



(10) **DE 10 2010 020 373 A1** 2011.11.17

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 020 373.4**

(22) Anmeldetag: **12.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **17.11.2011**

(51) Int Cl.: **B21D 31/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

voestalpine Stahl GmbH, Linz, AT

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Lambsdorff & Lange, 81673,
München, DE**

(72) Erfinder:

**Samek, Ludovic, Dr., Linz, AT; Peruzzi, Martin, Dr.,
Linz, AT; Arenholz, Enno, Dipl.-Ing. Dr., Plesching,
AT**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

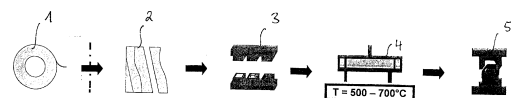
DE 101 49 221 C1
DE 10 2008 020757 A1
DE 101 20 063 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Eisen-Mangan-Stahlblech**

(57) Zusammenfassung: In einem Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Eisen-Mangan-Stahlblech (1) wird ein Blechwerkstück (2) in einem Formwerkzeug (3) kalt umgeformt. Das umgeformte Blechwerkstück wird auf eine Temperatur zwischen 500°C und 700°C erwärmt (4) und in einem Kalibrierwerkzeug (5) kalibriert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Eisen-Mangan-Stahlblech.

[0002] Eisen-Mangan-Stähle sind Leichtbaustähle, die eine hohe Festigkeit und gleichzeitig eine hohe Dehnbarkeit aufweisen können. Dies macht Eisen-Mangan-Stähle zu einem Werkstoff mit großem Potential im Fahrzeugbau. Eine hohe Werkstofffestigkeit ermöglicht eine Reduzierung des Karosseriegewichts, wodurch der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden kann. Eine hohe Dehnungsfähigkeit und Stabilität der Stähle ist sowohl für die Herstellung der Karosserieteile durch Tiefziehprozesse als auch für deren Crash-Verhalten von Bedeutung. Beispielsweise müssen Struktur und/oder Sicherheitsteile wie z. B. Türaufprallträger, A- und B-Säulen, Stoßfänger oder Längs- und Querträger komplexe Bauteilgeometrien realisieren und gleichzeitig die Gewichtsziele und Sicherheitsanforderungen erreichen können.

[0003] Es ist bereits bekannt, Karosseriebauteile aus Eisen-Mangan-Stahlblech durch Kaltumformung herzustellen. Die Kaltumformung führt jedoch durch Kaltverfestigung in umgeformten Bereichen zu einer Verminderung der Verformbarkeit und somit zu einer Reduzierung des Energieabsorptionspotentials im Belastungsfall (Crash). Solche durch die Kaltverfestigung bewirkten inhomogenen mechanischen Bauteileigenschaften können dazu führen, dass das Bauteil die Sicherheitsanforderungen nicht erreicht. Weitere Nachteile der Kaltumformtechnik bestehen darin, dass sie das Risiko der verzögerten Rissbildung durch Wasserstoffversprödung erhöht, das umgeformte Teil ein deutliches Rückfederungsverhalten (sogenannter „spring back“-Effekt) zeigt und kalt umgeformte Bauteile eine unzureichende numerische Simulierbarkeit des Bauteilverhaltens im Belastungsfall aufweisen.

[0004] Die Warmumformung bietet eine bekannte Alternative zum Kaltumformverfahren. Übliche Warmumformprozesse werden bei hohen Temperaturen von etwa 900°C oder darüber ausgeführt. Das Warmumformen vermindert sowohl die Rückfederung des umgeformten Bauteils als auch die Kaltverfestigung in umgeformten Bereichen. Somit lassen sich mit der Warmumformtechnik komplexe Tiefziehteile ohne nennenswerte Rückfederung in einem Zug herstellen. Nachteilig bei der Warmumformung sind jedoch die hohen Prozesstemperaturen und die durch das Warmumformen bewirkte, werkstoffabhängige Verminderung der Festigkeit des Bauteils nach dem Abkühlprozess.

[0005] Um die Festigkeitsverminderung zu vermeiden, wird die Warmumformung häufig mit der Härtetechnik kombiniert. Diese beruht auf der bekann-

ten Möglichkeit der Festigungssteigerung von Stahlwerkstoffen durch Martensit-Bildung. Beim Härten wird durch eine Erwärmung des Bauteils auf die sogenannte Härtetemperatur oberhalb Ac3 ein austenitisches Gefüge erzeugt, das anschließend durch schnelles Abkühlen vollständig in Martensit umgewandelt wird. Bedingung für die vollständige Martensit-Umwandlung ist dabei, dass eine kritische Abkühlgeschwindigkeit überschritten wird. Hierfür bedarf es gekühlter Presswerkzeuge, die durch Kontakt der heißen Werkstückoberfläche mit der kalten Werkzeugoberfläche eine ausreichend schnelle Abkühlung des Werkstückes ermöglichen.

[0006] Eine der Erfindung zugrunde liegende Aufgabenstellung kann darin gesehen werden, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem kostengünstig die Herstellung umgeformter Bauteile aus Eisen-Mangan-Stahlblech mit guten mechanischen Eigenschaften ermöglicht wird. Insbesondere soll das Verfahren die Herstellung von umgeformten Blechwerkstücken mit komplexer Bauteilgeometrie und günstigen Materialeigenschaften auch in umgeformten Bauteilbereichen erlauben.

[0007] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabenstellung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Bauteils aus einem Eisen-Mangan-Stahlblech zur Verfügung gestellt, bei welchem ein Blechwerkstück in einem Formwerkzeug kalt umgeformt wird, das umgeformte Blechwerkstück auf eine Temperatur zwischen 500°C und 700°C erwärmt wird und das erwärmte Blechwerkstück in einem Kalibrierwerkzeug kalibriert wird. Durch das Kalibrieren des umgeformten Blechwerkstückes bei den angegebenen, erhöhten Temperaturen kann erreicht werden, dass eine bei der Kaltumformung eingetretene Kaltverfestigung in den umgeformten Bereichen wieder abgebaut wird. Insbesondere kann dadurch eine Homogenisierung der mechanischen Eigenschaften über das gesamte Bauteil erreicht werden. Weitere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind darin zu sehen, dass durch das Kalibrieren des erwärmten Bauteils sowohl das Risiko der verzögerten Rissbildung durch Wasserstoffversprödung als auch die Rückfederung des Bauteils nach der Entnahme aus dem Kalibrierwerkzeug wesentlich reduziert sind.

[0009] Es wird darauf hingewiesen, dass bei den genannten Temperaturen die Austenitisierungstemperatur Ac3 nicht überschritten wird, d. h. dass beim Erwärmen keine Umwandlung des Werkstückgefüges in ein vollständig austenitisches Gefüge auftritt.

[0010] Der Grad des Abbaus der Kaltverfestigung in den umgeformten Bauteilbereichen kann durch die Wahl der Temperatur gesteuert werden. Bei hohen Temperaturen kann die Festigkeit der umgeformten Bereiche sogar unter die Festigkeit in nicht oder weniger stark umgeformten Bereichen abgesenkt werden. Um einen zu starken Abbau der Kaltverfestigung zu vermeiden, kann eine Temperatur zwischen 600°C und 680°C vorteilhaft sein. Zum Erwärmen des umgeformten Blechwerkstückes auf die beim Kalibrieren benötigte erhöhte Temperatur kann das umgeformte Blechwerkstück in einem Ofen erwärmt und nach der Erwärmung in das Kalibrierwerkzeug eingelegt werden. Denkbar ist auch, dass die Erwärmung des Blechwerkstückes direkt im Kalibrierwerkzeug stattfindet. In beiden Fällen kann die Anfangstemperatur beim Kalibrieren ebenfalls in dem angegebenen Bereich zwischen 500°C und 700°C liegen. Beim Kalibrieren findet dann eine Abkühlung des umgeformten Blechwerkstückes in einem gehaltenen bzw. fixierten Zustand statt.

[0011] Die Verweildauer des Blechwerkstückes in dem Ofen kann so gewählt werden, dass eine homogene Durchwärmung des Blechwerkstückes gewährleistet wird, wobei zu berücksichtigen ist, dass mit zunehmender Dicke des Blechwerkstückes typischerweise eine Verlängerung der Zeitdauer für den Aufwärmvorgang zu veranschlagen ist.

[0012] Im Kalibrierwerkzeug wird eine rasche Abkühlung des Blechwerkstückes im gehaltenen Zustand vorgenommen. Da bei der Abkühlung keine wie beim sogenannten Presshärten erforderliche Gefügeumwandlung vom Austenit-Gefüge in das Martensit-Gefüge bewirkt werden muss, muss nicht die aus dem Presshärten bekannte kritische minimale Abkühlrate eingehalten werden, d. h. die Abkühlgeschwindigkeit in dem Kalibrierwerkzeug kann nach anderen Gesichtspunkten (beispielsweise Taktzeiten, Betriebskosten, Werkzeugkosten, etc.) festgelegt werden.

[0013] Für den Abbau der Kaltverfestigung in umgeformten Abschnitten des Blechwerkstückes ist die Erwärmungstemperatur des umgeformten Blechwerkstückes von Bedeutung. In einem Ausführungsbeispiel kann diese so eingestellt werden, dass die Kaltverfestigung in umgeformten Abschnitten des (umgeformten) Blechwerkstückes durch die Kalibrierung um mindestens 70%, insbesondere mindestens 80%, abgebaut wird.

[0014] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Erwärmungstemperatur des Blechwerkstückes so eingestellt werden, dass das kalibrierte Blechwerkstück über seine gesamte Geometrie eine maximale Schwankungsbreite der Zugfestigkeit von 20%, insbesondere 10%, aufweist. Mit anderen Worten ist eine weitgehende Homogenisierung der me-

chanischen Bauteileigenschaften in Bezug auf die Zugfestigkeit erreichbar.

[0015] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen in beispielhafter Weise näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

[0016] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Abfolge von Verfahrensschritten nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

[0017] [Fig. 2](#) ein Schaubild, in welchem die Härte eines umgeformten Bauteils gegenüber einer Distanz vom Umformort aufgetragen ist.

[0018] Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele für ein Herstellungsverfahren eines Bauteils aus Eisen-Mangan-Stahlblech beschrieben. Bei dem Bauteil kann es sich beispielsweise um ein Karosseriebauteil für den Fahrzeugbau handeln. Das Karosseriebauteil kann eine komplexe Bauteilgeometrie aufweisen. Es kann sich um ein Struktur- und/oder Sicherheitsteil handeln, das gegebenenfalls besondere Sicherheitsanforderungen im Belastungsfall (Crash) genügen muss. Beispielsweise kann es sich bei dem Bauteil um eine A- oder B-Säule, einen Seitenaufprallschutzträger in Türen, einen Schweller, ein Rahmenteil, ein Stoßstangenfänger, ein Querträger für Boden und Dach oder um einen vorderen oder hinteren Längsträger handeln.

[0019] Das Bauteil besteht aus einem Eisen-Mangan(FeMn)-Stahl. FeMn-Bauteile sind im Fahrzeugbau bekannt und können einen Mangangehalt von etwa 12 bis 35 Gew% aufweisen. Verwendbar sind beispielsweise TWIP-, TRIP/TWIP- und TRIPLEX-Stähle sowie Mischformen dieser Stähle.

[0020] TWIP-Stähle (TWining Induced Plasticity) sind Austenit-Stähle. Sie zeichnen sich durch einen hohen Mangangehalt (z. B. über 25%) und relativ hohe Legierungszusätze von Aluminium und Silizium aus. Bei plastischer Kaltverformung findet eine intensive Zwillingsbildung statt, die den Stahl verfestigt. TWIP-Stähle weisen eine hohe Bruchdehnung auf. Sie eignen sich deshalb besonders zur Herstellung von Struktur- oder Sicherheitsteilen in unfallrelevanten Bereichen der Karosserie.

[0021] TRIP/TWIP-Stähle sind Kombinationen aus TWIP- und TRIP-Stählen (TRansformation Induced Plasticity). TRIP-Stähle bestehen im Wesentlichen aus mehreren Phasen von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, nämlich Ferrit, Bainit und kohlenstoffreichem Rest-Austenit. Der TRIP-Effekt basiert auf der Verformungs-induzierten Umwandlung des Rest-Austenits in die hochfeste martensitische Phase (α -Martensit). Bei TRIP/TWIP-Stählen tritt ein doppelter TRIP-Effekt auf, da das austenitische Gefüge zunächst in

das hexagonale und dann in das kubisch raumzentrierte Martensit gewandelt wird. Aufgrund der zwei martensitischen Umwandlungen weisen TRIP/TWIP-Stähle eine doppelte Dehnungsreserve auf.

[0022] TRIPLEX-Stähle bestehen aus einem mehrphasigen Gefüge aus α -Ferrit und γ -Austenit-Mischkristallen mit einer martensitischen s-Phase und/oder K-Phase. Sie weisen eine gute Umformbarkeit auf.

[0023] Ferner können Kombinationen der genannten Stähle bei Ausführungsbeispielen der Erfindung zum Einsatz kommen. Die beispielhafte Aufzählung der oben genannten Stähle ist nicht abschließend, andere FeMn-Stähle können für die Erfindung ebenfalls eingesetzt werden.

[0024] **Fig. 1** zeigt in schematischer Weise ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei auch optionale Verfahrensschritte dargestellt sind. Ausgangspunkt des Verfahrensablaufs ist ein Coil **1** aus Bandstahl, wie es beispielsweise in einem Stahlwerk hergestellt und an einen Kunden (z. B. Fahrzeughersteller oder Zulieferer) ausgeliefert wird. Bei dem FeMn-Bandstahl kann es sich beispielsweise um einen kaltgewalzten und geglähten Stahl handeln. Es ist jedoch auch möglich, einen warmgewalzten Stahl einzusetzen. Der Herstellungsprozess des FeMn-Bandstahls im Stahlwerk sollte so ausgestaltet sein, dass eine gute Kaltumformbarkeit des Stahls gewährleistet ist.

[0025] Der Bandstahl wird dann z. B. beim Fahrzeughersteller oder Zulieferer in FeMn-Platinen **2** geschnitten. Das Schneiden erfolgt in einer Schneidstation.

[0026] Eine oder mehrere Platinen **2** werden dann in ein Kaltumformwerkzeug **3** eingelegt und kalt umgeformt. Die Temperaturen im Kaltumformwerkzeug können im üblichen Bereich, z. B. bei ca. 70°C bis 80°C liegen. Öfen werden zur Realisierung dieser Temperaturen nicht verwendet. Die Verweildauer des Werkstücks in dem Kaltumformwerkzeug **3** ist typischerweise ohne wesentlichen Einfluss auf die Werkstückeigenschaften.

[0027] Bei der Kaltumformung werden in Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie lokal unterschiedliche Festigkeiten erzielt. Je größer der lokale Umformungsgrad ist, um so höher liegt der entsprechende Festigkeitswert. Dieser Effekt wird auch als Kaltverfestigung bezeichnet. Es können starke Kaltverfestigungen bis zu etwa 1800 MPa auftreten. Die Zugfestigkeit des Ausgangsmaterials (Platine **2**) kann z. B. etwa bei $R_m \approx 1100$ MPa liegen, die Dehngrenze z. B. $R_{p0.2} \approx 600$ MPa betragen und die Bruchdehnung A des Ausgangsmaterials kann z. B. 40% oder mehr betragen ($A \geq 40\%$). Beim Kaltumformen kann der Rückfederung Rechnung getragen werden und das

Werkstück über sein endgültiges Geometriemaß hinaus umgeformt werden. Dies ist aufgrund der nachfolgenden Prozessschritte jedoch nicht zwingend erforderlich. Das Kaltumformwerkzeug **3** kann in Form einer Tiefziehpresse realisiert sein.

[0028] Ferner ist es möglich, dass in dem Kaltumformwerkzeug **3** gleichzeitig ein Beschnitt des Werkstückes vorgenommen wird. Bei diesem Beschnitt kann es sich um den Endbeschnitt des Bauteils handeln. Ferner können gegebenenfalls erforderliche Ausstanzungen bzw. die Erzeugung eines Lochbildes im Kaltumformwerkzeug **3** vorgenommen werden. D. h., nach dem Kaltumformschritt kann bereits ein Bauteil mit vollständig fertiggestellter Bauteilform in Bezug auf materialentfernende Prozesse vorliegen.

[0029] Es ist auch möglich, dass materialentfernende Prozesse (Beschnitt, Lochbilderzeugung etc.) in einer Schneidstraße (nicht dargestellt) vorgenommen werden, die außerhalb und hinter dem Kaltumformwerkzeug **3** (welches sich in der sogenannten Pressenstraße befindet) angeordnet ist. Auch in diesem Fall kann nach dem Beschnitt bzw. der Lochbilderzeugung in Bezug auf materialentfernende Prozesse bereits das Endbauteil vorliegen.

[0030] Das kalt umgeformte und gegebenenfalls beschnittene Werkstück wird anschließend einem Ofen **4** zugeführt und dort auf eine Temperatur zwischen 500°C und 700°C erwärmt. Die Erwärmung sollte solange durchgeführt werden, dass das Bauteil homogen auf eine einheitliche Temperatur ($T = 500^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C}$) gebracht wird. Mit Erreichen der einheitlichen Temperatur kann es für eine gewisse Zeit auf dieser Temperatur gehalten werden. Beispielsweise kann die Verweildauer im Ofen 10 min betragen, wobei 5 min für das Erreichen der homogenen Temperaturverteilung und die weiteren 5 min für das Halten des Bauteils bei dieser homogenen Temperatur verwendet werden. Da mit der Temperaturerhöhung jedoch keine für die Bauteileigenschaften ausschlaggebende Gefügeumwandlung verbunden ist, sollte der Erwärmungsschritt auch ohne Haltezeit durchführbar sein. Es ist möglich, dass die Ofentemperatur deutlich höher als die gewünschte Zieltemperatur $T = 500^\circ\text{C} - 700^\circ\text{C}$ des Werkstückes liegt und die Werkstücktemperatur über die Verweildauer im Ofen **4** gesteuert wird.

[0031] Als Ofen **4** kann ein Strahlungsofen eingesetzt werden oder es können Öfen vorgesehen sein, die dem Werkstück auf andere Weise Energie zuführen. Beispielsweise können eine konvektive Erwärmung, eine induktive Erwärmung oder eine Infrarot-Erwärmung sowie Kombinationen der genannten Mechanismen verwendet werden.

[0032] Das auf die Zieltemperatur zwischen 500°C und 700°C erwärmte, umgeformte Werkstück wird dann aus dem Ofen **4** entnommen, in ein Kalibrierwerkzeug **5** eingelegt und dort in der gewünschten Form fixiert und abgekühlt. Die Temperatur des Werkstücks beim Beginn des Kalibriervorgangs kann auch niedriger sein als die Temperatur des Werkstücks bei der Entnahme aus dem Ofen, sie kann insbesondere zwischen 400°C und 700°C liegen. Bei dem Kalibrierwerkzeug **5** kann es sich beispielsweise um eine Kalibrierpresse handeln. Das Kalibrieren gewährleistet die Maßhaltigkeit des Werkstückes. Die Oberflächengeometrie der Pressflächen des Werkzeugs entspricht der Endform der Werkstücks oder ist sehr endformnah, da durch die Kalibrierung in dem Kalibrierwerkzeug die Rückfederung deutlich reduziert wird. Durch das Halten des Werkstücks im Kalibrierwerkzeug in der gewünschten Form wird somit dem Werkstück die Endform verliehen.

[0033] Die Abkühlung des Werkstücks erfolgt in dem Kalibrierwerkzeug **5** bei fixiertem Werkstück, d. h. bei Anlage der Werkstückoberflächen an den Werkzeugoberflächen. Die Wärmeabfuhr erfolgt über das Werkzeug. Die Abkühlgeschwindigkeit kann z. B. ungefähr 30°C/s betragen, dürfte jedoch unkritisch sein, da anders als beim Presshärten keine kritische Abkühlgeschwindigkeit überschritten werden muss. Beispielsweise kann die Abkühlgeschwindigkeit kleiner als 50°C/s sein, was ohne größeren werkzeugtechnischen Aufwand erreichbar ist und in vielen Fällen ausreichend kurze Taktzeiten ermöglicht. Höhere Abkühlraten, beispielsweise im Bereich von 50°C/s bis 150°C/s, sind ebenfalls möglich. Das Kalibrierwerkzeug **5** kann eine Kühleinrichtung (z. B. Wasserkühlung) aufweisen. Durch die Erwärmung und das nachfolgende „gehaltene“ Abkühlen des Werkstücks in fixierter Werkstückgeometrie wird die in den Bereichen starker Dehnung erzielte Kaltverfestigung abgebaut, d. h. verringert, egalisiert oder gegebenenfalls sogar überkompensiert, wie dies noch später im Zusammenhang mit [Fig. 2](#) erläutert wird.

[0034] Die Temperatur des erwärmten Werkstücks zu Beginn der Kalibrierung kann ebenfalls den angegebenen Bereich von $T = 500^\circ\text{C}$ bis 700°C oder nur geringfügig darunter betragen. Dies kann dadurch gewährleistet werden, dass der Transportweg zwischen dem Ofen **4** und dem Kalibrierwerkzeug **5** kurz ist und/oder dass das erwärmte Werkstück auf dem Transportweg zwischen dem Ofen **4** und dem Kalibrierwerkzeug **5** z. B. durch Wärmestrahlung erwärmt bzw. warmgehalten wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Ofen **4** und das Kalibrierwerkzeug **5** in ein und derselben Pressenstation zu verwirklichen, d. h. ein Kalibrierwerkzeug **5** vorzusehen, welches mit einem Ofen gekoppelt ist.

[0035] Die anhand [Fig. 1](#) beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung können in vielfacher

Hinsicht modifiziert und weitergebildet werden. Beispielsweise können beschichtete FeMn-Stähle für das Verfahren eingesetzt werden. Das Blechwerkstück kann mit einer organischen und/oder anorganischen oder metallischen Beschichtung, insbesondere einer Legierung auf Basis von Zink oder Aluminium, beschichtet werden. Die Beschichtung kann vor dem Kaltumformen oder zu einem anderen Zeitpunkt, z. B. nach dem Kalibrieren, vorgenommen werden.

[0036] Ein kathodischer Korrosionsschutz wird beispielsweise durch eine Verzinkung bewirkt. Die Beschichtung kann elektrolytisch oder durch ein Schmelztauchverfahren vor dem Kaltumformschritt **3** (z. B. am schon beim Stahlhersteller am Coil **1**) oder auch nach dem Kaltumformschritt **3** und vor der Erwärmung im Ofen **4** vorgenommen werden. Durch die Wärmebehandlung vor oder während des Kalibrierens bildet sich bei einer Zn-Beschichtung eine Mischkristallschicht zwischen dem FeMn-Stahl und der Zn-Beschichtung aus, die für eine gute Haftung der Zn-Schicht auf dem Bauteil sorgt. Es ist auch möglich, die Beschichtung (z. B. Verzinkung) erst am fertigen Bauteil, d. h. nach dem Kalibrieren in dem Kalibrierwerkzeug **5** vorzunehmen.

[0037] [Fig. 2](#) bezieht sich auf weitere Ausführungsbeispiele des anhand [Fig. 1](#) beispielhaft erläuterten Verfahrens und illustriert den Abbau der Kaltverfestigung in Abhängigkeit von der beim Erwärmen erreichten Werkstücktemperatur. Dargestellt ist die Vickershärte H_v in Abhängigkeit von der Entfernung von dem Ort der Umformung. Verwendet wurde eine Platine **2**, die aus einem kaltgewalzten, geglähten FeMn-Bandstahl geschnitten wurde. Die Platine **2** wies eine Zugfestigkeit $R_m \approx 1100$ MPa auf, die der Zugfestigkeit des Bandstahls entsprach. Die Bruchdehnung betrug $A \approx 60\%$. Aus mehreren Platinen **2** wurden mittels eines Kaltumformwerkzeugs **3** mehrere identische Näpfchen tiefgezogen, deren Durchmesser $D = 50$ mm betrug. Die Näpfchen wurden dann in einem Ofen **4** auf die unterschiedlichen Temperaturen $T = 500^\circ\text{C}$, 600°C , 650°C und 700°C erwärmt. Die Verweildauer im Ofen **4** betrug jeweils 10 min, sodass eine vollständige und homogene Durchwärmung der Näpfchen gewährleistet war. Unmittelbar anschließend und mit im wesentlichen derselben Temperatur T wurden die heißen Näpfchen in einem Kalibrierwerkzeug **5** in der Endform fixiert und dort abgekühlt. Die Abkühlgeschwindigkeit betrug bei diesem Beispiel etwa 30°C/s.

[0038] Die Vickershärte H_v kann als Maß für die Zugfestigkeit R_m verwendet werden, wobei der Umrechnungsfaktor etwa 3,1 beträgt, d. h. eine Vickershärte $H_v = 350$ entspricht etwa einer Zugfestigkeit $R_m \approx 1100$ MPa des Ausgangsmaterials, siehe Bezugszeichen **6**. [Fig. 2](#) zeigt für das kaltgezogene, nicht erwärmte Näpfchen eine Kaltverfestigung im Bereich von $R_m = 1600$ MPa (entspricht $H_v = 520$), siehe Be-

zugszeichen 7, die im Bauteil zu stark inhomogenen mechanischen Eigenschaften führt. Außerdem wird das Risiko der verzögerten Rissbildung durch Wasserstoffversprödung erhöht, da dieses insbesondere dort auftritt, wo beim Kaltumformen ein hoher Kaltverfestigungsgradient beobachtet wird.

[0039] Die erfindungsgemäße Warmkalibrierung führt zur Verringerung der Kaltverfestigung in den Näpfchen. Bei einer Temperatur $T = 500^{\circ}\text{C}$ beträgt die Zugfestigkeit in der Nähe des Umformortes noch $R_m \approx 1490 \text{ MPa}$ ($H_v = 480$), bei $T = 600^{\circ}\text{C}$ ist die maximale Kaltverfestigung bereits auf $R_m \approx 1330 \text{ MPa}$ ($H_v = 430$) gesunken, $T = 650^{\circ}\text{C}$ führt nahezu zu einer Egalisierung der mechanischen Eigenschaften ($R_m \approx 1120 \text{ MPa}$, entspricht $H_v = 360$) in umgeformten und nicht umgeformten Abschnitten des Bauteils, und bei $T = 700^{\circ}\text{C}$ ergibt sich eine Überkompensation, d. h. die Werkstückfestigkeit im umformungsnahe Abschnitt beträgt $R_m \approx 870 \text{ MPa}$ ($H_v = 280$) und liegt damit signifikant unter der Zugfestigkeit in Abschnitten des Werkstücks (Näpfchen), die nicht oder nur geringfügig umgeformt wurden.

[0040] Aus **Fig. 2** ist erkennbar, dass durch die Wahl einer geeigneten Temperatur T für die Warmkalibrierung die Kaltverfestigung im umformungsnahe Bereich eines Bauteils gezielt beeinflussbar und nach Wunsch auf einen bestimmten Wert abbaubar ist. Beispielsweise können homogene mechanische Eigenschaften in Bezug auf die Zugfestigkeit mit einer Schwankungsbreite von weniger als 20% oder sogar 10% bezogen auf umgeformte und nicht umgeformte Abschnitte des Bauteils erreicht werden. Auch ist es möglich, die Kaltverfestigung z. B. um 70% oder 80% abzubauen. **Fig. 2** verdeutlicht, dass durch die Wärmebehandlung und die Warmkalibrierung nur die durch Kaltverfestigung bewirkten erhöhten Festigkeitswerte beeinflusst und abgebaut werden, während sich die mechanischen Eigenschaften in den übrigen Abschnitten des Werkstücks, die keiner Umformung unterzogen werden, kaum ändern. D. h. mit anderen Worten, es kann erreicht werden, dass ein Bauteil mit komplexer Bauteilgeometrie über seine gesamte Erstreckung homogene mechanische Eigenschaften aufweist oder dass es an Umformungsstellen gezielt erhöhte oder erniedrigte Festigkeiten im Vergleich zu nicht umgeformten Abschnitten erlangt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Eisen-Mangan-Stahlblech, mit den Schritten: Kaltumformen eines Blechwerkstückes (2) in einem Formwerkzeug (3); Erwärmen des umgeformten Blechwerkstückes auf eine Temperatur zwischen 500°C und 700°C ; und Kalibrieren des erwärmten Blechwerkstückes in einem Kalibrierwerkzeug (5).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Temperatur zwischen 600°C und 680°C beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, mit dem Schritt: Erwärmen des umgeformten Blechwerkstückes in einem Ofen (4); und Einlegen des erwärmten Blechwerkstückes in das Kalibrierwerkzeug (5).

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Verweildauer des Blechwerkstückes in dem Ofen (4) so gewählt wird, dass eine im wesentlichen homogene Durchwärmung des Blechwerkstückes gewährleistet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Eisen-Mangan-Stahlblech ein TWIP-Stahl, TRIP/TWIP-Stahl oder TRIPLEX-Stahl ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Mangan-Gehalt des Eisen-Mangan-Stahlblechs zwischen 12 und 35 Gew% beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Temperatur so eingestellt wird, dass eine Kaltverfestigung in umgeformten Abschnitten des umgeformten Blechwerkstückes durch die Kalibrierung um mindestens 70%, insbesondere 80% abgebaut wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Temperatur so eingestellt wird, dass das kalibrierte Blechwerkstück über seine gesamte Geometrie eine maximale Schwankungsbreite der Zugfestigkeit von 20%, insbesondere 10% aufweist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt: Beschichten des Blechwerkstückes mit einer organischen und/oder anorganischen oder metallischen Beschichtung, insbesondere einer Legierung auf Basis von Zink oder Aluminium, vor dem Kaltumformen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem Schritt: Beschichten des Blechwerkstückes mit einer organischen und/oder anorganischen oder metallischen Beschichtung, insbesondere einer Legierung auf Basis von Zink oder Aluminium, nach dem Kalibrieren.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

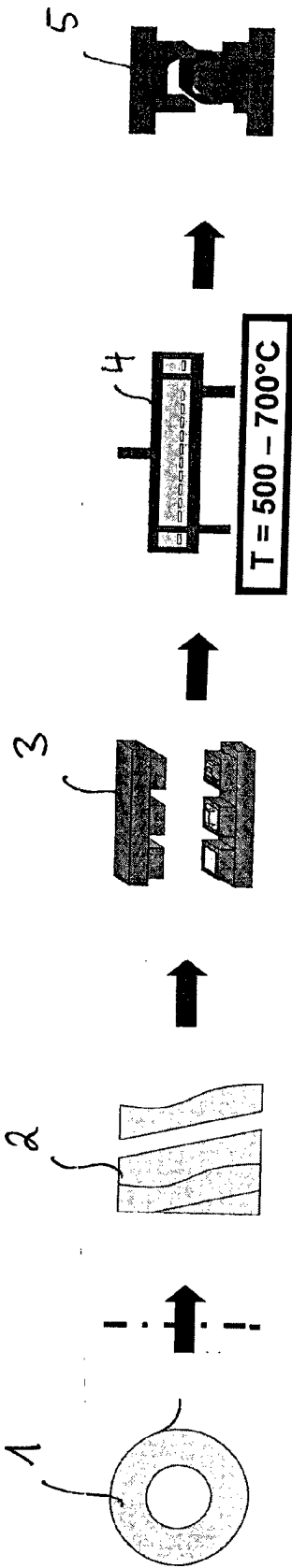


Fig. 1

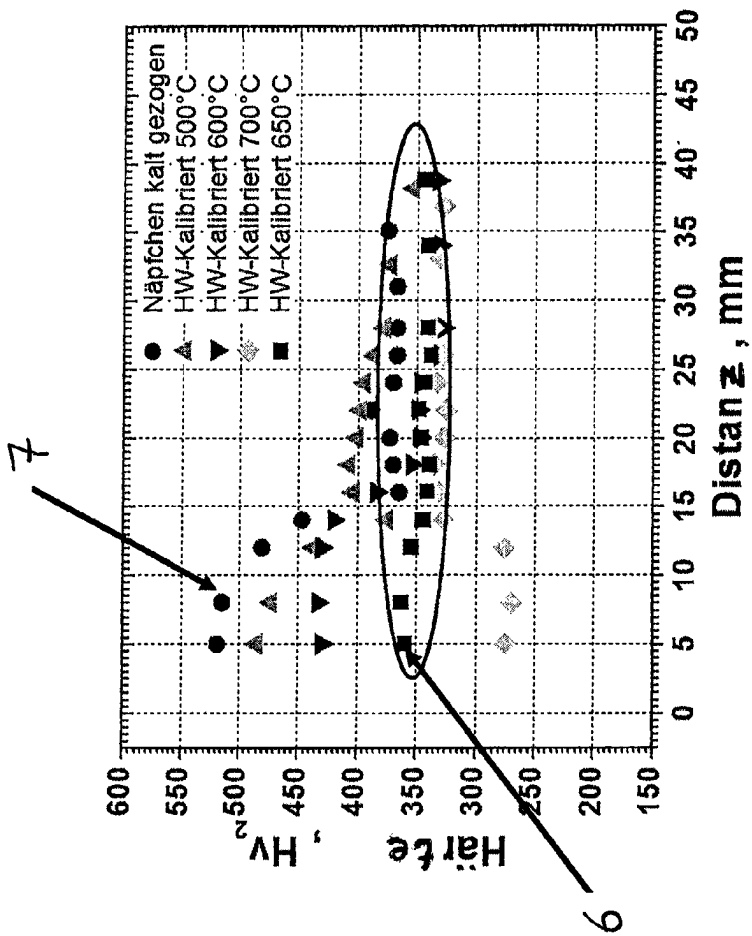


Fig. 2