappen, da ab diesem Zeitpunkt der Raum der Ringnut RN für das beim Umformen bewegte Material zugänglich ist und damit zur Materialaufnahme zur Verfügung steht.

[0100] So ist in Fig. 1c eine teilweise Überlappung des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS dargestellt (ca. 50 % Überlappung). Schließlich ist in Fig. 1d eine vollständige Überlappung des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS dargestellt (100 % Überlappung). In analoger Weise wird erfindungsgemäß das vollständige Überlappen des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E (vgl. Fig. 1e und 1f), des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E (vgl. Fig. 1g und 1h) oder des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW mit dem zweiten Abschnitt SD_2 des Stauchdorns SD definiert.

[0101] In analoger Weise zum ersten Stauchen gelingt es anhand der Beschränkung des Querschnittsflächenverhältnisses (A_3/A_2) $\leq 2,0$ oder bevorzugt $\leq 1,6$, den Umformgrad auch beim zweiten Stauchen auf ein Maß zu beschränken, so dass nach der Erkenntnis des Erfinders eine Faltenbildung an der inneren Umfangsfläche auch bei der weiteren Umformung wirksam vermieden werden kann. Dabei wird die Einhaltung des Querschnittsflächenverhältnisses einerseits durch die spezifische Anordnung des Werkstücks in der Aufnahme unter Erfüllung der vorstehend diskutierten Überlappingsbedingung, andererseits durch die Wahl des Innendurchmessers d_{AW3} und die Gestalt des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW und des Außendurchmessers D_{SD2} des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns sichergestellt.

[0102] Insgesamt gelingt es also beim erfindungsgemäßen Verfahren erstmals, durch eine Kombination der folgenden Maßnahmen und Merkmale, einen hohen Umformungsgrad, ausgedrückt als ein Querschnittsflächenverhältnis von bis zu 4,0, beim Umformen eines wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks aus Metall zu erzielen, ohne dass es auf der inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Umformbereich zu einer Faltenbildung kommt:

- Aufteilung der Umformarbeit auf wenigstens zwei Stauchhübe;
- Beschränkung auf einen moderaten Umformgrad pro Stauchhub durch eine vorbestimmte Werkzeuggeometrie in der Umgebung des Erwärmungsbereichs;
- individuelle Anpassung der Werkzeuggeometrie in der Umgebung des Erwärmungsbereichs für jeden Stauchhub;
- Festlegung eines geeigneten Temperaturregimes für jeden Stauchhub.

[0103] Da die beiden Stauchhübe abgesehen von dem Verschieben gemäß Schritt (c), welches mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung schnell geschehen kann (innerhalb von 0,5 bis 2,5 Sekunden), praktisch unmittelbar nacheinander in derselben Vorrichtung durchgeführt werden können, können die für den jeweiligen Umformhub geeigneten Tempe-

raturbedingungen problemlos eingehalten werden.

[0104] Insgesamt lässt sich im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens und mithilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung die einzelnen Verfahrensschritte beispielsweise in denen der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Zeitspannen ausführen:

Schritt	Tätigkeit	Zeitdauer [s]	bevorzugte Zeitdauer [s]
(a)	Erwärmen des Erwärmungsbereichs	2 bis 20	2 bis 10
(b)	erstes Stauchen	0,5 bis 2,5	0,5 bis 1,5
(c)	Verschieben des Stauchtopfs oder Werkstücks	0,5 bis 2,5	0,5 bis 1,5
(d)	zweites Stauchen	0,5 bis 2	0,5 bis 1
Summe	Erwärmen und Umformen (Schritte (a) bis (d))	3,5 bis 27	3,5 bis 14
Summe	Umformen (Schritte (b) bis (d))	1,5 bis 7	1,5 bis 4

[0105] Anhand der in der Tabelle dargestellten Werte wird klar, dass sich die erfindungsgemäßen Umformschritte trotz der Hintereinanderschaltung der Stauchhübe (b) und (d) mit zwischengeschaltetem Verschiebungsschritt (c) innerhalb weniger Sekunden durchführen lassen. Damit kann einerseits die für die Umformung erforderliche Temperatur des Werkstücks im Erwärmungsbereich auch noch beim zweiten Stauchhub eingehalten werden, andererseits erübrigt sich ein nochmaliges Erwärmen des Erwärmungsbereichs vor dem zweiten Stauchhub. Hierdurch vereinfacht und verkürzt sich das erfindungsgemäße Verfahren wesentlich, insbesondere vereinfacht sich das Handling des Werkstücks, da dieses vor Durchführung des zweiten Stauchhubs nicht mehr aus der Vorrichtung entnommen werden muss. Zudem wird durch die Einsparung einer zweiten Erwärmung Energie eingespart. Darüber hinaus kann der konstruktive Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung einfach gehalten werden, da das eventuelle Vorsehen einer zweiten Einrichtung zum Erwärmen des Erwärmungsbereichs und von Bauteilen, die für ein erneutes Erwärmen des Werkstücks im Erwärmungsbereich erforderlich wären, entfallen kann.

[0106] Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0107] So kann beim erfindungsgemäßen Verfahren in Schritt (a) das Erwärmen des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E mittels Induktion, Bestrahlung oder Beflammung, vorzugsweise mittels einer Einrichtung I zum Erwärmen des Werkstücks WS, erfolgen; und/oder das Werkstück WS während des Erwärmens rotieren.

[0108] Die beanspruchten Erwärmungsmethoden, insbesondere die Induktion, sind bewährte Methoden zum Erwärmen des Werkstücks im Erwärmungsbereich, welche ein schnelles und gleichmäßiges Erwärmen ermöglichen. Nach der Erfahrung des Erfinders kann eine besonders gleichmäßige Wärmeverteilung innerhalb des Erwärmungsbereichs des Werkstücks erzielt werden, wenn das Werkstück WS während des Erwärmens rotiert.

[0109] So kann beim erfindungsgemäßen Verfahren in Schritt (b) das erste Stauchen des Werkstücks WS durchgeführt werden, indem der Stauchdorn SD eine erste Kraft F_1 in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS auf das Werkstück WS, vorzugsweise auf eine erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS, aufbringt; und

indem der Anschlag AN eine erste Gegenkraft GF_1 auf das Werkstück WS in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite S_1 gegenüberliegende Stirnseite S_2 des Werkstücks WS, aufbringt, wobei die erste Gegenkraft GF_1 der ersten Kraft F_1 entgegengerichtet ist; wobei die erste Kraft F_1 auf die erste Querschnittsfläche A_1 bezogen vorzugsweise 200 bis 600 N/mm², insbesondere 280 bis 450 N/mm², beträgt; und

wobei die erste Kraft F_1 vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Stauchdorn SD zum Stauchtopf ST relativ bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s; und

wobei die erste Gegenkraft GF_1 auf die erste Querschnittsfläche A_1 bezogen vorzugsweise 200 bis 600 N/mm², insbesondere 280 bis 450 N/mm², beträgt; und

wobei die erste Gegenkraft GF_1 vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Anschlag AN relativ zum Stauchtopf ST fixiert ist oder bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 0 und 200 mm/s, weiter bevorzugt mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s.

[0110] Das erste Stauchen lässt sich beispielsweise durch achsparalleles Aufbringen der ersten Kraft F_1 durch den

Stauchdorn und zeitgleiches Aufbringen der ersten Gegenkraft GF_1 durch den Anschlag auf das Werkstück bewerkstelligen. Besonders einfach ist dabei, wenn die beiden Kräfte auf die sich gegenüberliegenden Stirnseiten des wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks, also die erste Kraft F_1 auf die erste Stirnseite S_1 und die erste Gegenkraft GF_1 auf die zweite Stirnseite S_2 des Werkstücks WS, aufgebracht werden. Die dabei aufzubringenden Kräfte hängen naturgemäß von den Eigenschaften des umzuformenden Werkstücks ab und werden bezogen auf die erste Querschnittsfläche A_1 des Werkstücks innerhalb des Erwärmungsbereichs E angegeben: 200 bis 600 N/mm², insbesondere 280 bis 450 N/mm². Dabei können die Beträge der ersten Kraft F_1 und der ersten Gegenkraft GF_1 gleich sein. Dies ist jedoch nicht notwendigerweise der Fall. Die beiden Kräfte können auch unterschiedlich eingestellt werden, wenn beispielsweise zeitgleich zur Stauchung auch eine Verschiebung des Werkstücks innerhalb der Aufnahme angestrebt wird, also die Stauchung mit einer Bewegung des Werkstücks verknüpft werden soll. Dabei kann je nach gewünschter Bewegungsrichtung des Werkstücks innerhalb der Aufnahme die erste Kraft größer als die erste Gegenkraft sein oder umgekehrt.

[0111] Das Aufbringen der Kraft und der Gegenkraft in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS und damit parallel zur Mittelachse der Aufnahme hat einerseits den Vorteil, dass sich dies hinsichtlich der Konstruktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung besonders einfach realisieren läßt, da eine Bewegung von Stauchdorn und/oder Anschlag nur entlang einer Achse möglich sein muß. Andererseits läßt sich bei einer rein achsparallelen Aufbringung der Kraft und Gegenkraft ohne Kraftvektorkomponenten senkrecht zur Mittelachse des Werkstücks eine möglichst gleichmäßige, rotationssymmetrische Stauchung des Werkstücks im Erwärmungsbereich in der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sicherstellen. Zudem wird eine Verkantung des Werkstücks in der Aufnahme verhindert und die Reibung zwischen Werkstück und innerer Umfangsfläche der Aufnahme des Stauchtopfs minimiert, wodurch die für die Umformung aufzuwendende Energie minimiert wird.

[0112] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die erste Kraft F_1 auf das Werkstück aufgebracht, indem der Stauchdorn das Werkstück an der ersten Stirnfläche S_1 an einem ersten Ende E_1 des Werkstücks berührt und parallel zur Mittelachse des Werkstücks in Richtung des Werkstücks mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere zwischen 80 und 100 mm/s, bewegt wird. Dabei bringt der Anschlag die erste Gegenkraft GF_1 auf das Werkstück auf, indem der Anschlag das Werkstück an der zweiten Stirnfläche S_2 am dem ersten Ende E_1 gegenüberliegenden, zweiten Ende E_2 des Werkstücks berührt und das zweite Ende E_2 in Bezug auf seine axiale Position relativ zum Stauchtopf hält oder parallel zur Mittelachse des Werkstücks in Richtung des Werkstücks und damit in der Gegenrichtung zum Stauchdorn mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere zwischen 80 und 100 mm/s, bewegt.

[0113] Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann in Schritt (d) das zweite Stauchen des Werkstücks WS durchgeführt werden, indem der Stauchdorn SD eine zweite Kraft F_2 in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS auf das Werkstück WS, vorzugsweise auf eine erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS, aufbringt; und

indem der Anschlag AN eine zweite Gegenkraft GF_2 auf das Werkstück WS in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite S_1 gegenüberliegende Stirnseite S_2 des Werkstücks WS, aufbringt, wobei die zweite Gegenkraft GF_2 der zweiten Kraft F_2 entgegengerichtet ist; wobei die zweite Kraft F_2 auf die zweite Querschnittsfläche A_2 bezogen vorzugsweise 300 bis 600 N/mm², insbesondere 400 bis 550 N/mm², beträgt; und

wobei die zweite Kraft F_2 vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Stauchdorn SD zum Stauchtopf ST relativ bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s; und

wobei die zweite Gegenkraft GF_2 auf die zweite Querschnittsfläche A_2 bezogen vorzugsweise 300 bis 600 N/mm², insbesondere 400 bis 550 N/mm², beträgt; und

wobei die zweite Gegenkraft GF_2 vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Anschlag AN relativ zum Stauchtopf ST fixiert ist oder bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 0 und 200 mm/s, weiter bevorzugt mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s.

[0114] Die Einwirkung der Kräfte auf das Werkstück kann beim zweiten Stauchen nach dem Verschieben gemäß Schritt (c) ganz analog zum ersten Stauchen wie vorstehend beschrieben durchgeführt werden. Allerdings ist zu beachten, dass aufgrund der zwischenzeitlich erfolgten, wenn auch geringfügigen Abkühlung des Werkstücks im Erwärmungsbereich wegen Zeitverzug zum ersten Stauchen und der deswegen verringerten Plastizität bzw. Fließfähigkeit des metallischen Werkstoffs des Werkstücks, die angelegte zweite Kraft und/oder zweite Gegenkraft bezogen auf die nun im Erwärmungsbereich vorliegende zweite Querschnittsfläche typischerweise größer ist/sind.

[0115] Erfindungsgemäß ist vorteilhaft, dass sowohl die Werkzeuge, d.h., Stauchdorn, Anschlag und Stauchtopf, mit denen das zweite Stauchen vorgenommen wird, identisch mit denen sein können, mit denen das erste Stauchen vorgenommen wurde. Darüber hinaus können beim zweiten Stauchen auch dieselben Angriffspunkte der Kraft am Werkstück, vorzugsweise die beiden Stirnseiten an den sich gegenüberliegenden Enden des Werkstücks, verwendet werden.

Beide tragen dazu bei, dass der erste Stauchhub und der zweite Stauchhub unmittelbar und in kurzer zeitlicher Abfolge nacheinander ausgeführt werden können.

[0116] Ferner können beim erfindungsgemäßen Verfahren vor dem Schritt (b) und/oder vor dem Schritt (d) eine äußere Umfangsfläche des Stauchdorns SD und/oder eine innere Umfangsfläche des Stauchtopfs ST, vorzugsweise eine innere Umfangsfläche der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST, mit einem Schmiermittel, vorzugsweise mit einem Graphit-Wasser-Gemisch, benetzt werden; und vorzugsweise der Stauchdorn SD und/oder der Stauchtopf ST nach dem Benetzen und vor dem Stauchen auf eine Temperatur von 120 bis 160 °C, vorzugsweise 150 °C, erwärmt werden.

[0117] Der Einsatz eines geeigneten Schmiermittels, wie vorstehend beschrieben, verringert die Reibung zwischen Werkstück und den Vorrichtungsteilen erheblich. Als für die vorliegende Erfindung besonders geeignetes Schmiermittel hat sich ein Graphit-Wasser-Gemisch herausgestellt, wobei das Mischungsverhältnis bevorzugt 1:4 (C:H₂O) ist. Hierdurch verringern sich der Verschleiß der Vorrichtungsteile und der für die Durchführung des Verfahrens erforderliche Energieaufwand.

[0118] Durch das optionale Erwärmen der mit dem Schmiermittel benetzten Oberflächen auf die angegebenen Temperaturen vor dem Stauchen kann das Löse- bzw. Dispergiermittel des Schmiermittels vor dem Stauchen schnell und hinreichend sicher entfernt werden.

[0119] Zudem kann beim erfindungsgemäßen Verfahren der Stauchtopf ST oder der Stauchtopf ST und der Stauchdorn SD wenigstens während der Durchführung der Schritte (b) und (d) eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C, aufweisen.

[0120] Die Temperierung des Stauchtopfs ST oder des Stauchtopfs ST und des Stauchdorns SD auf eine Temperatur im angegebenen Temperaturbereich wenigstens während der Durchführung der Schritte (b) und (d) des Verfahrens bewirkt ebenfalls eine Verringerung des Verschleißes der Werkzeuge während der Stauchhübe und der erforderlichen Stauchenergie. Darüber hinaus bewirkt die Temperierung der Werkzeuge, insbesondere des Stauchtopfs, in dessen Aufnahme das Werkstück eingelegt wird, dass die Abkühlung des in Schritt (a) erwärmten Erwärmungsbereichs des Werkstücks langsamer erfolgt, als wenn das Werkstück einer kühleren Umgebungstemperatur, wie beispielsweise Raumtemperatur 20 °C, ausgesetzt wäre.

[0121] Zudem kann beim erfindungsgemäßen Verfahren in Schritt (a) die Dauer des Erwärmens des Werkstücks WS 2 bis 20 Sekunden, vorzugsweise 2 bis 10 Sekunden, sein; und/oder

kann in Schritt (b) die Dauer des ersten Stauchens des Werkstücks WS 0,5 bis 2,5 Sekunden, vorzugsweise 0,5 bis 1,5 Sekunde, sein; und/oder

kann in Schritt (c) die Dauer des ersten Stauchens des Werkstücks WS 0,5 bis 2,5 Sekunden, vorzugsweise 0,5 bis 1,5 Sekunde, sein; und/oder

kann in Schritt (d) die Dauer des zweiten Stauchens des Werkstücks WS 0,5 bis 2 Sekunden, vorzugsweise 0,5 bis 1 Sekunde, sein; und/oder

können die Schritte (a), (b), (c) und (d) zusammen innerhalb von 25 Sekunden, vorzugsweise 15 Sekunden, insbesondere 12 Sekunden, durchgeführt werden.

[0122] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die einzelnen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens oder wenigstens ein Teil derselben auf die vorstehend genannten Dauern beschränkt. Nach der Erkenntnis des Erfinders sind diese Dauern ausreichend, um die einzelnen Verfahrensschritte durchzuführen, so dass das Verfahren und damit die angestrebte Gesamtstauchumformung insgesamt in einer sehr kurzen Zeitdauer durchgeführt werden können und ohne, dass ein erneutes Erwärmen zwischen den beiden Stauchhüben erforderlich wird, wie vorstehend bereits diskutiert.

[0123] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird ferner durch den Gegenstand der Ansprüche 15 und 16 gelöst. Dabei gelten die vorstehend für die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren genannten Vorteile, obligatorischen und optionalen Merkmale und Abwandlungen analog, soweit sie auf das erfindungsgemäße Erzeugnis zutreffen können.

[0124] So wird ein einteiliges, umgeformtes Werkstück WS aus Metall vorgeschlagen, hergestellt mittels der Vorrichtung V nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder mittels des Systems S nach Anspruch 6 oder 7, und/oder mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück WS aus Metall;

wobei das Werkstück WS einen Erwärmungsbereich E aufweist;

wobei das Werkstück WS vor dem Umformen innerhalb des Erwärmungsbereichs E einen Außendurchmesser D_1 und einen Innendurchmesser d_1 aufweist;

wobei das Werkstück WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E einen Außendurchmesser D_0 und einen Innendurchmesser d_0 aufweist;

wobei das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen eine erste Querschnittsfläche A_1 und nach

EP 4 417 335 A1

dem Umformen eine dritte Querschnittsfläche A_3 aufweist, wobei das Verhältnis (A_3/A_1) der dritten Querschnittsfläche A_3 zur ersten Querschnittsfläche A_1 folgende Bedingung erfüllt: $(A_3/A_1) \leq 4,0$, vorzugsweise $(A_3/A_1) \leq 2,56$; weiter bevorzugt $2,0 < (A_3/A_1) \leq 4,0$, noch weiter bevorzugt $2,0 < (A_3/A_1) \leq 2,56$; wobei die erste Querschnittsfläche A_1 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2),$$

wobei die dritte Querschnittsfläche A_3 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_3 = \pi/4 \cdot (D_3^2 - d_3^2),$$

wobei D_1 der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen ist; wobei (d_1) der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen ist; wobei D_3 der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem Umformen ist; wobei (d_3) der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E nach dem Umformen ist; wobei das Werkstück WS ferner folgende Bedingung erfüllt: $d_3 < d_1$; und wobei das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E keine Radialfalte an dessen innerer Umfangsfläche aufweist.

[0125] Ferner wird ein einteiliges, umgeformtes Werkstück WS aus Metall vorgeschlagen, hergestellt mittels der Vorrichtung V nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder mittels des Systems S nach Anspruch 6 oder 7, und/oder mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück WS aus Metall; vorzugsweise Werkstück WS nach Anspruch 15;

wobei das Werkstück WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb eines Erwärmungsbereichs E eine Querschnittsfläche A_0 und im Erwärmungsbereich E eine dritte Querschnittsfläche A_3 aufweist, wobei das Verhältnis (A_3/A_0) der dritten Querschnittsfläche A_3 zur Querschnittsfläche A_0 folgende Bedingung erfüllt: $(A_3/A_0) \leq 4,0$, vorzugsweise $(A_3/A_0) \leq 2,56$; weiter bevorzugt $2,0 < (A_3/A_0) \leq 4,0$, noch weiter bevorzugt $2,0 < (A_3/A_0) \leq 2,56$; wobei die Querschnittsfläche A_0 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_0 = \pi/4 \cdot (D_0^2 - d_0^2),$$

wobei die dritte Querschnittsfläche A_3 nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_3 = \pi/4 \cdot (D_3^2 - d_3^2),$$

wobei D_0 der Außendurchmesser des Werkstücks WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E ist; wobei (d_0) der Innendurchmesser des Werkstücks WS in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs E vor dem Umformen ist; wobei D_3 der Außendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E ist; wobei d_3 der Innendurchmesser des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E ist; wobei das Werkstück WS ferner folgende Bedingung erfüllt: $d_3 < d_0$; und wobei das Werkstück WS im Erwärmungsbereich E keine Radialfalte an dessen innerer Umfangsfläche aufweist.

[0126] Der besondere Vorteil des erfindungsgemäßen umgeformten Werkstücks ist, dass einerseits ein hoher Umformgrad an einem wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück aus Metall einschließlich einer Auskrugung, wie beispielsweise ein Flansch, an seiner äußeren Umfangsfläche bereitgestellt werden kann. Dabei drückt sich der hohe Umformgrad durch ein Verhältnis der Querschnittsfläche im umgeformten Bereich zur Querschnittsfläche an derselben Stelle des Werkstücks vor dem Umformen oder zu Querschnittsfläche an einer anderen, nicht umgeformten Stelle des Werkstücks aus, welches erfindungsgemäß bei über 2,0 und bis zu 4,0, wenigstens jedoch zwischen 2,0 und 2,65, liegt. Andererseits weist das Werkstück im Bereich der Auskrugung, genauer an seiner inneren Umfangsfläche im Erwärmungsbereich, also an jenem Bereich, an dem außen die Auskrugung angeordnet ist, keine umlaufende oder auch nur abschnittsweise vorhandene Falte in Gestalt eines Spalts oder Risses auf. Hierdurch wird die mechanische Stabilität des erfindungsgemäßen, umgeformten Werkstücks im Vergleich zu konventionell umgeformten Werkstücken

mit vergleichbarem Umformgrad, welche jedoch eine Radialfalte an der inneren Umfangsfläche im Erwärmungsbereich aufweisen, signifikant verbessert. So lässt sich bei der weiteren Untersuchung des umgeformten Werkstücks, beispielsweise durch Auftragung eines Ätzmittels auf die geschliffene Schnittfläche bei einem Schnitt längs der Mittelachse des Werkstücks oder auf eine andere herkömmliche Weise, mit der der Fachmann Faserverläufe in Metallstrukturen sichtbar macht, beobachten, dass sich der Faserverlauf im Erwärmungsbereich, in dem die Umformung stattgefunden hat, zwar entsprechend dem Umformgrad leicht aufgefächert, jedoch im Wesentlichen parallel zur Mittelachse des Werkstücks verläuft (vgl. Fig. 4a). Dagegen zeigen die Faserverläufe von herkömmlich, mit einem einzigen Stauchhub umgeformten Werkstücke, die vergleichbare Umformgrade aufweisen, Abschnitte im Erwärmungsbereich, in denen der Faserverlauf deutlich eine Komponente radial auswärts zur Mittelachse des Werkstücks aufweist und wobei auf der inneren Umfangsfläche die Falte F erkennbar ist (vgl. Fig. 4b).

[0127] Darüber hinaus gelten die vorstehend in Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung oder mit dem erfindungsgemäßen Verfahren diskutierten Vorteile analog auch für das erfindungsgemäß umgeformte Werkstück.

[0128] Eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Werkstücks wird durch den Gegenstand des abhängigen Anspruchs 17 wiedergegeben. So kann das Werkstück WS innerhalb des Erwärmungsbereichs E an seiner äußeren Umfangsfläche eine Auskrragung AU aufweisen.

[0129] Wie bereits vorstehend in Zusammenhang mit der Kontur der Ringnut der Aufnahme des Stauchtopfs der erfindungsgemäßen Vorrichtung diskutiert, ist auch die Gestalt der Auskrragung nicht besonders beschränkt, und kann in ihrer Kontur beispielsweise die Gestalt eines Rechtecks, eines Halbkreises, eines Halbellipsoids oder eine andere beliebige Gestalt mit geraden, gebogenen oder frei gestalteten Flanken aufweisen. Vorzugsweise ist die Auskrragung auf der äußeren Umfangsfläche rotationssymmetrisch um die Mittelachse des Werkstücks ausgebildet. Es ist jedoch auch eine nicht rotationssymmetrische Gestalt der Auskrragung möglich.

[0130] Die Gestalt der Auskrragung ist auch in Bezug auf deren absolute Dimensionen nicht besonders beschränkt. So kann die Länge LA der Auskrragung AU, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 3 bis 50 mm oder genauer < 3 bis < 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm oder genauer < 4 bis < 12 mm, sein, sein, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS (vgl. Fig. 5c). Zusätzlich oder unabhängig davon kann die Tiefe TA der Auskrragung AU, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert senkrecht zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS, also wie viel die Auskrragung AU über die äußere Umfangsfläche des Werkstücks in Richtung senkrecht zu seiner Mittelachse MWS übersteht, an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 2 bis 20 mm, genauer < 2 bis < 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, genauer < 3 bis < 10 mm, sein. Dabei wird bzw. ist die Tiefe TA der Auskrragung AU ab dem Niveau der äußeren Umfangsfläche des zum Erwärmungsbereich E benachbarten Kaltbereichs K des Werkstücks gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert (vgl. auch Fig. 5c).

[0131] Die vorstehend ausgeführten Gestaltungsvarianten der Auskrragung AU zeigt die hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Bezug auf die vom Anwender der Vorrichtung gewünschte Gestalt der Auskrragung auf der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich.

[0132] Schließlich wird erfindungsgemäße Aufgabe durch die Verwendung noch Anspruchs 18 gelöst. Dabei können alle Merkmale, Vorteile und Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Systems sowie des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend auch für die erfindungsgemäße Verwendung gelten.

[0133] So wird die Verwendung der Vorrichtung V nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder des Systems S nach Anspruch 6 oder 7 zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks WS aus Metall vorgeschlagen, vorzugsweise zur Vermeidung einer Faltenbildung auf der inneren Umfangsfläche des Werkstücks WS beim Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks WS aus Metall.

Weitere Offenbarung der Erfindung

[0134] Der Stauchdorn SD und/oder der Anschlag AN der erfindungsgemäßen Vorrichtung können jeweils unabhängig voneinander einen Innenzapfen oder eine andere Zentrierhilfe für das Werkstück WS aufweisen. Hierdurch lässt sich die vorstehend beschriebene, konzentrische Anordnung der verschiedenen Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung des Werkstücks noch einfacher realisieren.

[0135] Der Stauchdorn SD der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann ein- oder mehrteilig sein und muß nicht durchgehend aus demselben Material bestehen. So können der erste Abschnitt SD₁ und der zweite Abschnitt SD₂ beispielsweise zweiteilig sein und aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Entsprechendes gilt, wenn zusätzlich ein dritter Abschnitt SD₃ vorhanden ist.

[0136] Die vorstehend definierten erste, zweite und dritte Querschnittsflächen A₁, A₂, A₃ des erfindungsgemäßen Werkstücks können analog zu den Außen- und Innendurchmessern auch als Funktion des Ortes x entlang der Mittelachse MWS des Werkstücks WS definiert werden. Dabei gilt: $(A_2(x)/A_1(x)) \leq 2,0$ bzw. $(A_2(x)/A_1(x)) \leq 1,6$ bzw. $(A_3(x)/A_2(x)) \leq 2,0$ bzw. $(A_3(x)/A_2(x)) \leq 1,6$ für jede Stelle x im Erwärmungsbereich E entlang der Mittelachse MWS zwischen x₀ (Anfang

des Erwärmungsbereichs E) und x_1 (Ende des Erwärmungsbereichs E). Entsprechend gilt: $(A_3(x)/A_1(x)) \leq 4,0$ bzw. $(A_3(x)/A_1(x)) \leq 2,56$ für jede Stelle x im Erwärmungsbereich E entlang der Mittelachse MWS zwischen x_0 (Anfang des Erwärmungsbereichs E) und x_1 (Ende des Erwärmungsbereichs E).

5 Ausführungsformen der Erfindung

[0137] Beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend in Zusammenhang mit der beigefügten Zeichnung diskutiert. Die der vorliegenden Anmeldung beigefügte Zeichnung entspricht nicht notwendigerweise einer maßstabsgerechten Darstellung, sondern bezweckt vielmehr, das der vorliegende Erfindung zu Grunde liegende Prinzip zu veranschaulichen. Dabei zeigt

- Fig. 1 typische Anordnungen des Nichtüberlappens des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens (Fig. 1a und 1b); typische Anordnungen des teilweise Überlappens (Fig. 1c) und des vollständigen Überlappens (Fig. 1d) des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens; typische Anordnungen des vollständigen Überlappens (Fig. 1e und 1f) des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens; und typische Anordnungen des vollständigen Überlappens (Fig. 1g und 1h) des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) und während des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d) des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 2 eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Umformen eines rohrförmigen Werkstücks WS in einem endständigen Erwärmungsbereich E desselben;
- Fig. 2a ein unverformtes, rohrförmiges Werkstück WS in Ausgangszustand;
- Fig. 2b ein Erwärmen eines unverformten, rohrförmigen Werkstücks WS in einem Erwärmungsbereich E gemäß Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 2c ein Einlegen des unverformten, rohrförmigen Werkstücks WS in eine erfindungsgemäße Vorrichtung V mit einem geöffneten Stauchtopf ST, einem Stauchdorn SD und einem Anschlag AN;
- Fig. 2d eine Anordnung des unverformten, rohrförmigen Werkstücks WS in einer Aufnahme AW des Stauchtopfs ST bei geschlossenem Stauchtopf ST und angelegten Stauchdorn SD und Anschlag AN vor Durchführung des ersten Stauchens;
- Fig. 2dd eine Detailansicht der bzw. Ausschnitt aus der Fig. 2d;
- Fig. 2e eine Anordnung des teilumgeformten Werkstücks WS in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST bei geschlossenem Stauchtopf ST und angelegten Stauchdorn SD und Anschlag AN nach Durchführung des ersten Stauchens gemäß Schritt (b);
- Fig. 2f eine Anordnung des teilumgeformten Werkstücks WS in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST bei geschlossenem Stauchtopf ST und angelegten Stauchdorn SD und Anschlag AN nach Durchführung des Verschiebens gemäß Schritt (c) und vor der Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d);
- Fig. 2g eine Anordnung des umgeformten Werkstücks WS in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST bei geschlossenem Stauchtopf ST und angelegten Stauchdorn SD und Anschlag AN nach Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d);
- Fig. 2h eine Anordnung des umgeformten Werkstücks WS in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST bei geschlossenem Stauchtopf ST und angelegten Stauchdorn SD und Anschlag AN nach Durchführung des zweiten Stauchens gemäß Schritt (d);
- Fig. 2i ein erfindungsgemäß umgeformtes Werkstück WS;

- Fig. 2ii eine Detailansicht der bzw. Ausschnitt aus der Fig. 2i;
- Fig. 3 eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Umformen eines rohrförmigen Werkstücks WS in einem nicht endständigen Erwärmungsbereich E desselben (Fig. 3a bis 3i);
- Fig. 4a einen simulierten Faserverlauf in einem erfindungsgemäß umgeformten Werkstück WS;
- Fig. 4b einen simulierten Faserverlauf in einem konventionell, in einem Stauchhub umgeformten Werkstück WK;
- Fig. 5a/5b Detailansichten der Ringnut RN der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST und zur erfindungsgemäßen Bestimmung der Länge LN und der Tiefe TN der Ringnut RN; und
- Fig. 5c eine Detailansicht der Auskragung AU am Umformbereich bzw. Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS und zur erfindungsgemäßen Bestimmung der Länge LA und der Tiefe TA der Auskragung AU.

[0138] Fig. 1 zeigt schematisch vereinfacht das Nichtüberlappen, das teilweise Überlappen und das vollständige Überlappen des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST mit dem Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS. In Fig. 1 sind schematisch vereinfacht die Längen des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW und des Erwärmungsbereichs E längs der Mittelachse MAW/MWS der Aufnahme AW und des Werkstücks WS dargestellt.

[0139] Dabei ist in Fig. 1a und 1b das Nichtüberlappen des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E während des ersten Stauchens gemäß Schritt (b) dargestellt. Fig. 1a zeigt eine Anordnung, bei der der dritte Abschnitt AW₃ entfernt vom Erwärmungsbereich E ist und nicht mit diesem überlappt. In Fig. 1b berühren sich zwar der dritte Abschnitt AW₃ und der Erwärmungsbereich E im jeweiligen Randbereich, es findet jedoch keine Überlappung statt. Fig. 1c stellt eine teilweise Überlappung (ca. 50 %) des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW und des Erwärmungsbereichs E längs der Mittelachse MAW/MWS dar. Schließlich zeigt die Fig. 1d ein vollständiges Überlappen des dritten Abschnitts AW₃ mit dem Erwärmungsbereich E.

[0140] Die Fig. 1e und 1f zeigen ein vollständiges Überlappen des ersten Abschnitts AW₁ der Aufnahme AW mit dem Erwärmungsbereich E, wobei in Fig. 1f die beiden Abschnitte AW₁ und E an derselben axialen Position enden (rechter Rand des jeweiligen Bereichs in Fig. 1f). Die Fig. 1g und 1h zeigen ein vollständiges Überlappen des zweiten Abschnitts SD₂ des Stauchdorns SD mit dem Erwärmungsbereich E, wobei in Fig. 1h die beiden Abschnitte SD₂ und E an derselben axialen Position enden (rechter Rand des jeweiligen Bereichs in Fig. 1h).

[0141] Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem ein rohrförmiges Werkstück WS aus Metall mithilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung umgeformt wird. Das unverformte Werkstück WS, dargestellt in Fig. 2a, ist ein Rundrohr beispielsweise mit einem Außendurchmesser D₁ von 51 mm, einem Innendurchmesser d₁ von 32 mm und einer Wanddicke von 9,5 mm, und besteht aus dem Werkstoff 42CrMoS4 + QT. Bei der Darstellung der Fig. 2 weist das rohrförmige Werkstück WS einen endständigen Erwärmungsbereich E auf, wie insbesondere anhand der nachstehend im Detail erläuterten Fig. 2b ersichtlich.

[0142] Im Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS mithilfe einer Einrichtung I zum Erwärmen des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E, welche hier eine elektrisch betriebene Induktionsspule ist, auf eine Temperatur von beispielsweise 1.300 °C erwärmt (vgl. Fig. 2b), während der Kaltbereich K des Werkstücks WS nicht erwärmt wird. Eine besonders homogene Erwärmung des Erwärmungsbereichs E kann beispielsweise durch Rotieren des Werkstücks WS um seine Mittelachse MWS während des Erwärmens erfolgen (nicht dargestellt).

[0143] Nach Abschluss des Schritts (a) wird das im Erwärmungsbereich E erwärmte Werkstück WS in die geöffnete, erfindungsgemäße Vorrichtung V eingelegt, wie in Fig. 2c dargestellt, und die Vorrichtung V wird durch Zusammenfügen des mehrteiligen Stauchtopfs ST geschlossen. Der geschlossene Zustand ist in Fig. 2d dargestellt. Die Vorrichtung V weist einen Stauchtopf ST, einen Stauchdorn SD und einen Anschlag AN auf. Der Stauchtopf ST weist eine Aufnahme AW auf, welche einen ersten Abschnitt AW₁, einen zweiten Abschnitt AW₂ und einen dritten Abschnitt AW₃ aufweist. Dabei ist der dritte Abschnitt AW₃ zwischen dem ersten Abschnitt AW₁ und dem zweiten Abschnitt AW₂ angeordnet und als eine umlaufende Ringnut RN (hier in Gestalt einer Nut mit flachem Grund mit schrägen Kanten, in der Kontur) ausgebildet. Im vorliegenden Beispiel wird das Werkstück WS derart in den Stauchtopf eingelegt, dass der Erwärmungsbereich E des Werkstücks WS mit dem ersten Abschnitt AW₁ vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnitthan-sicht, geschnitten längs der Mittelachse MAW der Aufnahme AW, so wie in Fig. 2c/2d dargestellt. Der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW₂ der Aufnahme AW ist 0,2 bis 2 % größer als der Außendurchmesser des Werkstücks außerhalb des Erwärmungsbereichs E. Damit liegt dieser Abschnitt vergleichsweise eng am Werkstück an und stellt hierdurch eine gute Führung bzw. ein Halten des Werkstücks WS in der Vorrichtung V senkrecht zur Mittelachse MWS sicher. Demgegenüber ist der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW₁ der Aufnahme AW um 0,5 bis 4,0 % größer als der Außendurchmesser D₁ des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E vor dem Umformen, also im Aus-

gangszustand, und ist damit in der Regel größer als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 , was besonders in der Fig. 2dd erkennbar ist, die eine Detailansicht der Fig. 2d darstellt. Der Spalt SP zwischen der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks und der Aufnahme im Bereich des ersten Abschnitts AW_1 dient insbesondere dazu, die radiale Ausdehnung des Werkstücks im Erwärmungsbereich beim Erwärmen dessen auf eine Temperatur zu berücksichtigen, auf die der Erwärmungsbereich E nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in Schritt (a) erwärmt wird.

[0144] In der Fig. 2d ist der Zustand dargestellt, bei dem das im Erwärmungsbereich E erwärmte Werkstück WS in der erfindungsgemäß vorgesehenen axialen Position in der Vorrichtung V eingelegt ist und der Stauchtopf geschlossen ist. Ferner sind der Stauchdorn SD und der Anschlag AN an jeweils einer Stirnseite S_1/S_2 des rohrförmigen Werkstücks angelegt. Dabei hat der Stauchdorn SD im Bereich seines ersten Abschnitts SD_1 einen Außendurchmesser D_{SD1} , der um 0,1 bis 0,4 mm, und damit geringfügig kleiner ist als der Innendurchmesser d_{AW1} des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW. Hierdurch wird eine gute Führung des Stauchdorns in der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST sichergestellt. Im Bereich seines zweiten Abschnitts SD_2 weist der Stauchdorn einen Außendurchmesser D_{SD2} auf, der kleiner als der Innendurchmesser d_1 des Werkstücks, weswegen der zweite Abschnitt SD_2 in das Innere des Werkstücks eingeführt werden kann. Der Übergang zwischen dem zweiten Abschnitt SD_2 und dem ersten Abschnitt SD_1 stellt eine Stauchkante SK dar, die das Aufbringen einer ersten Kraft F_1 auf die erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS an einem ersten Ende E1 des Werkstücks ermöglicht.

[0145] In der vorliegenden Ausführungsform weist der Anschlag AN zwei Abschnitte auf, von denen der Abschnitt mit dem kleineren Außendurchmesser in das Innere des Werkstücks eingeführt werden kann. Der Übergang zwischen den beiden Abschnitten bildet eine Stauchkante AK, die das Aufbringen einer ersten Gegenkraft GF_1 auf eine zweite Stirnseite S_2 des Werkstücks WS an einem zweiten Ende E2 des Werkstücks, welches dem ersten Ende E1 des Werkstücks gegenüberliegt, ermöglicht. Im vorliegenden Beispiel steht das Werkstück aus dem Stauchtopf über und der Anschlag setzt am Werkstück außerhalb des Stauchtopfs an. Das Überstehen des Werkstücks aus dem Stauchtopf ist unproblematisch, solange der Erwärmungsbereich E des Werkstücks vollständig im Stauchtopf aufgenommen ist. Ein versehentliches, unkontrolliertes Umformen des Werkstücks im überstehenden Bereich ist nicht möglich, da das Werkstück im überstehenden Bereich nicht und insbesondere nicht auf die erfindungsgemäß vorgesehene Umformtemperatur erwärmt worden ist, und sich daher trotz der erfindungsgemäß vorgesehenen Krafteinwirkung nicht umformen lässt.

[0146] Alternativ hierzu kann das Werkstück WS auch vollständig in die Aufnahme AW des Stauchtopfs ST aufgenommen werden. Hierzu wird ein Anschlag AN gewählt, dessen Abschnitt mit dem größeren Außendurchmesser einen Außendurchmesser aufweist, der geringfügig kleiner als der Innendurchmesser d_{AW2} des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme ist, sodass sich der Anschlag innerhalb des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme in axialer Richtung frei bewegen kann und zudem von der inneren Umfangsfläche des zweiten Abschnitts AW_2 der Aufnahme sicher geführt wird.

[0147] Der Übergang von der Fig. 2d zur Fig. 2e zeigt das Durchführen des ersten Stauchhubs gemäß Schritt (b) des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei wird durch den Stauchtopf ST, genauer über seine vorstehend beschriebene Stauchkante SK die erste Kraft F_1 auf die erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS aufgebracht, während sich der Stauchdorn parallel zur Mittelachse des Werkstücks in Richtung auf das Werkstück zubewegt (in der Fig. 2d bzw. 2e nach links). Gleichzeitig bringt der Anschlag AN über seine Stauchkante AK eine erste Gegenkraft GF_1 auf die zweite Stirnseite S_2 des Werkstücks WS auf (in der Fig. 2d bzw. 2e nach rechts) und hält damit das zweite Ende des Werkstücks in seiner axialen Position. Durch die Einwirkung des Stauchdorns und des Anschlags wird das Werkstück im Erwärmungsbereich E, der eine Temperatur im erfindungsgemäß vorgesehenen Bereich zum Zeitpunkt der ersten Stauchung aufweist, derart gestaucht, dass das Material im Erwärmungsbereich E unter Zunahme der Wanddicke des Werkstücks radial nach außen und innen fließt, bis es außen an die innere Umfangsfläche des ersten Abschnitts AW_1 der Aufnahme AW und innen an die äußere Umfangsfläche des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD anstößt. Im Ergebnis ist das Werkstück im Erwärmungsbereich nach Abschluss des ersten Stauchung in seiner axialen Länge verkürzt und in seiner Wanddicke vergrößert. Dabei wird erfindungsgemäß eine übermäßige Stauchung durch die anspruchsgemäße Definition des unteren Grenzwerts für den Außendurchmesser des Stauchdorns im Bereich des zweiten Abschnitts SD_2 und des oberen Grenzwerts des Innendurchmessers d_{AW2} der Aufnahme AW im zweiten Abschnitt AW_2 vermieden. Genauer kann durch die vorstehend diskutierten, wesentlichen Beschränkungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Umformung des Werkstücks im Erwärmungsbereich E derart gesteuert werden, dass das Querschnittsflächenverhältnis A_2/A_1 im Erwärmungsbereich E des Werkstücks der Querschnittsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich E nach dem ersten Stauchen und zur Querschnittsfläche an derselben Stelle vor dem Stauchen einen Wert von 2,0 oder bevorzugt 1,6 nicht überschreitet. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass es nicht zu einer Faltenbildung an der inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich kommt.

[0148] Der Übergang von der Fig. 2e zur Fig. 2f zeigt das Verschieben des Stauchtopfs ST in einer Richtung entlang der Mittelachse der Aufnahme AW relativ zum Werkstück (in der Fig. 2e bzw. 2f nach rechts) gemäß dem Schritt (c) des erfindungsgemäßen Verfahrens. Nach dem Verschieben ist das Werkstück WS derart in der Aufnahme angeordnet, dass der dritte Abschnitt AW_3 der Aufnahme AW, der die Ringnut RN aufweist, mit dem Erwärmungsbereich E im vorliegenden Beispiel nahezu vollständig überlappt, wenn betrachtet in der Fig. 2f.

[0149] Sobald die erfindungsgemäße Überlappungsbedingung erfüllt ist, kann der zweite Stauchhub durchgeführt

werden, der hier als der Übergang von der Fig. 2f zur Fig. 2g dargestellt ist. Dabei wird analog zum ersten Stauchhub durch den Stauchtopf ST, genauer über seine Stauchkante SK, die zweite Kraft F_2 auf die erste Stirnseite S_1 des Werkstücks WS aufgebracht, während sich der Stauchdorn parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks in Richtung auf das Werkstück zubewegt (in der Fig. 2f nach links). Gleichzeitig bringt der Anschlag eine zweite Gegenkraft GF_2 auf die zweite Stirnseite S_2 des Werkstücks WS auf (in der Fig. 2f nach rechts) und hält damit das zweite Ende des Werkstücks in seiner axialen Position. Durch die Einwirkung des Stauchdorns und des Anschlags wird das Werkstück im Erwärmungsbereich nochmals gestaucht, so dass das Material im Erwärmungsbereich unter weiterer Zunahme der Wanddicke des Werkstücks radial nach außen fließt, bis es außen an die innere Umfangsfläche des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme, also an die Oberfläche der Ringnut RN anstößt. Da die Innenseite des Werkstücks im Erwärmungsbereich E bereits vom ersten Stauchhub her an der äußeren Umfangsfläche des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD anliegt, bewirkt der zweite Stauchhub im Wesentlichen das Auskragen des Werkstücks nach außen in die Ringnut RN, während die Innenseite im Wesentlichen unverändert bleibt. Zudem wird die axiale Länge des Werkstücks mit der zweiten Stauchung weiter verkürzt. Während der zweiten Stauchung ist die Temperatur des Erwärmungsbereichs E gegenüber der Durchführung des ersten Stauchhubs aufgrund von Abkühlung durch Wärmedissipation in die Umgebung des Werkstücks verringert, da der zweite Stauchhub zeitlich nach dem ersten Stauchhub durchgeführt wird. Wenn jedoch die in Schritt (d) definierte Temperaturbedingung des Erwärmungsbereichs eingehalten wird, ist nach der Kenntnis des Erfinders der Erwärmungsbereich zum Zeitpunkt der Durchführung des zweiten Stauchens noch ausreichend plastisch bzw. fließfähig und damit umformbar. Das Design der erfindungsgemäßen Vorrichtung und der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens erlauben eine derart zügige Durchführung der beiden hintereinandergeschalteten Stauchhübe, dass während des zweiten Stauchhubs immer noch eine ausreichend hohe Temperatur im Erwärmungsbereich des Werkstücks sichergestellt ist, um den zweiten Stauchhub unter Erzielung des gewünschten Umformungsgrades durchzuführen.

[0150] Dank der gezielten Wahl der Gestalt des dritten Abschnitts AW_3 der Aufnahme AW und der Stützfunktion des zweiten Abschnitts SD_2 des Stauchdorns SD an der inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich E lässt sich erfindungsgemäß eine weitere Wandverdickung im Erwärmungsbereich E unter Ausbildung der Auskrragung AU an der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks bewerkstelligen. Dabei ist aufgrund der erfindungsgemäßen Vorrichtungs- und Verfahrensbedingungen, wie sie in den unabhängigen Ansprüchen definiert sind, sichergestellt, dass das Querschnittsflächenverhältnis A_3/A_2 im Erwärmungsbereich E, also das Verhältnis der Querschnittsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich nach dem zweiten Stauchen zur Querschnittsfläche an derselben Stelle nach dem ersten Stauchen, wiederum einen Wert von 2,0 oder bevorzugt 1,6, nicht überschreitet. Hierdurch kann auch beim zweiten Stauchen sichergestellt werden, dass es nicht zu einer Faltenbildung an der inneren Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungsbereich E kommt.

[0151] Die Fig. 2g zeigt das mit zwei Stauchhüben umgeformte Werkstück nach Abschluss des zweiten Stauchhubs in der geschlossenen Vorrichtung. Dabei ist in dem hier betrachteten Beispiel der Außendurchmesser D_3 des Werkstücks WS im Erwärmungsbereich E im Bereich der Auskrragung 63 mm, der Innendurchmesser d_3 26 mm und die Wanddicke 17,25 mm. Hieraus ergibt sich eine Gesamtumformgrad, also das Querschnittsflächenverhältnis A_3/A_1 im Erwärmungsbereich E von 2,09. In nächsten Schritt (Fig. 2h) wird das umgeformte Werkstück WS durch Entfernen des Anschlags AN und des Stauchdorns SD aus der Vorrichtung V und Öffnen des Stauchtopfs ST freigelegt. Schließlich ist in Fig. 2i und in der Detailansicht der Fig. 2ii das erfindungsgemäß umgeformte Werkstück mit der Wandverdickung im Erwärmungsbereich E und der Auskrragung AU an der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks WS dargestellt.

[0152] Die Fig. 3, genauer die Figuren 3a bis 3i, geben eine weitere, bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wieder, bei dem ein rohrförmiges Werkstück mit einem nicht endständigen Erwärmungsbereich E umgeformt wird. In der nachfolgenden Beschreibung werden alle Merkmale, Umstände und Bedingungen, die identisch zu der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform sind, der Einfachheit halber weggelassen und nur Unterschiede zu dieser Ausführungsform beschrieben.

[0153] Wie insbesondere aus der Fig. 3b erkennbar, wird das unverformte, rohrförmige Werkstück WS nicht an seinem ersten Ende erwärmt, sondern der Erwärmungsbereich E ist innenliegend angeordnet. Zwischen dem Erwärmungsbereich E und dem ersten Ende E1 des Werkstücks WS befindet sich ein erster Kaltbereich K1, während sich zwischen dem Erwärmungsbereich E und dem zweiten Ende E2 des Werkstücks WS ein zweiter Kaltbereich K2 befindet.

[0154] Der zum Umformen gemäß der vorliegenden Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete Stauchdorn SD weist zusätzlich zu dem vorstehend beschriebenen ersten Abschnitt SD_1 und zweiten Abschnitt SD_2 einen dritten Abschnitt SD_3 auf, der einen Übergang vom ersten Abschnitt SD_1 zum zweiten Abschnitt SD_2 darstellt. Der dritte Abschnitt SD_3 weist eine Länge auf, die in etwa der Länge des ersten Kaltbereichs K1 des Werkstücks entspricht, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, bei der der Stauchdorn SD senkrecht zu seiner Mittelachse MSD geschnitten wird. Der Außendurchmesser D_{SD3} des dritten Abschnitts SD_3 ist um 0,2 bis 2,0 % kleiner als der Innendurchmesser d_0 des Werkstücks im ersten Kaltbereich K1. Das Vorhandensein des dritten Abschnitts SD_3 verbessert das Halten bzw. die Führung des Werkstücks WS in der Aufnahme AW und begrenzt die Fließmöglichkeiten des Werkstückmaterials in einer Richtung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS an der Grenze zwischen dem Er-

wärmungsbereich E und dem ersten Kaltbereich K1 beim ersten und zweiten Stauchen (vgl. insbesondere Fig. 3d). Die einzelnen Verfahrensschritte, die in den Figuren 3b bis 3h dargestellt sind, werden analog zu den in den Fig. 2b bis 2h dargestellten und vorstehend beschriebenen Verfahrensschritten durchgeführt. Insbesondere gelten auch bei dieser Ausführungsform wie bei allen erfindungsgemäßen Ausführungsformen die vorstehend bzw. in den Ansprüchen definierten Überlappungs- bzw. Nichtüberlappingsbedingungen.

[0155] Schließlich ist in Fig. 3i das nach dieser Ausführungsform umgeformte Werkstück WS mit der Wandverdickung im nicht endständigen Erwärmungsbereich E und der Auskrugung AU an der äußeren Umfangsfläche des Werkstücks WS dargestellt.

[0156] Die Fig. 4a zeigt einen simulierten Faserverlauf im Umformbereich in einem erfindungsgemäßen, mit insgesamt zwei Hüben umgeformten Werkstück WS. Wie zu erkennen ist, fächert sich der Faserverlauf in dem Bereich, in dem die Umformung stattgefunden hat, zwar entsprechend dem Umformgrad leicht auf, verläuft jedoch im Wesentlichen parallel zur Mittelachse des Werkstücks (vgl. Fig. 4a). Darüber hinaus ist die innere Umfangsfläche des Werkstücks im Erwärmungs-/Umformbereich glatt und ohne Falte ausgebildet.

[0157] Wird dagegen das gleiche Werkstück unter denselben Bedingungen in einem einzigen Stauchhub umgeformt, mit dem in etwa derselbe Umformgrad von insgesamt > 2 (Verhältnis der Querschnittsflächen nach und vor dem Umformen zueinander), dann zeigt der Faserverlauf eines derart umgeformten Werkstücks WK deutlich eine Komponente radial auswärts zur Mittelachse des Werkstücks WK, insbesondere in der Nähe zur inneren Umfangsfläche des Werkstücks WK im Umformbereich. Zudem ist auf der inneren Umfangsfläche des Werkstücks WK eine Falte F deutlich erkennbar (vgl. Fig. 4b).

[0158] Zur Verdeutlichung der Dimensionen der Ringnut RN der Aufnahme AW dienen die Detailansichten der Fig. 5a und 5b. Darin zeigt Fig. 5a einen Ausschnitt aus der Schnittansicht der Fig. 2d, wobei das rohrförmige Werkstück WS in die Aufnahme AW des Stauchtopfs ST aufgenommen ist. Ferner ist der Stauchdorn SD, dessen Endabschnitt rechts in der Fig. 5a erkennbar ist, in das Innere des Werkstücks WS eingeführt. Wie weiter erkennbar, ist die Ringnut RN, welche im Bereich des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST ausgebildet ist, rotationssymmetrisch um die Mittelachse der Aufnahme MAW, welche zugleich die Mittelachse MWS des Werkstücks WS und die Mittelachse MSD des Stauchdorns SD ist. Wie in der weiteren Detailansicht der Fig. 5b erkennbar, sind der erste Abschnitt AW₁ und der zweite Abschnitt AW₂ der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST rechts und links zum dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW des Stauchtopfs ST angeordnet. Erfindungsgemäß wird bzw. ist die Länge LN der Ringnut RN an der Stelle ihrer größten Ausdehnung parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert (vgl. auch Fig. 5b). Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung V ist die Länge LN der Ringnut RN üblicherweise und bevorzugt identisch mit der Länge des dritten Abschnitts AW₃ der Aufnahme AW, jeweils gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW. Die erfindungsgemäße Vorrichtung V ist jedoch nicht hierauf beschränkt, da der dritte Abschnitt AW₃ der Aufnahme AW eine größere Länge als die Länge LN der Ringnut RN aufweisen kann.

[0159] Erfindungsgemäß wird bzw. ist die Tiefe TN der Ringnut RN senkrecht zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) an der Stelle ihrer größten Ausdehnung in dieser Richtung gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert (vgl. auch Fig. 5b). Wie aus der Fig. 5b erkennbar ist, wird bzw. ist die Tiefe TN der Ringnut RN zwischen dem Niveau (waagerechte gestrichelte Linie in der Fig. 5b) der inneren Umfangsfläche des zweiten Abschnitts (AW₂) der Aufnahme (AW) und dem Nutgrund der Ringnut RN gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert, und zwar senkrecht zur Mittelachse MAW der Aufnahme AW. Die Länge LN und Tiefe TN der Ringnut RN, wie sie erfindungsgemäß definiert und bestimmt werden, sind in der Fig. 5b durch Doppelpfeile angegeben.

[0160] Analog zur vorstehenden Beschreibung der Ringnut RN und deren Dimensionen ist in Fig. 5c ein vergrößerter Ausschnitt der Fig. 2i dargestellt, der die Auskrugung AU am Umformbereich bzw. Erwärmungsbereich E des erfindungsgemäß mit zwei Stauchhüben umgeformten Werkstücks WS wiedergibt. Erfindungsgemäß kann die Länge LA der Auskrugung AU an der Stelle ihrer größten Ausdehnung parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS 3 bis 50 mm oder genauer < 3 bis < 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm oder genauer < 4 bis < 12 mm, sein, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert parallel zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS. Zudem kann erfindungsgemäß die Tiefe TA der Auskrugung AU an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 2 bis 20 mm, genauer < 2 bis < 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, genauer < 3 bis < 10 mm, gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert senkrecht zur Mittelachse MWS des Werkstücks WS sein. Erfindungsgemäß wird bzw. ist die Tiefe TA der Auskrugung AU ab dem Niveau der äußeren Umfangsfläche des zum Erwärmungsbereich E benachbarten Kaltbereichs K gemessen bzw. bestimmt bzw. betrachtet bzw. gesehen bzw. definiert (waagerechte gestrichelte Linie in der Fig. 5c). Streng genommen muss die Auskrugung AU in der technisch realen Ausführung der Erfindung etwas geringere Dimensionen in Bezug auf ihre Länge und Tiefe als die entsprechende Dimension der Ringnut aufweisen, mit deren Hilfe sie geformt wurde. Um dies auszudrücken, sind vorstehend auch die "genaueren" Bereiche < 3 bis < 50 mm/ < 4 bis < 12 mm/ < 2 bis < 20 mm/ < 3 bis < 10 mm angegeben. Die Länge LA und Tiefe TA der Auskrugung AU, wie sie erfindungsgemäß definiert und bestimmt werden, sind in der Fig. 5c durch Doppelpfeile angegeben.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (V) zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks (WS) aus Metall,

wobei das Werkstück (WS) einen Erwärmungsbereich (E) aufweist;
wobei das Werkstück (WS) innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen einen Außendurchmesser (D_1) und einen Innendurchmesser (d_1) aufweist;
wobei das Werkstück (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen einen Außendurchmesser (D_0) und einen Innendurchmesser (d_0) aufweist;
wobei die Vorrichtung (V) wenigstens aufweist:

einen Stauchtopf (ST);
einen Stauchdorn (SD); und
einen Anschlag (AN);
wobei der Stauchtopf (ST) mehrteilig, vorzugsweise zweiteilig, ist;
wobei der Stauchtopf (ST) eine Aufnahme (AW) zum Aufnehmen des gesamten Werkstücks (WS) oder wenigstens eines Teils des Werkstücks (WS) einschließlich eines Erwärmungsbereichs (E) des Werkstücks (WS) aufweist;
wobei die Aufnahme (AW) einen ersten Abschnitt (AW_1), einen zweiten Abschnitt (AW_2) und einen dritten Abschnitt (AW_3) entlang der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) aufweist;
wobei der Innendurchmesser (d_{AW1}) des ersten Abschnitts (AW_1) der Aufnahme (AW) das 1,005-fache bis 1,040-fache des Außendurchmessers (D_1) des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) vor dem Umformen ist;
wobei der Innendurchmesser (d_{AW2}) des zweiten Abschnitts (AW_2) der Aufnahme (AW) das 1,002-fache bis 1,020-fache des Außendurchmessers (D_0) des Werkstücks (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen ist;
wobei der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) zwischen dem ersten Abschnitt (AW_1) der Aufnahme (AW) und dem zweiten Abschnitt (AW_2) der Aufnahme (AW) angeordnet ist;
wobei der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) als eine umlaufende Ringnut (RN) ausgebildet ist;
wobei der Innendurchmesser (d_{AW3}) des dritten Abschnitts (AW_3) der Aufnahme (AW) größer als der Innendurchmesser (d_{AW1}) des ersten Abschnitts (AW_1) der Aufnahme (AW);
wobei der Innendurchmesser (d_{AW3}) des dritten Abschnitts (AW_3) der Aufnahme (AW) größer als der Innendurchmesser (d_{AW2}) des zweiten Abschnitts (AW_2) der Aufnahme (AW) ist;
wobei die Länge des ersten Abschnitts (AW_1) der Aufnahme (AW), gemessen parallel zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW), größer als die Länge des Erwärmungsbereichs (E) des Werkstücks (WS), gemessen parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), ist;
wobei der Stauchdorn (SD) einen ersten Abschnitt (SD_1) und einen zweiten Abschnitt (SD_2) entlang der Mittelachse (MSD) des Stauchdorns (SD) aufweist;
wobei der Stauchdorn (SD) im Bereich des ersten Abschnitts (SD_1) einen Außendurchmesser (D_{SD1}) aufweist, der 0,1 bis 0,4 mm, vorzugsweise 0,2 bis 0,3 mm, kleiner ist als der Innendurchmesser (d_{AW1}) des ersten Abschnitts (AW_1) der Aufnahme (AW);
wobei der Stauchdorn (SD) im Bereich des zweiten Abschnitts (SD_2) einen Außendurchmesser (D_{SD2}) aufweist, welcher die nachfolgende Bedingung erfüllt:

$$D_{SD2} \geq \sqrt{-2,0 \cdot (D_1^2 - d_1^2) + d_{AW1}^2},$$

$$\text{vorzugsweise } D_{SD2} \geq \sqrt{-1,6 \cdot (D_1^2 - d_1^2) + d_{AW1}^2},$$

wobei die Länge des zweiten Abschnitts (SD_2) des Stauchdorns (SD), gemessen parallel zur Mittelachse (MSD) des Stauchdorns (SD), wenigstens das 1,1-fache der Länge des Erwärmungsbereichs (E), gemessen parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), ist;
wobei der Innendurchmesser (d_{AW3}) der Aufnahme (AW) im dritten Abschnitt (AW_3) die nachfolgende Bedingung erfüllt:

$$d_{AW3} \leq \sqrt{2,0 \cdot d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2},$$

5

$$\text{vorzugsweise } d_{AW3} \leq \sqrt{1,6 \cdot d_{AW1}^2 - 1,6 \cdot D_{SD2}^2};$$

10

wobei der Stauchdorn (SD) relativ zum Stauchtopf (ST) und/oder der Stauchtopf (ST) relativ zum Stauchdorn (SD) beweglich gelagert ist/sind;

wobei der Stauchdorn (SD) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) beweglich gelagert ist;

15

wobei der Stauchdorn (SD) geeignet ist, eine erste Kraft (F_1) und eine zweite Kraft (F_2) auf das Werkstück (WS), vorzugsweise auf eine erste Stirnseite (S_1) des Werkstücks (WS), in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MSD) des Stauchdorns (SD) aufzubringen; wobei der Anschlag (AN) relativ zum Stauchtopf (ST) und/oder der Stauchtopf (ST) relativ zum Anschlag (AN) beweglich gelagert ist/sind;

20

wobei der Anschlag (AN) geeignet ist, eine erste Gegenkraft (GF_1) und eine zweite Gegenkraft (GF_2) auf das Werkstück (WS), vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite (S_1) gegenüberliegende Stirnseite (S_2) des Werkstücks (WS), in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MSD) des Stauchdorns (SD) aufzubringen; wobei die erste Gegenkraft (GF_1) der ersten Kraft (F_1) und die zweite Gegenkraft (GF_2) der zweiten Kraft (F_2) entgegengerichtet ist;

wobei der Stauchtopf (ST) und der Stauchdorn (SD) derart in der Vorrichtung (V) angeordnet oder anordenbar sind, dass die Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST) und die Mittelachse (MSD) des Stauchdorns (SD) konzentrisch sind.

25

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die erste Kraft (F_1) und die erste Gegenkraft (GF_1) jeweils auf eine erste Querschnittsfläche (A_1) bezogen sind und jeweils zwischen 200 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 280 und 450 N/mm², betragen; und

30

wobei die zweite Kraft (F_2) und die zweite Gegenkraft (GF_2) jeweils auf eine zweite Querschnittsfläche (A_2) bezogen sind und jeweils zwischen 300 und 600 N/mm², insbesondere zwischen 400 und 550 N/mm², betragen; und

wobei die erste Querschnittsfläche (A_1) nach folgender Formel berechnet wird:

35

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2);$$

und

wobei die zweite Querschnittsfläche (A_2) nach folgender Formel berechnet wird:

40

$$A_2 = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2).$$

45

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Stauchtopf (ST), vorzugsweise der Stauchtopf (ST) und der Stauchdorn (SD), auf eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C, temperierbar ist/sind; und/oder

wobei die Vorrichtung (V) eine Temperiereinrichtung (TE) zum Temperieren des Stauchtopfs (ST), vorzugsweise des Stauchtopfs (ST) und des Stauchdorns (SD), auf eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C; aufweist; und/oder

50

wobei der Anschlag (AN) wenigstens einen Abschnitt aufweist, der einen Außendurchmesser (D_{AN}) aufweist, der 0,1 bis 0,3 mm, vorzugsweise 0,2 mm, kleiner ist als der Innendurchmesser (d_{AW2}) des zweiten Abschnitts (AW_2) der Aufnahme (AW).

4. Vorrichtung nach einem Ansprüche 1 bis 3, wobei die Vorrichtung (V) ferner aufweist:

55

eine Einrichtung (I) zum Erwärmen des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) oder in einem Teil desselben, auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise 1.000 bis 1.450 °C;

wobei die Einrichtung (I) das Erwärmen des Erwärmungsbereichs (E) des Werkstücks (WS) vorzugsweise mittels Induktion, Bestrahlung oder Beflammung durchführt.

5. Vorrichtung nach einem Ansprüche 1 bis 4, wobei die Ringnut (RN) rotationssymmetrisch, zickzackförmig oder wellenförmig um die Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) ausgebildet ist; und/oder

wobei die Ringnut (RN) eine V-förmige, U-förmige, halbkreisförmige, rechteckige oder trapezförmige Kontur aufweist, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW); und/oder

wobei die Länge (LN) der Ringnut (RN) an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 3 bis 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm, gemessen parallel zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW), ist; und/oder

wobei die Tiefe (TN) der Ringnut (RN) an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 2 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, gemessen senkrecht zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW), ist.

6. System (S), aufweisend ein einteiliges, wenigstens abschnittsweise rohrförmiges Werkstück (WS) aus Metall und die Vorrichtung (V) zum Umformen des Werkstücks (WS) nach einem Ansprüche 1 bis 5, oder bestehend aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück (WS) aus Metall und der Vorrichtung (V) zum Umformen des Werkstücks (WS) nach einem der Ansprüche 1 bis 5;

wobei das Werkstück (WS) einen Erwärmungsbereich (E) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen einen Außendurchmesser (D_1) und einen Innendurchmesser (d_1) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen einen Außendurchmesser (D_0) und einen Innendurchmesser (d_0) aufweist;

wobei die Vorrichtung (V) vorzugsweise zur Durchführung wenigstens der Schritte (b), (c) und (d) des Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 14 geeignet ist.

7. System (S) nach Anspruch 6, wobei das Werkstück (WS) in einer ersten Anordnung derart in der Vorrichtung (V) anordenbar ist, dass der erste Abschnitt (AW_1) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) vollständig überlappt, und der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) nicht, auch nicht teilweise, überlappt, wenn jeweils betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW); und

wobei das Werkstück (WS) in einer zweiten Anordnung derart in der Vorrichtung (V) anordenbar ist, dass der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW); und

wobei das Werkstück (WS) und/oder der Stauchdorn (SD) in der Vorrichtung (V) in der ersten Anordnung und in der zweiten Anordnung derart anordenbar sind/ist, dass der zweite Abschnitt (SD_2) des Stauchdorns (SD) mit dem Erwärmungsbereich (E) vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW).

8. Verfahren zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks (WS) aus Metall unter Einsatz der Vorrichtung (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder des Systems (S) nach Anspruch 6 oder 7;

wobei das Werkstück (WS) einen Erwärmungsbereich (E) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) vor dem Umformen innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) einen Außendurchmesser (D_1) und einen Innendurchmesser (d_1) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) vor dem Umformen in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) einen Außendurchmesser (D_0) und einen Innendurchmesser (d_0) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) eine erste Querschnittsfläche (A_1) aufweist;

wobei die erste Querschnittsfläche (A_1) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2),$$

wobei das Verfahren wenigstens die folgenden Schritte aufweist:

(a) Erwärmen des Erwärmungsbereichs (E) des Werkstücks (WS) auf eine Temperatur von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise von 1.000 bis 1.300 °C;

wobei der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen des Werkstücks (WS) innerhalb des

Erwärmungsbereichs (E) höchstens 100 °C beträgt;

(b) erstes Stauchen des Werkstücks (WS) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), derart, dass das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) nach dem ersten Stauchen eine zweite Querschnittsfläche (A_2) aufweist, wobei das Verhältnis (A_2/A_1) der zweiten Querschnittsfläche (A_2) zur ersten Querschnittsfläche (A_1) folgende Bedingung erfüllt:

$$(A_2/A_1) \leq 2,0,$$

$$\text{vorzugsweise } (A_2/A_1) \leq 1,6;$$

wobei die zweite Querschnittsfläche (A_2) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_2 = \pi/4 \cdot (d_{AW1}^2 - D_{SD2}^2),$$

wobei das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) beim ersten Stauchen eine Temperatur von 700 bis 1.450 °C, vorzugsweise von 1.000 bis 1.300 °C, aufweist; wobei der Temperaturunterschied zwischen zwei beliebigen Stellen des Werkstücks (WS) innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) höchstens 100 °C beträgt;

wobei das Werkstück (WS) oder ein Teil desselben einschließlich des Erwärmungsbereichs (E) während des ersten Stauchens in der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST) der Vorrichtung (V) angeordnet ist;

wobei das Werkstück (WS) während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass die Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS) konzentrisch zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST) ist;

wobei das Werkstück (WS) während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass der erste Abschnitt (AW_1) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

wobei das Werkstück (WS) während des ersten Stauchens derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) nicht überlappt, auch nicht teilweise überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW); wobei der Stauchdorn (SD) der Vorrichtung (V) oder ein Teil desselben während des ersten Stauchens im Innern des Werkstücks (WS) angeordnet ist;

wobei das Werkstück (WS) und/oder der Stauchdorn (SD) während des ersten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der zweite Abschnitt (SD_2) des Stauchdorns (SD) mit dem Erwärmungsbereich (E) vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

wobei der Anschlag (AN) der Vorrichtung (V) während des ersten Stauchens mit dem Werkstück (WS) in Berührung ist; und

wobei das erste Stauchen durch das Einwirken des Stauchdorns (SD) und des Anschlags (AN) auf das Werkstück (WS) bewirkt wird;

(c) nach dem ersten Stauchen gemäß Schritt (b) und vor dem zweiten Stauchen gemäß Schritt (d), Verschieben des Werkstücks (WS) und/oder des Stauchtopfs (ST) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW), so dass das Werkstück (WS) derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmungsbereich (E) wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

wobei das Verschieben vorzugsweise durch Bewegen des Stauchdorns (SD) und des Anschlags (AN) und/oder des Stauchtopfs (ST) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) erfolgt;

(d) zweites Stauchen des Werkstücks (WS) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), derart, dass das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) oder in wenigstens einem Teil des Erwärmungsbereichs (E) nach dem zweiten Stauchen eine dritte Querschnittsfläche (A_3) aufweist, wobei das Verhältnis (A_3/A_2) der dritten Querschnittsfläche (A_3) zur zweiten Querschnittsfläche (A_2) folgende Bedingung erfüllt:

$$(A_3/A_2) \leq 2,0,$$

5

$$\text{vorzugsweise } (A_3/A_2) \leq 1,6;$$

wobei die dritte Querschnittsfläche (A_3) nach folgender Formel berechnet wird:

10

$$A_3 = \pi/4 \cdot (d_{AW3}^2 - D_{SD2}^2),$$

wobei nach dem ersten Stauchen und vor dem zweiten Stauchen kein Erwärmen des Werkstücks (WS) im Erwärmbereich (E), vorzugsweise kein Erwärmen des Werkstücks (WS), erfolgt;

15

wobei das Werkstück (WS) im Erwärmbereich (E) beim zweiten Stauchen eine Temperatur von 650 bis 1.200 °C, vorzugsweise von 800 bis 1.100 °C, aufweist; wobei das Werkstück (WS) oder ein Teil desselben einschließlich des Erwärmbereichs (E) während des zweiten Stauchens in der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST) der Vorrichtung (V) angeordnet ist;

20

wobei das Werkstück (WS) während des zweiten Stauchens derart angeordnet ist, dass die Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS) konzentrisch zur Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST) ist;

wobei das Werkstück (WS) während des zweiten Stauchens derart angeordnet ist, dass der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem Erwärmbereich (E) wenigstens teilweise überlappt, vorzugsweise vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

25

wobei der Stauchdorn (SD) der Vorrichtung (V) oder ein Teil desselben während des zweiten Stauchens im Innern des Werkstücks (WS) angeordnet ist; und

wobei der Stauchtopf (ST) und/oder der Stauchdorn (SD) während des zweiten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der dritte Abschnitt (AW_3) der Aufnahme (AW) mit dem zweiten Abschnitt (SD_2) des Stauchdorns (SD) vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

30

wobei das Werkstück (WS) und/oder der Stauchdorn (SD) während des zweiten Stauchens derart angeordnet sind/ist, dass der zweite Abschnitt (SD_2) des Stauchdorns (SD) mit dem Erwärmbereich (E) vollständig überlappt, wenn betrachtet in einer Schnittansicht, geschnitten längs der Mittelachse (MAW) der Aufnahme (AW);

35

wobei der Anschlag (AN) der Vorrichtung (V) während des zweiten Stauchens mit dem Werkstück (WS) in Berührung ist; und

wobei das zweite Stauchen durch das Einwirken des Stauchdorns (SD) und des Anschlags (AN) auf das Werkstück (WS) bewirkt wird.

40

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei in Schritt (a) das Erwärmen des Werkstücks (WS) im Erwärmbereich (E) mittels Induktion, Bestrahlung oder Beflammung, vorzugsweise mittels einer Einrichtung (I) zum Erwärmen des Werkstücks (WS), erfolgt; und/oder wobei das Werkstück (WS) während des Erwärmens rotiert.

45

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei in Schritt (b) das erste Stauchen des Werkstücks (WS) durchgeführt wird, indem der Stauchdorn (SD) eine erste Kraft (F_1) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS) auf das Werkstück (WS), vorzugsweise auf eine erste Stirnseite (S_1) des Werkstücks (WS), aufbringt; und

50

indem der Anschlag (AN) eine erste Gegenkraft (GF_1) auf das Werkstück (WS) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite (S_1) gegenüberliegende Stirnseite (S_2) des Werkstücks (WS), aufbringt, wobei die erste Gegenkraft (GF_1) der ersten Kraft (F_1) entgegengerichtet ist; wobei die erste Kraft (F_1) auf die erste Querschnittsfläche (A_1) bezogen vorzugsweise 200 bis 600 N/mm², insbesondere 280 bis 450 N/mm², beträgt; und

55

wobei die erste Kraft (F_1) vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Stauchdorn (SD) zum Stauchtopf (ST) relativ bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s; und wobei die erste Gegenkraft (GF_1) auf die erste Querschnittsfläche (A_1) bezogen vorzugsweise 200 bis 600 N/mm², insbesondere 280 bis 450 N/mm², beträgt; und wobei die erste Gegenkraft (GF_1) vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Anschlag (AN) relativ zum Stauchtopf (ST) fixiert ist oder bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 0 und 200 mm/s, weiter

bevorzugt mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s.

- 5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei in Schritt (d) das zweite Stauchen des Werkstücks (WS) durchgeführt wird, indem der Stauchdorn (SD) eine zweite Kraft (F_2) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS) auf das Werkstück (WS), vorzugsweise auf eine erste Stirnseite (S_1) des Werkstücks (WS), aufbringt; und indem der Anschlag (AN) eine zweite Gegenkraft (GF_2) auf das Werkstück (WS) in einer Richtung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), vorzugsweise auf eine zweite, der ersten Stirnseite (S_1) gegenüberliegende Stirnseite (S_2) des Werkstücks (WS), aufbringt, wobei die zweite Gegenkraft (GF_2) der zweiten Kraft (F_2) entgegengerichtet ist; wobei die zweite Kraft (F_2) auf die zweite Querschnittsfläche (A_2) bezogen vorzugsweise 300 bis 600 N/mm², insbesondere 400 bis 550 N/mm², beträgt; und

wobei die zweite Kraft (F_2) vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Stauchdorn (SD) zum Stauchtopf (ST) relativ bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s, und
 15 wobei die zweite Gegenkraft (GF_2) auf die zweite Querschnittsfläche (A_2) bezogen vorzugsweise 300 bis 600 N/mm², insbesondere 400 bis 550 N/mm², beträgt; und
 wobei die zweite Gegenkraft (GF_2) vorzugsweise aufgebracht wird, indem der Anschlag (AN) relativ zum Stauchtopf (ST) fixiert ist oder bewegt wird, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit zwischen 0 und 200 mm/s, weiter
 20 bevorzugt mit einer Geschwindigkeit zwischen 20 und 200 mm/s, insbesondere mit einer Geschwindigkeit zwischen 80 und 100 mm/s.

- 25 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei vor dem Schritt (b) und/oder vor dem Schritt (d) eine äußere Umfangsfläche des Stauchdorns (SD) und/oder eine innere Umfangsfläche des Stauchtopfs (ST), vorzugsweise eine innere Umfangsfläche der Aufnahme (AW) des Stauchtopfs (ST), mit einem Schmiermittel, vorzugsweise mit einem Graphit-Wasser-Gemisch, benetzt wird/werden; und vorzugsweise der Stauchdorn (SD) und/oder der Stauchtopf (ST) nach dem Benetzen und vor dem Stauchen auf eine Temperatur von 120 bis 160 °C, vorzugsweise 150 °C, erwärmt wird/werden.

- 30 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der Stauchtopf (ST) oder der Stauchtopf (ST) und der Stauchdorn (SD) wenigstens während der Durchführung der Schritte (b) und (d) eine Temperatur zwischen 120 und 200 °C, vorzugsweise zwischen 140 und 160 °C, aufweisen.

- 35 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei in Schritt (a) die Dauer des Erwärmens des Werkstücks (WS) 2 bis 20 Sekunden, vorzugsweise 2 bis 10 Sekunden, ist; und/oder

wobei in Schritt (b) die Dauer des ersten Stauchens des Werkstücks (WS) 0,5 bis 2,5 Sekunden, vorzugsweise 0,5 bis 1,5 Sekunde, ist; und/oder
 wobei in Schritt (c) die Dauer des ersten Stauchens des Werkstücks (WS) 0,5 bis 2,5 Sekunden, vorzugsweise
 40 0,5 bis 1,5 Sekunde, ist; und/oder
 wobei in Schritt (d) die Dauer des zweiten Stauchens des Werkstücks (WS) 0,5 bis 2 Sekunden, vorzugsweise 0,5 bis 1 Sekunde, ist; und/oder
 wobei die Schritte (a), (b), (c) und (d) zusammen innerhalb von 25 Sekunden, vorzugsweise 15 Sekunden, insbesondere 12 Sekunden, durchgeführt werden.

- 45 15. Einteiliges, umgeformtes Werkstück (WS) aus Metall, vorzugsweise hergestellt mittels der Vorrichtung (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder mittels des Systems (S) nach Anspruch 6 oder 7, und/oder mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück (WS) aus Metall; wobei das Werkstück (WS) einen Erwärmungsbereich (E) aufweist;

wobei das Werkstück (WS) vor dem Umformen innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) einen Außendurchmesser (D_1) und einen Innendurchmesser (d_1) aufweist;
 wobei das Werkstück (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) einen Außendurchmesser (D_0) und einen Innendurchmesser (d_0) aufweist;
 55 wobei das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) vor dem Umformen eine erste Querschnittsfläche (A_1) und nach dem Umformen eine dritte Querschnittsfläche (A_3) aufweist, wobei das Verhältnis (A_3/A_1) der dritten Querschnittsfläche (A_3) zur ersten Querschnittsfläche (A_1) folgende Bedingung erfüllt: (A_3/A_1) ≤ 4,0, vorzugsweise 2,0 < (A_3/A_1) ≤ 4,0, vorzugsweise (A_3/A_1) ≤ 2,56, insbesondere 2,0 < (A_3/A_1) ≤ 2,56;

wobei die erste Querschnittsfläche (A_1) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_1 = \pi/4 \cdot (D_1^2 - d_1^2),$$

wobei die dritte Querschnittsfläche (A_3) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_3 = \pi/4 \cdot (D_3^2 - d_3^2),$$

wobei (D_1) der Außendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) vor dem Umformen ist;
wobei (d_1) der Innendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) vor dem Umformen ist;
wobei (D_3) der Außendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) nach dem Umformen ist;
wobei (d_3) der Innendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) nach dem Umformen ist;
wobei das Werkstück (WS) ferner folgende Bedingung erfüllt: $d_3 < d_1$; und
wobei das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) keine Radialfalte an dessen innerer Umfangsfläche aufweist.

16. Einteiliges, umgeformtes Werkstück (WS) aus Metall, vorzugsweise hergestellt mittels der Vorrichtung (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder mittels des Systems (S) nach Anspruch 6 oder 7, und/oder mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, aus einem einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstück (WS) aus Metall; vorzugsweise Werkstück (WS) nach Anspruch 15;

wobei das Werkstück (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb eines Erwärmungsbereichs (E) eine Querschnittsfläche (A_0) und im Erwärmungsbereich (E) eine dritte Querschnittsfläche (A_3) aufweist, wobei das Verhältnis (A_3/A_0) der dritten Querschnittsfläche (A_3) zur Querschnittsfläche (A_0) folgende Bedingung erfüllt: $(A_3/A_0) \leq 4,0$, vorzugsweise $2,0 < (A_3/A_0) \leq 4,0$, vorzugsweise $(A_3/A_0) \leq 2,56$, insbesondere $2,0 < (A_3/A_0) \leq 2,56$; wobei die Querschnittsfläche (A_0) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_0 = \pi/4 \cdot (D_0^2 - d_0^2),$$

wobei die dritte Querschnittsfläche (A_3) nach folgender Formel berechnet wird:

$$A_3 = \pi/4 \cdot (D_3^2 - d_3^2),$$

wobei (D_0) der Außendurchmesser des Werkstücks (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) ist;
wobei (d_0) der Innendurchmesser des Werkstücks (WS) in einem rohrförmigen Abschnitt außerhalb des Erwärmungsbereichs (E) vor dem Umformen ist;
wobei (D_3) der Außendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) ist;
wobei (d_3) der Innendurchmesser des Werkstücks (WS) im Erwärmungsbereich (E) ist;
wobei das Werkstück (WS) ferner folgende Bedingung erfüllt: $d_3 < d_0$; und
wobei das Werkstück (WS) im Erwärmungsbereich (E) keine Radialfalte an dessen innerer Umfangsfläche aufweist.

17. Werkstück (WS) nach Anspruch 14 oder 15, wobei das Werkstück (WS) innerhalb des Erwärmungsbereichs (E) an seiner äußeren Umfangsfläche eine Auskrägung (AU) aufweist;

wobei die Länge (LA) der Auskrägung (AU) an der Stelle ihrer größten Ausdehnung parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS) 3 bis 50 mm, vorzugsweise 4 bis 12 mm, gemessen parallel zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), ist; und/oder
wobei die Tiefe (TA) der Auskrägung (AU) an der Stelle ihrer größten Ausdehnung 2 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, gemessen senkrecht zur Mittelachse (MWS) des Werkstücks (WS), ist.

18. Verwendung der Vorrichtung (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder des Systems (S) nach Anspruch 6 oder 7 zum Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks (WS) aus Metall, vorzugs-

EP 4 417 335 A1

weise zur Vermeidung einer Faltenbildung beim Umformen eines einteiligen, wenigstens abschnittsweise rohrförmigen Werkstücks (WS) aus Metall.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

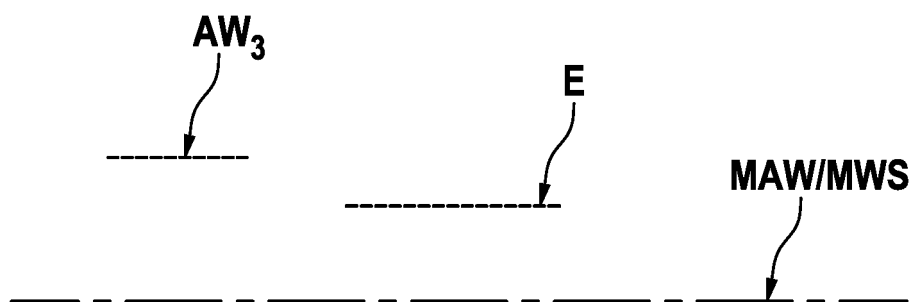


Fig. 1a

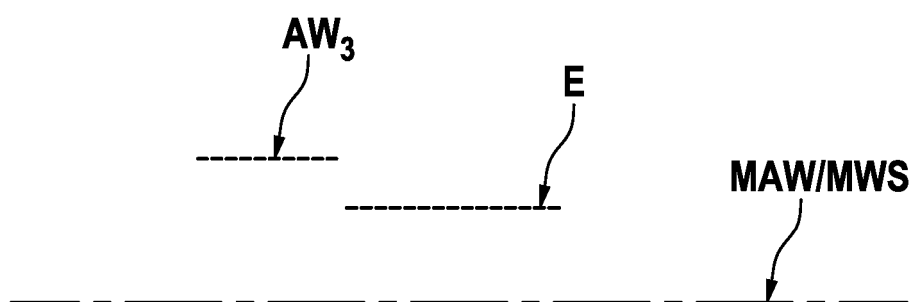


Fig. 1b

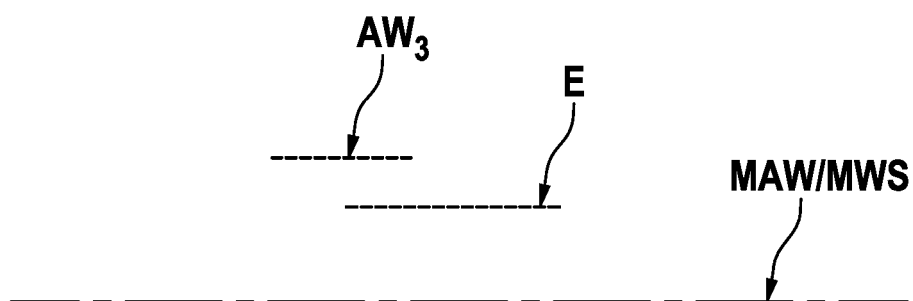


Fig. 1c

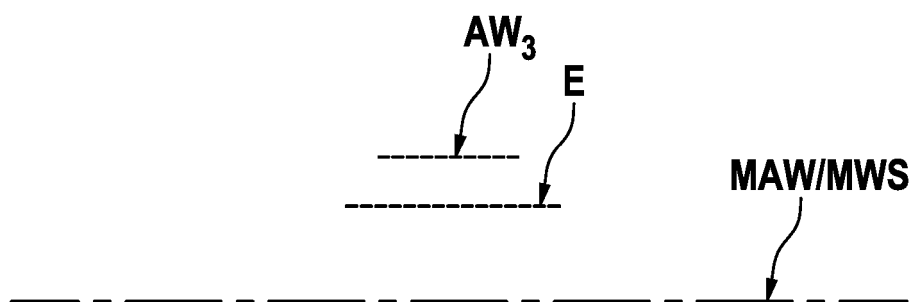


Fig. 1d

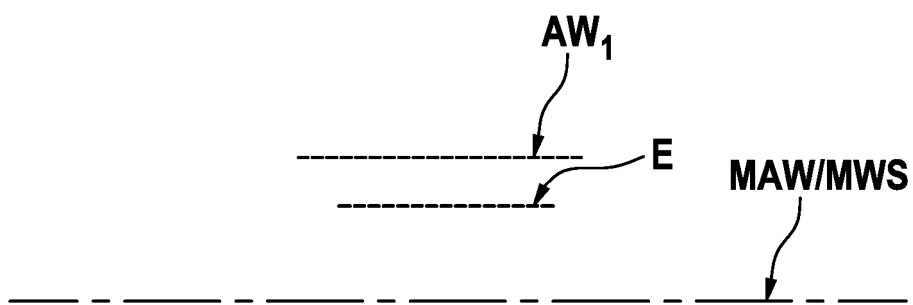


Fig. 1e

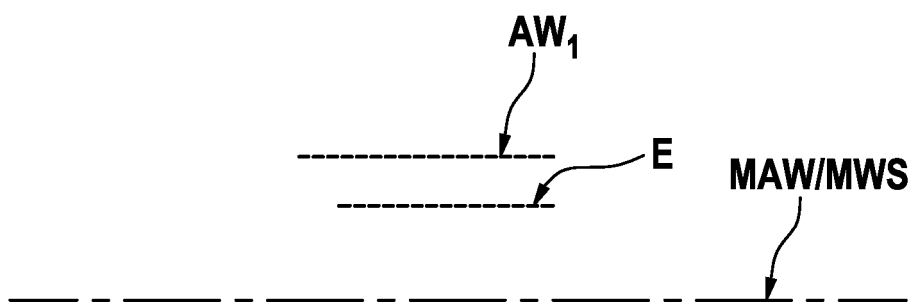


Fig. 1f

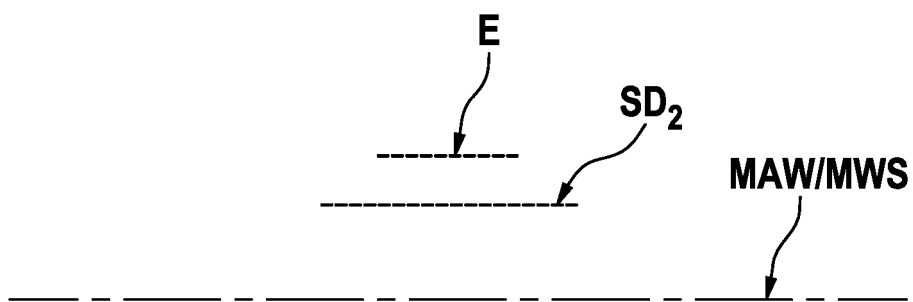


Fig. 1g

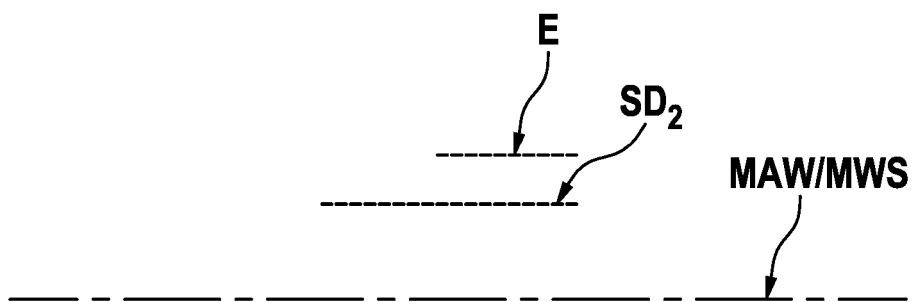
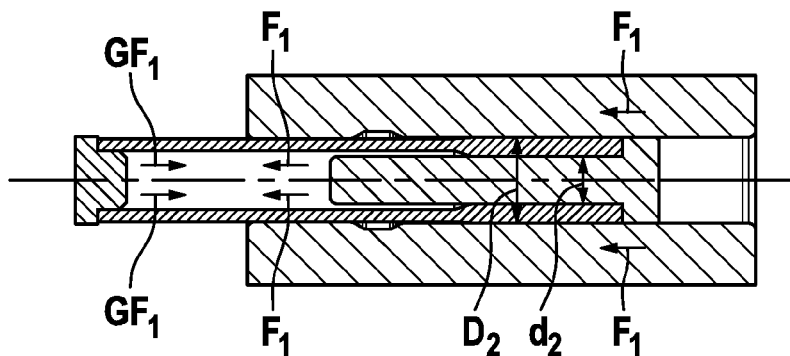
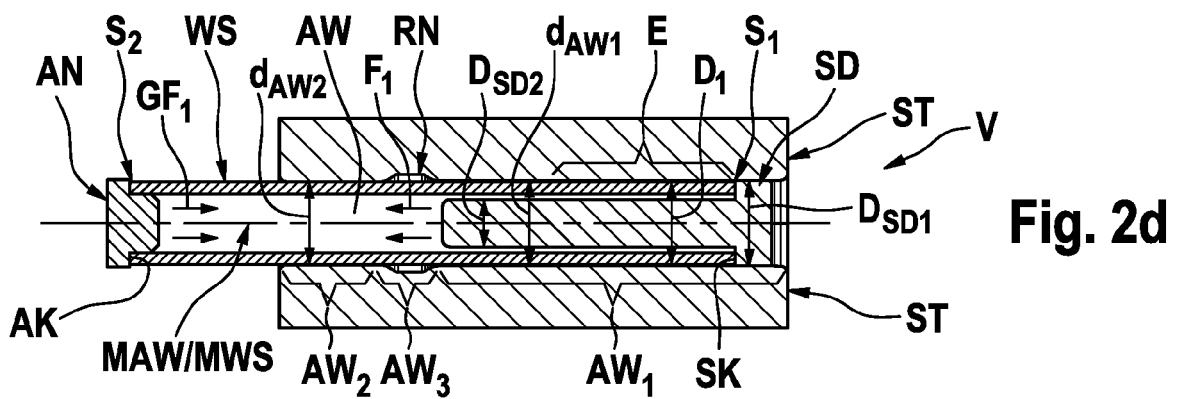
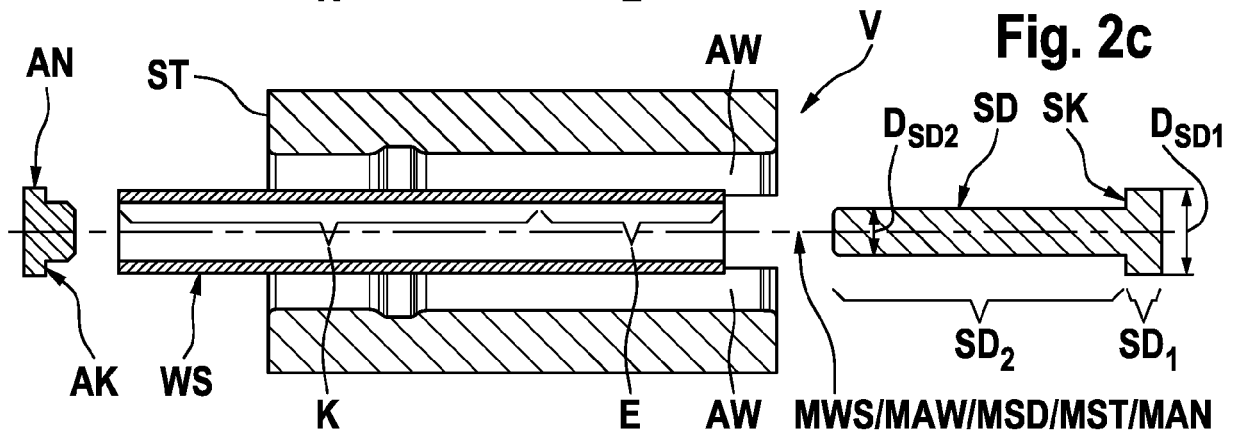
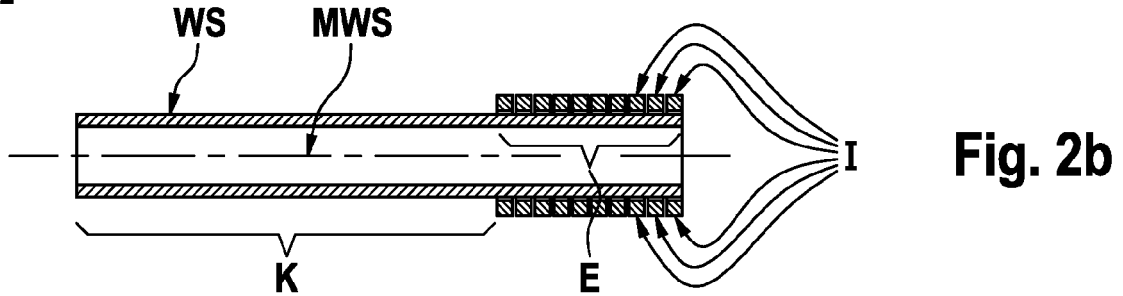
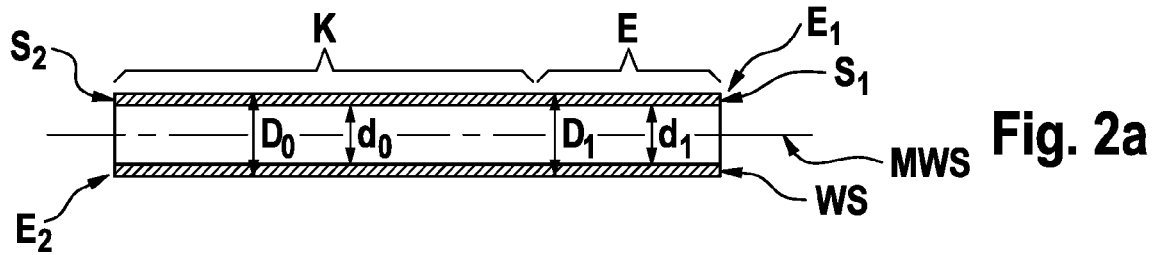
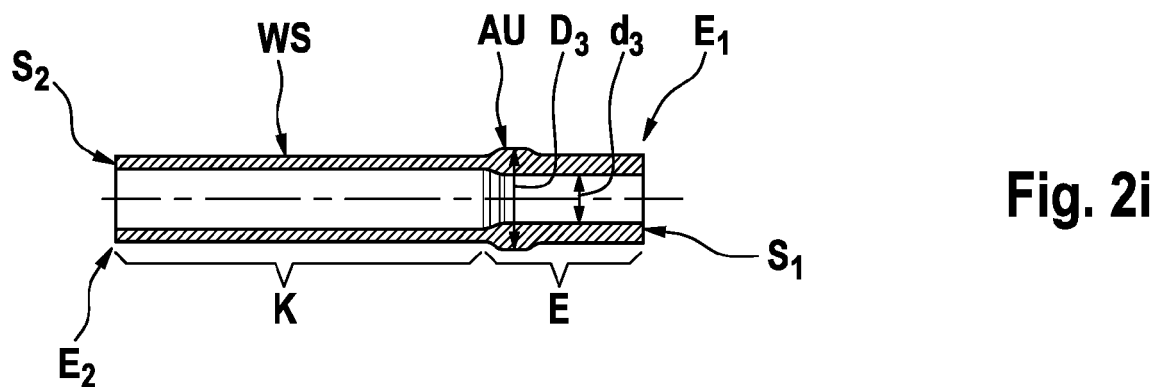
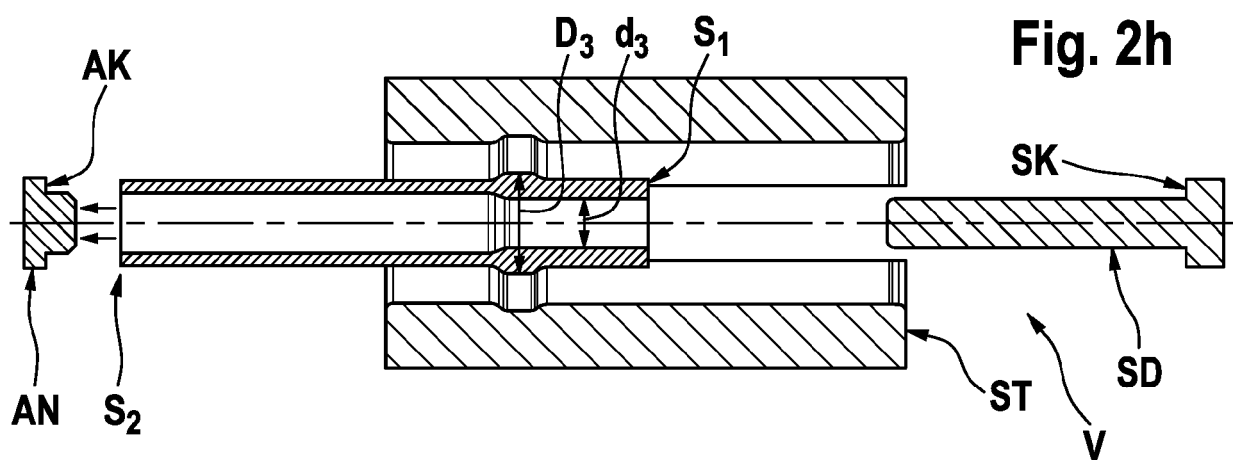
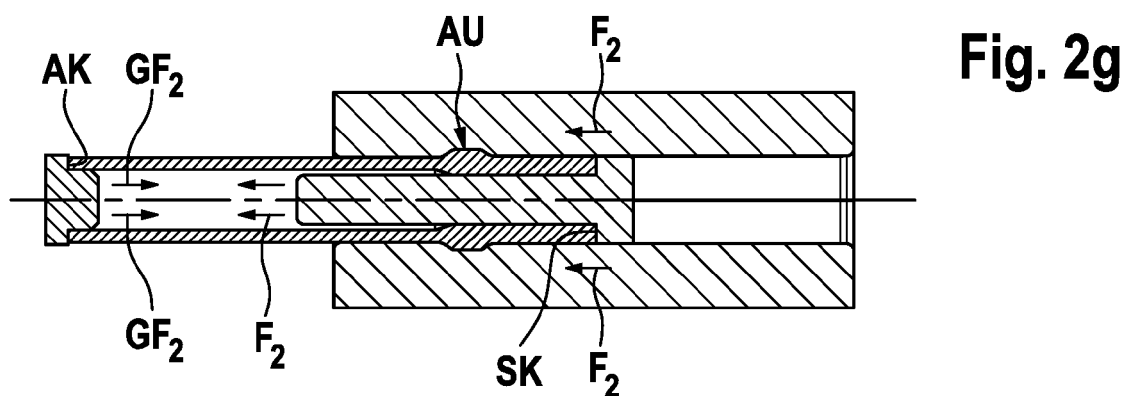
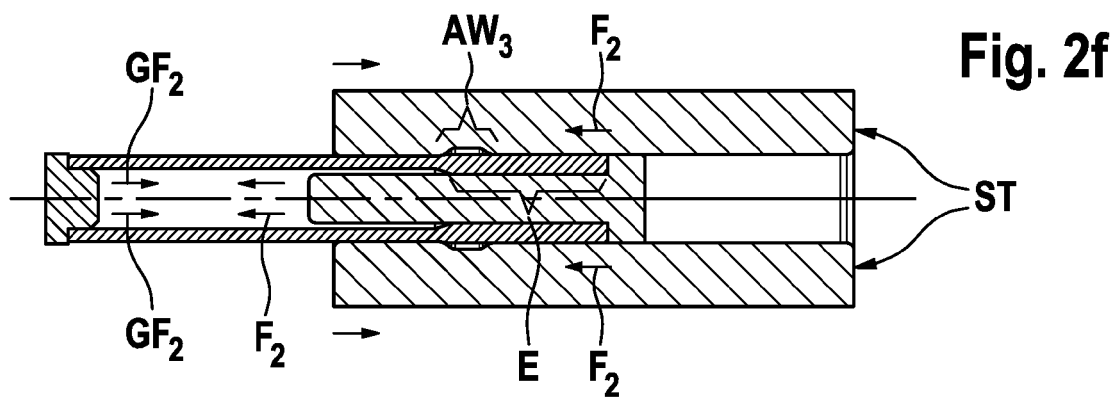
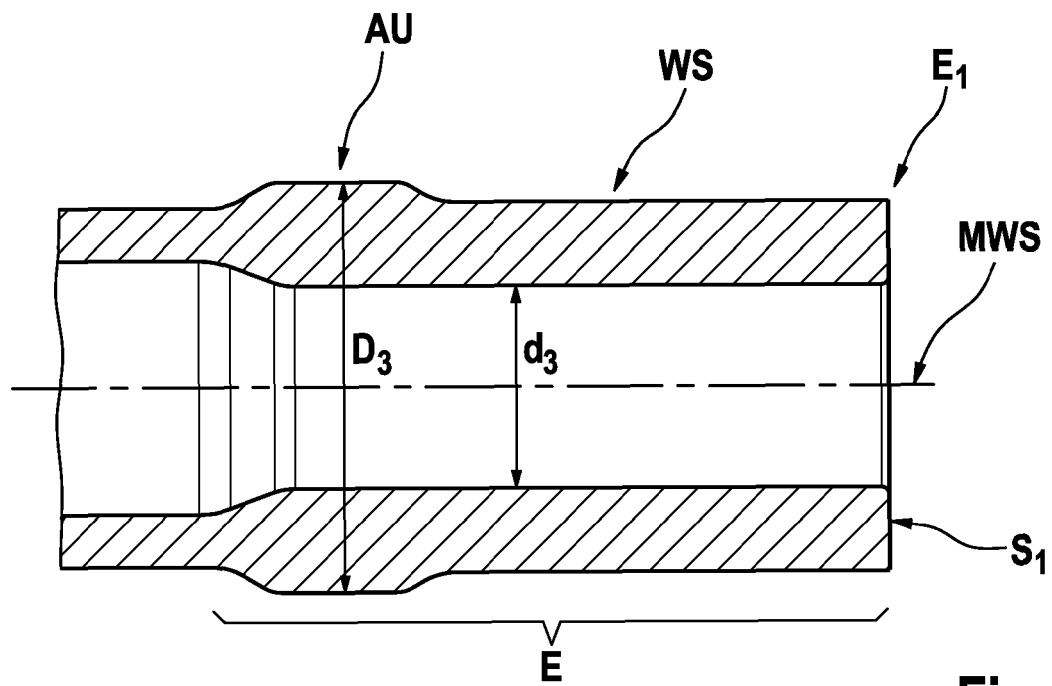
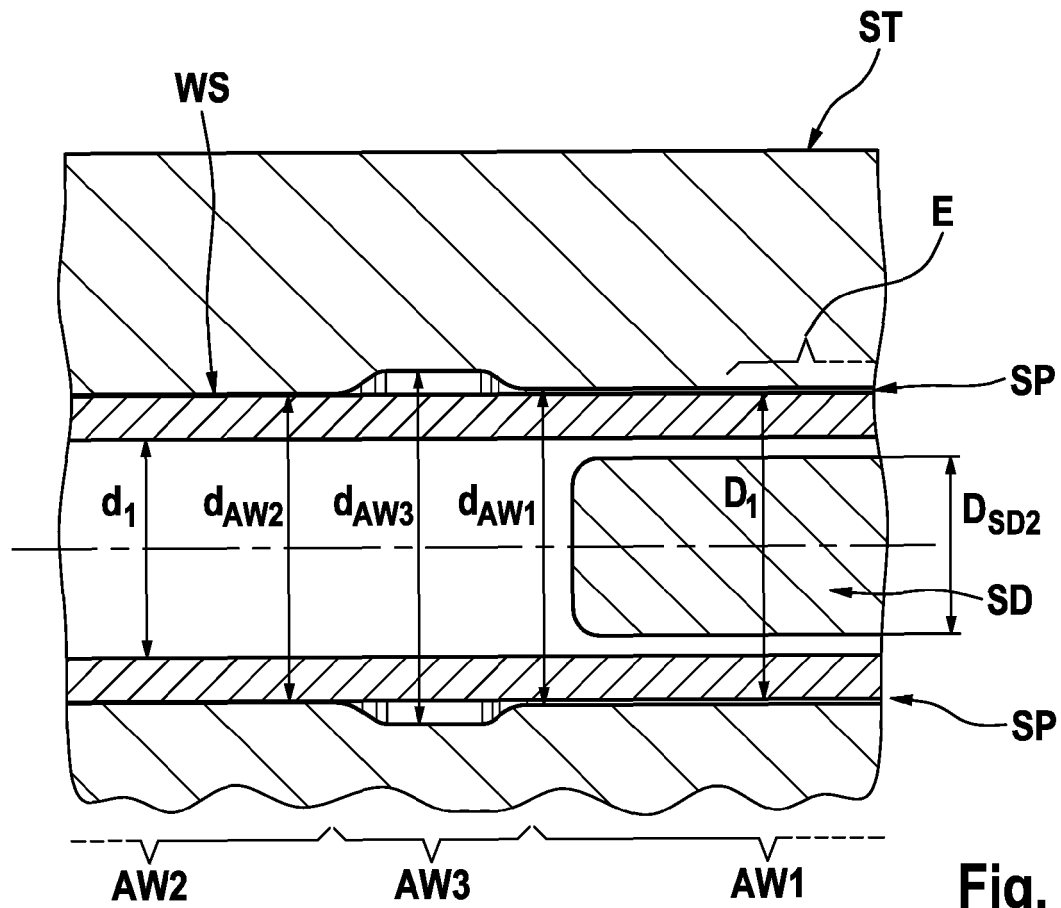


Fig. 1h







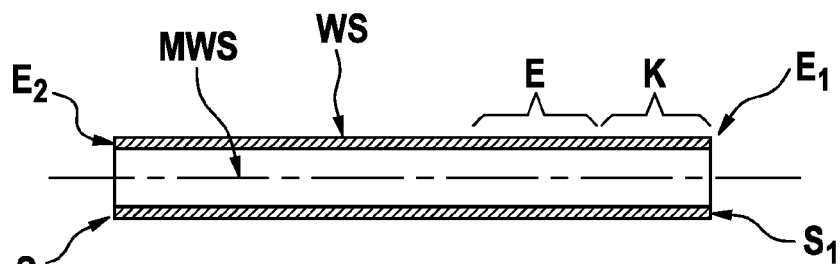


Fig. 3a

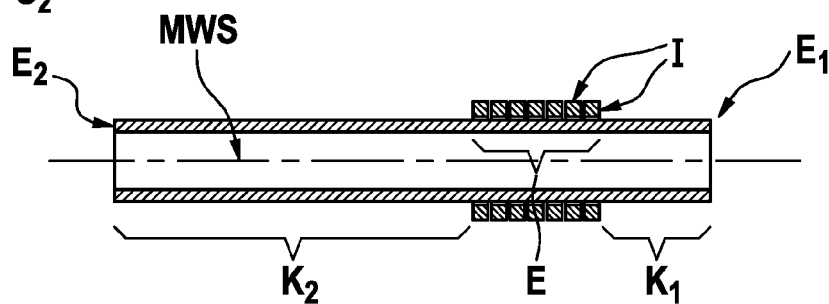


Fig. 3b

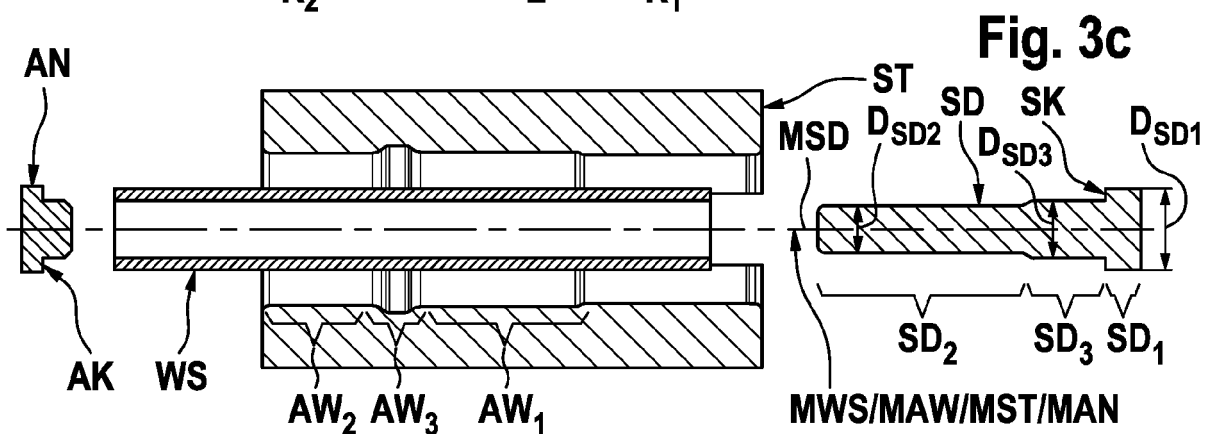


Fig. 3c

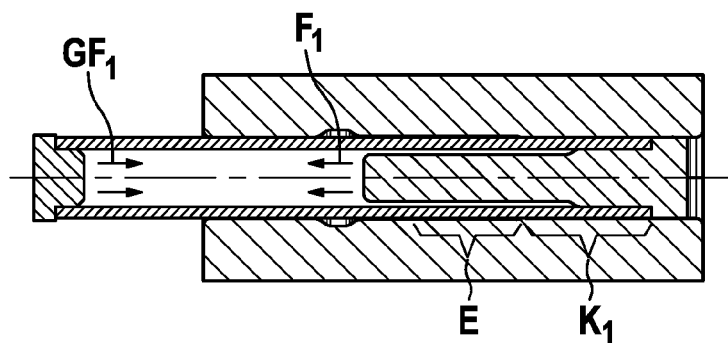


Fig. 3d

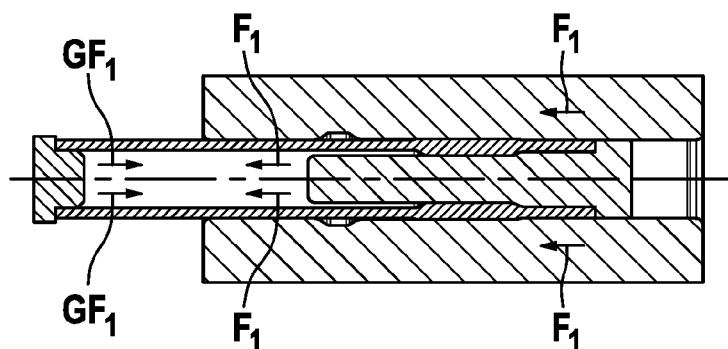


Fig. 3e

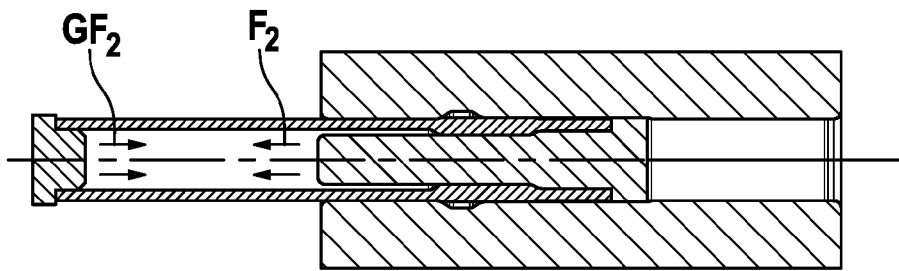


Fig. 3f

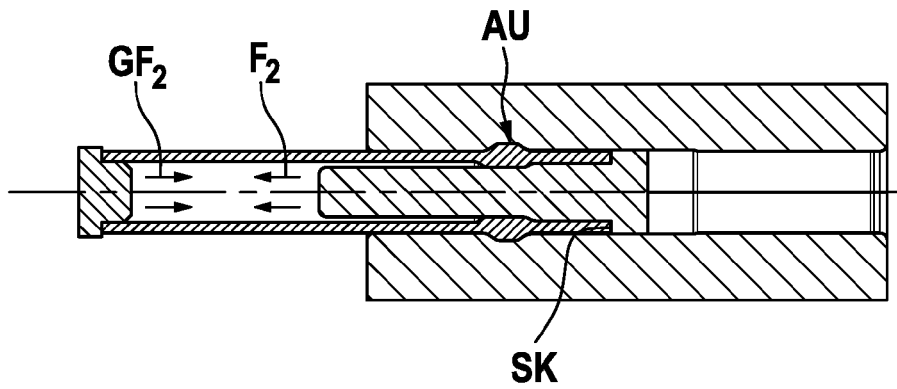


Fig. 3g

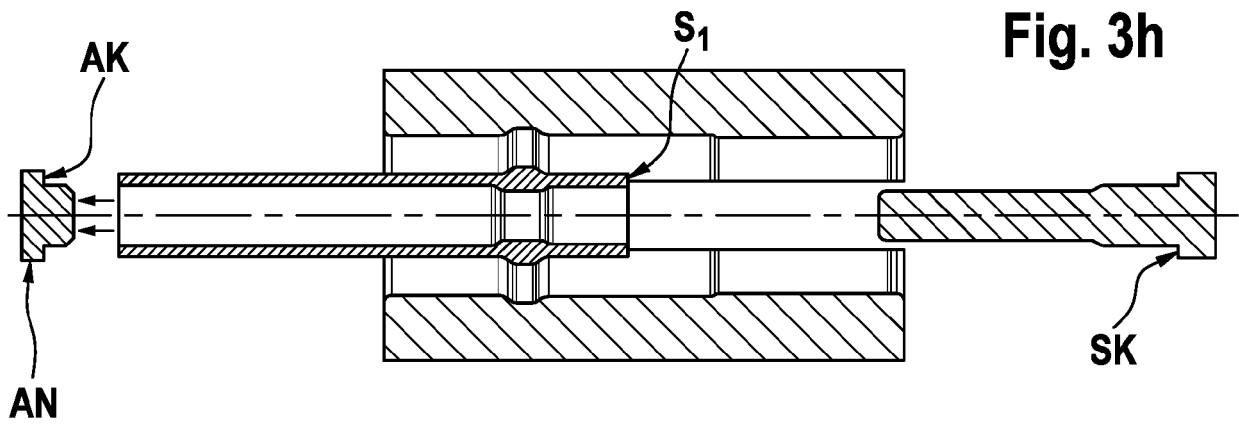


Fig. 3h

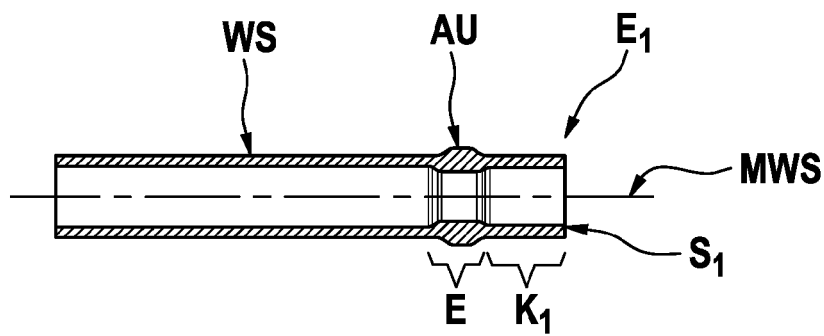


Fig. 3i

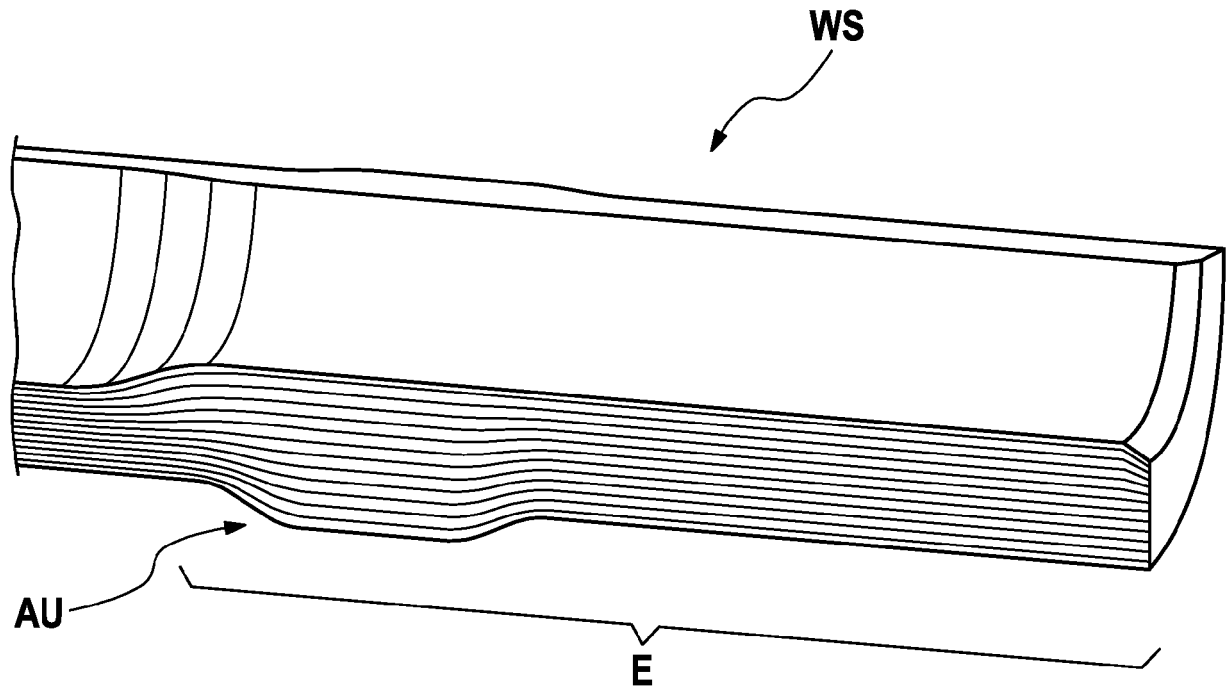


Fig. 4a

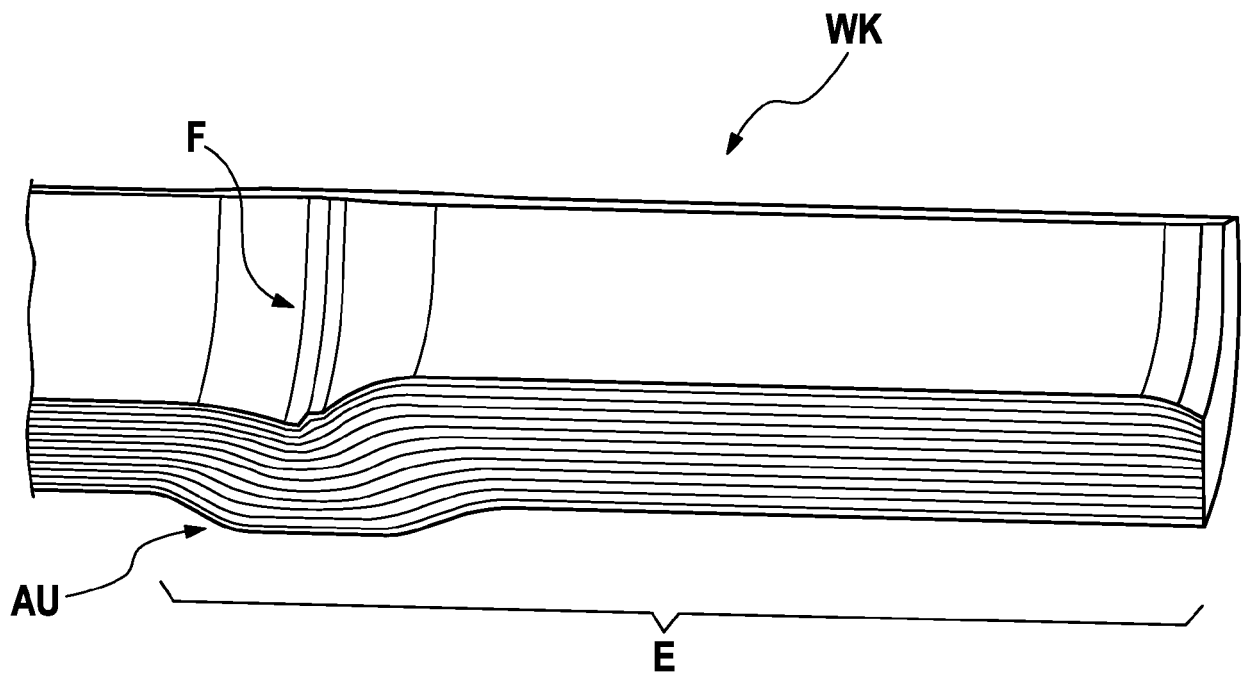


Fig. 4b

Fig. 5a

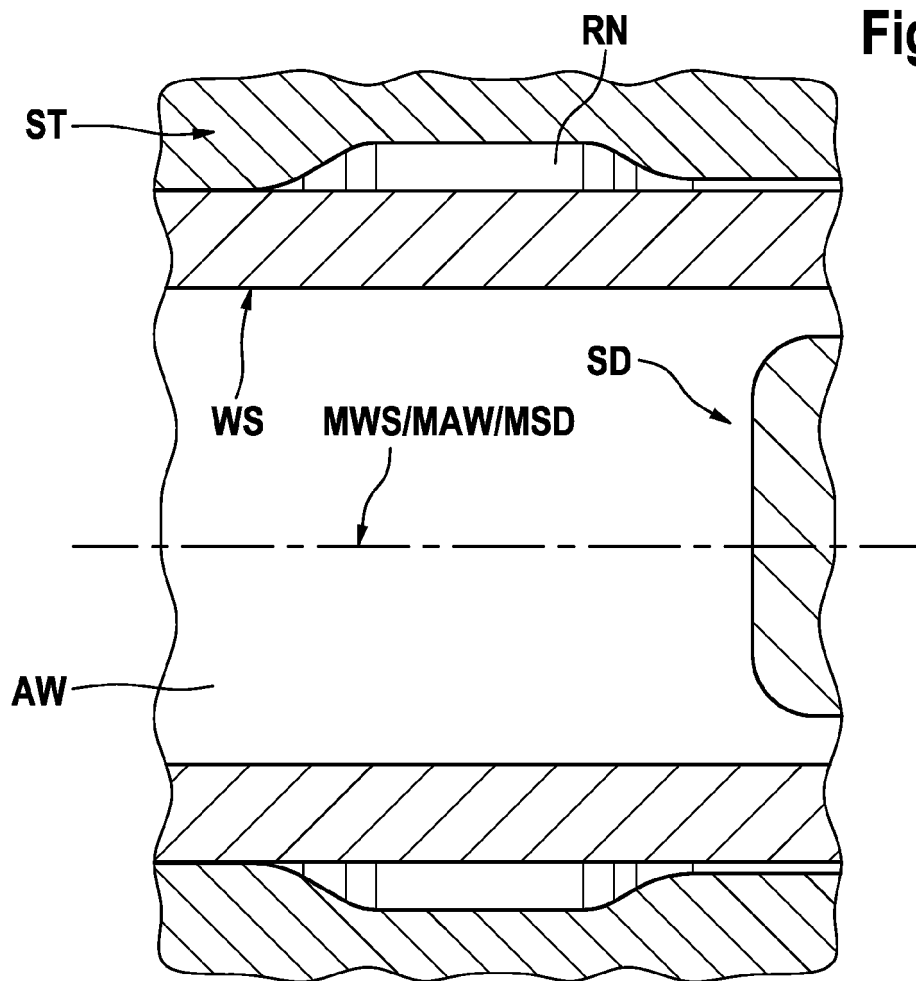


Fig. 5b

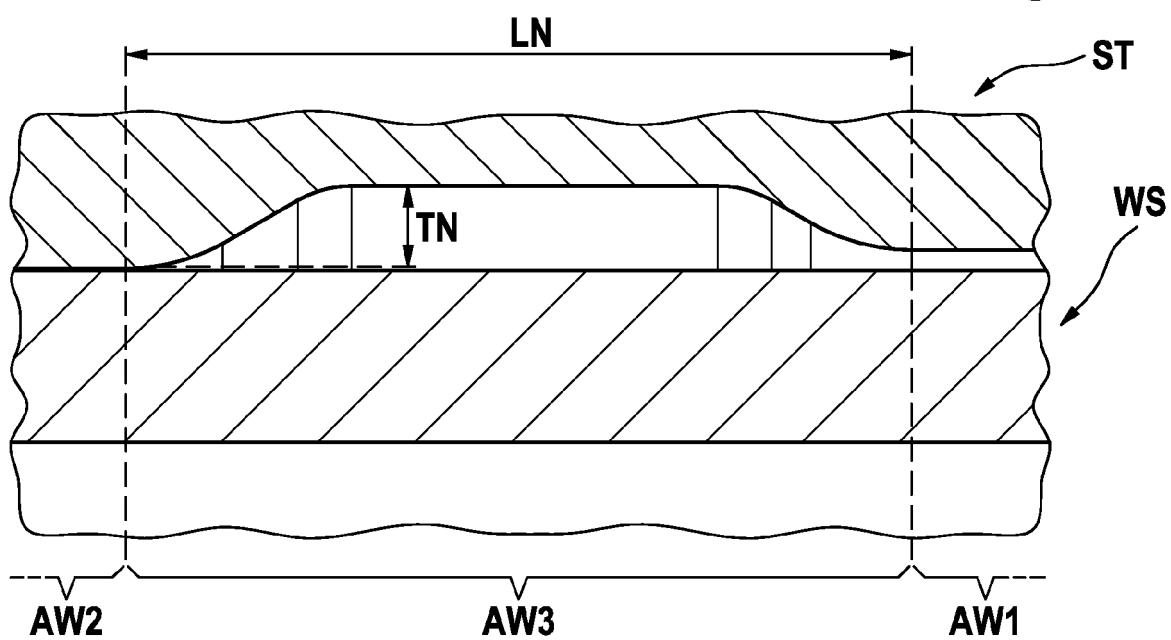
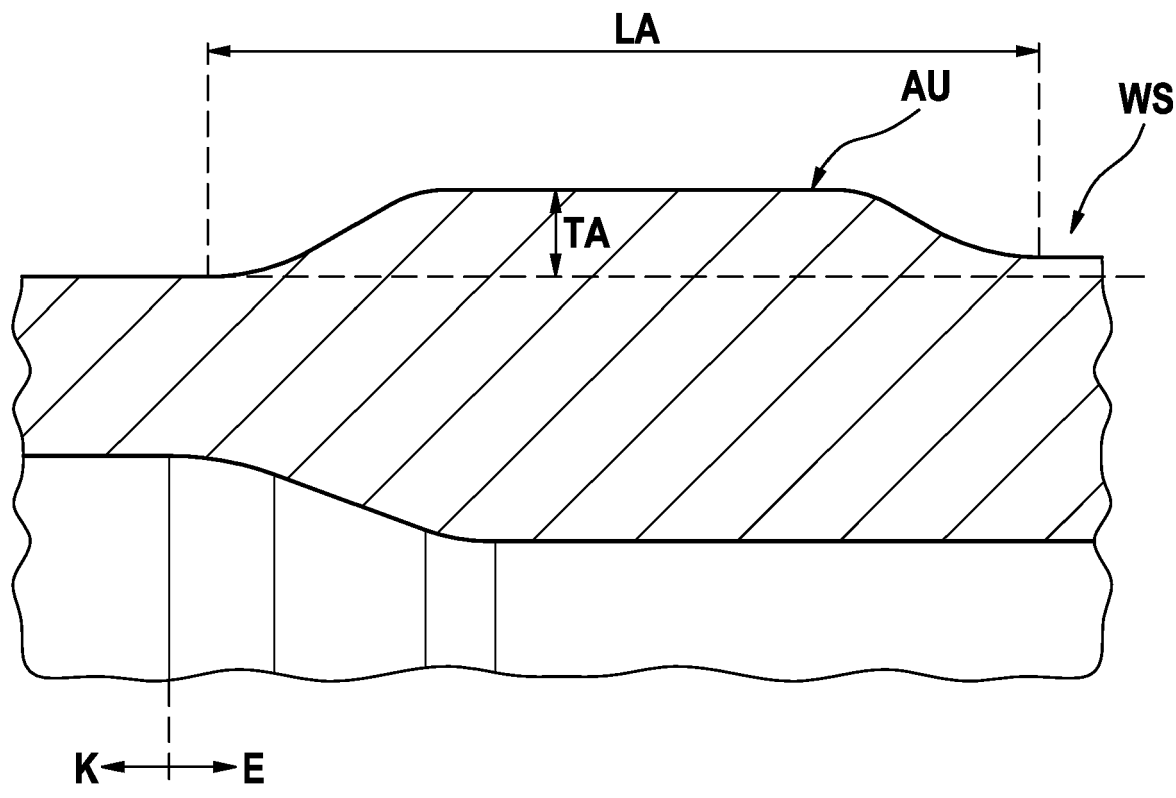


Fig. 5c





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 15 5025

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2013 104038 A1 (GFU GES FÜR UMFORMUNG UND MASCHB GMBH [DE]) 23. Oktober 2014 (2014-10-23)	1-7, 15-18	INV. B21C37/16 B21J1/06
A	* Absatz [0025] - Absatz [0028]; Abbildungen 1A-1D *	8-14	B21J5/02 B21J5/08 B21J9/08 B21K21/16
X	WO 2022/201078 A1 (TATA STEEL LTD [IN]) 29. September 2022 (2022-09-29)	1-7, 15-18	
A	* Seite 7, Absatz 2 - Seite 9, Absatz 3; Abbildungen 1-4 *	8-14	
X	US 2 313 116 A (BABCOCK DONALD E) 9. März 1943 (1943-03-09)	15-17	
A	* Seite 1, Spalte 1, Zeile 21 - Seite 2, Spalte 1, Zeile 4; Abbildung 1 *	1-14,18	
X	US 2021/394249 A1 (MURADOV ANDREI [US]) 23. Dezember 2021 (2021-12-23)	15-17	
A	* Absatz [0030] - Absatz [0040]; Abbildungen 3,4 *	1-14,18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21C B21J B21K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 4. Juli 2024	Prüfer Ritter, Florian
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 Patentdokument, 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			

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 24 15 5025

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

04-07-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102013104038 A1	23-10-2014	KEINE	
15	WO 2022201078 A1	29-09-2022	BR 112023010459 A2 CO 2023009280 A2 EP 4237168 A1 JP 2024512174 A WO 2022201078 A1	03-10-2023 31-07-2023 06-09-2023 19-03-2024 29-09-2022
20	US 2313116 A	09-03-1943	KEINE	
	US 2021394249 A1	23-12-2021	US 2021394249 A1 US 2022168794 A1	23-12-2021 02-06-2022
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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