

(19)



(11)

EP 4 223 889 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
09.08.2023 Patentblatt 2023/32

(21) Anmeldenummer: **23165955.8**

(22) Anmeldetag: **11.10.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

C21D 1/76 (2006.01) **B21D 22/02** (2006.01)
B21D 22/20 (2006.01) **C21D 7/13** (2006.01)
C23C 2/12 (2006.01) **C23C 2/26** (2006.01)
C23C 2/28 (2006.01) **C21D 9/46** (2006.01)
C21D 9/48 (2006.01) **C21D 1/673** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

C21D 1/673; C21D 1/76; C21D 9/46; C21D 9/48;
C23C 2/12; C23C 2/28; C23C 2/40; C25D 7/0614;
B21D 22/022; B21D 22/208; C21D 7/13

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **19.10.2017 DE 102017218704**

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en)
nach Art. 76 EPÜ:
18804228.7 / 3 697 936

(71) Anmelder:

- **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)
- **thyssenkrupp AG**
45143 Essen (DE)

(72) Erfinder:

- **BANIK, Janko**
58762 Altena (DE)
- **KÖYER, Maria**
44141 Dortmund (DE)
- **ROSENSTOCK, Dirk**
45355 Essen (DE)
- **RUTHENBERG, Manuela**
44143 Dortmund (DE)

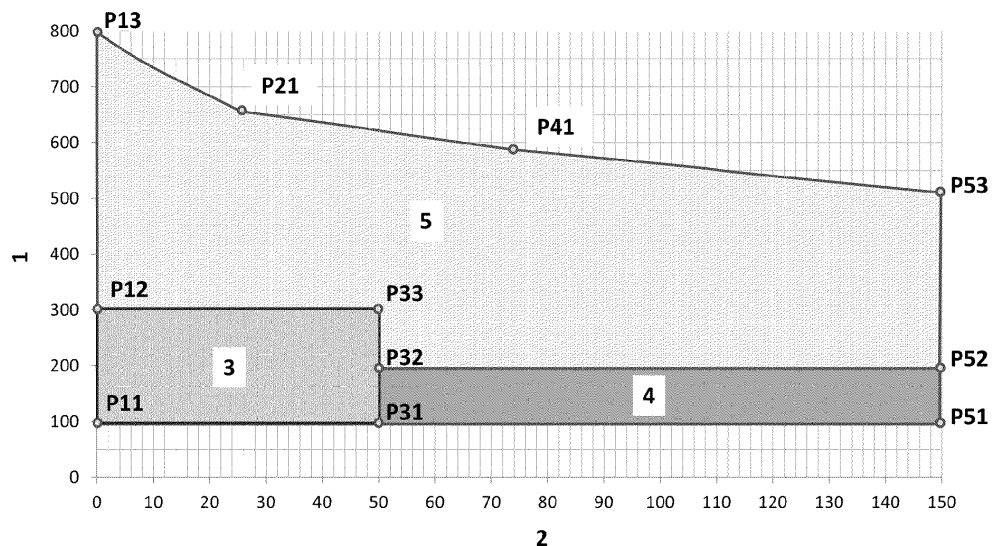
(74) Vertreter: **Zenz Patentanwälte Partnerschaft mbB**

Gutenbergstraße 39
45128 Essen (DE)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES MIT EINEM METALLISCHEN, VOR KORROSION SCHÜTZENDEN ÜBERZUG VERSEHENEN STAHLBAUTEILS**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Stahlbauteils umfassend ein Substrat und eine Beschichtung, ein entsprechendes Stahlbauteil und dessen Verwendung im Automobilsektor.

Figur 1

**EP 4 223 889 A2**

Beschreibung**Technisches Gebiet**

- 5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung eines Stahlbauteils umfassend ein Substrat und eine Beschichtung, ein entsprechendes Stahlbauteil und dessen Verwendung im Automobilsektor.

Technischer Hintergrund

- 10 **[0002]** Um die im modernen Karosseriebau geforderte Kombination aus geringem Gewicht, maximaler Festigkeit und Schutzwirkung zu bieten, werden heutzutage in den Bereichen der Karosserie, die im Fall eines Crashes besonders hohen Belastungen ausgesetzt sein können, Bauteile eingesetzt, die aus hochfesten Stählen warmumgeformt werden. Beim Warmumformen, auch Warmpresshärten genannt, werden Stahlplatten, die zuvor von kalt- oder warmgewalztem Stahlband abgeteilt werden, auf eine Verformungstemperatur erwärmt, die im Allgemeinen oberhalb der Austenitisierungstemperatur des jeweiligen Stahls liegt, und im erwärmten Zustand in das Werkzeug einer Umformpresse gelegt.
- 15 Im Zuge der anschließend durchgeführten Umformung erfährt der Blechzuschnitt bzw. das aus ihm geformte Bauteil durch den Kontakt mit dem kühlen Werkzeug eine schnelle Abkühlung. Die Abkühlraten sind dabei so eingestellt, dass sich im Bauteil ein Härtegefüge ergibt.

- 20 **[0003]** WO 2015/036151 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines mit einem metallischen, vor Korrosion schützenden Überzug versehenen Stahlbauteils und ein entsprechendes Stahlbauteil. Das Verfahren gemäß diesem Dokument umfasst das Beschichten eines Stahlflachproduktes mit einer Legierung aus Aluminium, Zink, Magnesium und gegebenenfalls Silizium und Eisen, Schneiden einer Platine aus dem Stahlflachprodukt, Erwärmen der Platine und Umformen der Platine, um das gewünschte Stahlbauteil zu erhalten.

- 25 **[0004]** DE 699 07 816 T2 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines beschichteten warm- und kaltgewalzten Stahlblechs mit sehr hoher Festigkeit nach thermischer Behandlung. Dazu wird ein Stahlflachprodukt mit einer Beschichtung versehen und thermisch behandelt. Bei der thermischen Behandlung wird das Werkstück auf eine Temperatur von über 750 °C erwärmt.

- 30 **[0005]** EP 2 993 248 A1 offenbart ein Stahlflachprodukt mit einer aluminiumhaltigen Beschichtung, wobei diese 0,005 bis 0,7 Gew.-% wenigstens eines Alkali- und/oder Erdalkalimetalls enthält, und ein Verfahren zu dessen Herstellung. In diesem Verfahren wird das beschichtete Stahlflachprodukt auf eine Temperatur von 700 bis 900 °C für 360 s, 600 s oder 800 s erhitzt und anschließend umgeformt.

- 35 **[0006]** Beim Erwärmen der Blechzuschnitte, bestehend aus einem Stahl-Substrat und einem aluminiumbasierten, metallischen Korrosionsschutzüberzug, diffundiert Wasserstoff infolge der Oberflächenreaktion der vorhandenen Feuchte im Ofen mit dem Aluminiumüberzug durch den metallischen Überzug in das Stahlsubstrat ein. Nach dem Presshärten kann der Wasserstoff nicht mehr aus dem Stahlsubstrat austreten, da der metallische Überzug bei Raumtemperatur eine Barriere für den diffusiblen Wasserstoff H_{diff} darstellt. Der Gehalt an H_{diff} reduziert die auf Dauer vom Stahl ertragbaren Spannungen, und es kann unter Vorliegen von Zugspannungen im Blech zu spontanen "wasserstoffinduzierten" Brüchen kommen. Um Risse bei den üblicherweise beim Rohkarosseriebau vorliegenden Spannungen zu vermeiden, sollte der Gehalt an diffusiblen Wasserstoff unterhalb eines bauteilspezifischen Wertes liegen. Dieser Wert hängt unter
- 40 anderem von der Komplexität der Warmumformoperation, der Nachverarbeitung durch beispielsweise Laserschneiden, Stanzen, mechanisches Schneiden oder Warmbeschnitt und der Verbausituation und Fügekonzept und damit dem Spannungszustand in der Karosserie ab. Die nach der Verarbeitung verbleibende Menge H_{diff} soll abhängig von der genannten Verarbeitung bevorzugt $\leq 0,4$ ppm (parts per million) vor kritischen Rohbauprozessen betragen.

- 45 **[0007]** Des Weiteren existieren Fertigungsverfahren, bei denen Bereiche von beschichteten Stahlbändern auf eine geringere Blechdicke gewalzt werden als andere Bereiche und daraus dann entsprechende Blechzuschnitte mit unterschiedlichen Walzgraden entnommen werden. Dadurch lassen sich gewichtsoptimierte und belastungsangepasste Bauteile erzeugen. Das Verhältnis von Dickenabnahme durch das Walzen zu Startdicke wird Abwalzgrad genannt. Dabei gilt der Abwalzgrad erfindungsgemäß nur für einen Walzvorgang, bei dem die Beschichtung bereits auf dem Substrat vorhanden ist. Die gewalzten Bereiche mit geringerer Blechdicke verglichen mit der vor der Durchführung des Walzens vorhandenen Blechdicke weisen durch das Walzen eine deutlich höhere Fehlstellendichte im Stahlsubstrat auf. Dadurch kann sich in den gewalzten Bereichen diffusibler Wasserstoff besser als in den nicht gewalzten Bereichen anlagern, so dass nach der Warmumformung und dem Presshärten ein höherer diffusibler Wasserstoffgehalt vorliegt. Folglich kann es bei nach Beschichtung gewalztem Material deutlich schneller zu wasserstoffinduzierter Rissbildung nach Warmumformung und Presshärten kommen. Eine bekannte Methode, den Gehalt an diffusiblem Wasserstoff im Bauteil abzusinken, ist es, den Taupunkt im Ofen, in dem das Stahlblech vor dem Umformen erwärmt wird, abzusinken, um dadurch bei der Oxidation des Substrates die Bildung von diffusiblem Wasserstoff aus der vorhandenen Feuchte der Ofenatmosphäre zu reduzieren und dadurch auch die H_{diff} -Aufnahme des Stahlbauteils abzusinken. Die Absenkung des Taupunktes ist jedoch umso aufwändiger, je niedriger der Taupunkt eingestellt werden muss. Erstrebenswert ist es also,
- 55

den Taupunkt möglichst nicht zu beeinflussen und falls erforderlich nicht zu stark abzusenken.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Herstellung von Stahlbauteilen umfassend ein Substrat und eine Beschichtung zur Verfügung zu stellen, mit dem entsprechende Stahlbauteile erhalten werden können, die einen möglichst geringen H_{diff} -Gehalt aufweisen, um das Risiko einer wasserstoffinduzierten Rissbildung nach dem Warmumformen und im anschließenden Gebrauch zu minimieren. Des Weiteren ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren bereitzustellen, mit dem es möglich ist, in einem warmgeformten Bauteil einen bestimmten H_{diff} -Gehalt durch Auswahl verschiedener Ofenparameter in Abhängigkeit des Abwalzgrads und der Blechdicke des eingesetzten Stahlflachprodukts nicht zu überschreiten.

[0009] Gelöst wird diese Aufgabe durch das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Stahlbauteils mit einem Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} von bis 0,4 ppm umfassend wenigstens die Schritte:

(A) Bereitstellen eines Stahlflachproduktes mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%) 3 bis 15 Si, 1 bis 3,5 Fe, 0,05 bis 5,0 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen, welches ein Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis (WGB) von 0,8 bis 200, aufweist,

(B) Bestimmung eines WOP-Werts in Abhängigkeit des Abwalzgrad-Blechdickenverhältnisses WGB innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P11 (WGB 0,8, WOP 100) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P51 (WGB 150, WOP 100) sowie P51 (WGB 150, WOP 100) und P11 (WGB 0,8, WOP 100) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis auf der x-Achse aufgetragen sind, wie bevorzugt in Figur 1 dargestellt,

(C) Behandeln des Stahlflachproduktes bei einer mittleren Ofentemperatur T_{Ofen} (in Kelvin (K)) für eine Dauer t_{Ofen} (in Stunden (h)), wobei die Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} (in Kelvin (K)), die mittlere Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) und die Dauer t_{Ofen} (in h) gemäß der folgenden Gleichung der allgemeinen Formel (1)

$$WOP = \frac{T_{\text{Ofen}}}{K} \cdot \log\left(\frac{t_{\text{Ofen}}}{h} + 1,15\right) + \left(\frac{T_{\text{Taupunkt}}}{K} - 243,15\right)^{1,6} \quad (1),$$

eingestellt werden, und

(D) Umformen des aufgeheizten Stahlflachproduktes aus Schritt (B) in einem Formwerkzeug unter gleichzeitigem Abkühlen, um das Stahlbauteil zu erhalten.

[0010] Des Weiteren werden diese Aufgaben auch gelöst durch ein entsprechendes Stahlbauteil und durch die Verwendung des erfindungsgemäßen Stahlbauteils im Automobilsektor, insbesondere als Stoßstangenträger/-verstärkung, Türverstärkung, B-Säulen-Verstärkung, A-Säulen-Verstärkung, Dachrahmen oder Schweller.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Folgenden detailliert beschrieben.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren dient dazu, ein Stahlbauteil mit einem Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} von bis 0,4 ppm, bevorzugt 0,01 bis 0,4 ppm, besonders bevorzugt 0,05 bis 0,4 ppm, beispielsweise 0,1, 0,2, 0,3, oder 0,4 ppm, jeweils im Werkstoff nach Warmumformen herzustellen. H_{diff} beschreibt dabei die Menge an Wasserstoffatomen, die in dem Stahlsubstrat nach Warmumformen in gelöster Form vorliegen. Methoden zur Bestimmung des H_{diff} -Gehalts sind dem Fachmann an sich bekannt, beispielsweise Desorptionsmassenspektrometrie mit erwärmten Proben (Thermal Desorption Mass Spectrometry (TDMS)).

[0013] Schritt (A) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Bereitstellen eines Stahlflachproduktes mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%) 3 bis 15 Si, 1 bis 3,5 Fe, 0,05 bis 5,0 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen, welches ein Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis von größer 0,8 bis 200 aufweist.

[0014] Erfindungsgemäß kann in Schritt (A) des erfindungsgemäßen Verfahrens jedes dem Fachmann als geeignet erscheinende Stahlflachprodukt mit einer entsprechenden Beschichtung verwendet werden. Erfindungsgemäß bevorzugt wird ein dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Stahlflachprodukt eingesetzt, enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

0,06 bis 0,50, bevorzugt 0,18 bis 0,37, besonders bevorzugt 0,20 bis 0,25 C,
0,50 bis 3,0, bevorzugt 0,80 bis 2,00, besonders bevorzugt 1,00 bis 1,60 Mn,
0,10 bis 0,50, bevorzugt 0,15 bis 0,40, besonders bevorzugt 0,20 bis 0,30 Si,
0,01 bis 1,00, bevorzugt 0,10 bis 0,5, besonders bevorzugt 0,10 bis 0,40 Cr,

bis zu 0,20, bevorzugt 0,01 bis 0,10, besonders bevorzugt 0,01 bis 0,05 Ti,
bis zu 0,10, bevorzugt 0,01 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,02 bis 0,05 Al,
bis zu 0,10, bevorzugt 0,00 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,02 P,
bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,1 Nb,

bis zu 0,01 N,

bis zu 0,05, bevorzugt 0,00 bis 0,005, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,003 S und

bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,002 bis 0,0035 B,

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,

mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

3 bis 15 Si,

1 bis 3,5 Fe,

0,05 bis 5,0, bevorzugt 0,05 bis 1,5, besonders bevorzugt 0,11 bis 0,6 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0015] Unvermeidbare Verunreinigungen im Substrat sind erfindungsgemäß beispielsweise Cu, Mo, V, Ni und/oder Sn.

[0016] Bevorzugt handelt es sich bei dem eingesetzten Stahlflachprodukt um ein Band, insbesondere ein Warmband oder ein Kaltband, um ein Blech, d. h. ein Stück eines Warmbandes oder eines Kaltbandes, oder um eine Platine aus einem Warmband oder eine Platine aus einem Kaltband. Die vorliegende Erfindung betrifft bevorzugt das erfindungsgemäße Verfahren, wobei das Stahlflachprodukt eine Platine aus einem Warmband oder eine Platine aus einem Kaltband ist.

[0017] Verfahren zur Herstellung eines Warmbandes bzw. eines Kaltbandes sind dem Fachmann an sich bekannt und beispielsweise beschrieben in (Hoffmann, Hartmut; Neugebauer, Reimund; Spur, Günter (2012): Handbuch Umformen. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. Seiten 109 bis 165 und Seiten 196 bis 207).

[0018] Das erfindungsgemäß eingesetzte Stahlsubstrat weist bevorzugt ein Härtegefüge auf, beispielsweise mindestens 80% Martensit, Rest Bainit, Ferrit und Restaustenit.

[0019] Das erfindungsgemäß beschaffene Stahlflachprodukt wird mit einer Beschichtung versehen, wobei die Beschichtung bevorzugt 3 bis 15, besonders bevorzugt 7 bis 12, ganz besonders bevorzugt 9 bis 10 Si, 1 bis 3,5, bevorzugt 2 bis 3,5 Fe, 0,05 bis 5,0, bevorzugt 0,05 bis 1,5, besonders bevorzugt 0,11 bis 0,6, Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen enthält (alle Angaben in Gew.-%). Im Rahmen der vorliegenden Erfindung sind Alkali- und/oder Erdalkalimetalle bevorzugt Magnesium, Kalzium und/oder Lithium, besonders bevorzugt Magnesium.

[0020] Verfahren zur Herstellung eines entsprechenden beschichteten Stahlflachproduktes sind dem Fachmann an sich bekannt, beispielsweise kann die Beschichtung durch eine Feuerbeschichtung, eine elektrolytische Beschichtung oder mittels eines Stückbeschichtungsprozesses erfolgen. Die vorliegende Erfindung betrifft daher bevorzugt das erfindungsgemäße Verfahren, wobei die Beschichtung durch eine Feuerbeschichtung, eine elektrolytische Beschichtung oder mittels eines Stückbeschichtungsprozesses erfolgt.

[0021] Vorzugsweise erfolgt das Aufbringen der Aluminium-Silizium-Eisen-Legierung mittels eines kontinuierlichen Feuerbeschichtungsprozesses. Vorzugsweise liegt bei der Beschichtung die Temperatur des Aluminium-Schmelzbades zwischen 660 °C und 720 °C.

[0022] Silizium in der Beschichtung wirkt als Diffusionsblocker und dient der Beruhigung des Schmelzenbades beim Aufbringen des aus der Aluminium-Legierung gebildeten Überzuges mittels Feuerbeschichtung.

[0023] Die Dicke der Beschichtung liegt erfindungsgemäß bevorzugt bei 5 bis 60 µm, vorzugsweise 10 bis 40 µm. Daraus ergibt sich ein erfindungsgemäßes Aufschlaggewicht der beidseitigen Beschichtung von 20 bis 240 g/m², bevorzugt 40 bis 200 g/m², besonders bevorzugt 50 bis 180 g/m², beispielsweise 60, 80 oder 150 g/m². Die vorliegende Erfindung betrifft daher bevorzugt das erfindungsgemäße Verfahren, wobei das Aufschlaggewicht der beidseitigen Beschichtung 20 bis 240 g/m² beträgt.

[0024] Erfindungsgemäß kann die Beschichtung auf einer Seite des Stahlflachproduktes oder auf beiden Seiten des Stahlflachproduktes vorliegen. Die vorliegende Erfindung betrifft daher bevorzugt das erfindungsgemäße Verfahren, wobei die Beschichtung auf einer Seite des Stahlflachproduktes oder auf beiden Seiten des Stahlflachproduktes vorliegt.

[0025] Das in Schritt (A) des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellte Stahlflachprodukt weist ein Abwalzgrad-Blechkickenverhältnis von 0,8 bis 200, bevorzugt größer 0,8 bis 180, besonders bevorzugt größer 0,8 bis 150, auf.

[0026] Das erfindungsgemäß bereitgestellte Stahlflachprodukt weist dabei bevorzugt einen Abwalzgrad von 0,5 bis 75%, besonders bevorzugt 2,5 bis 60%, auf. Der Abwalzgrad wird erfindungsgemäß in % angegeben. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bedeutet Abwalzgrad das Verhältnis von Dickenabnahme durch das Walzen zu Ausgangsdicke des Stahlflachproduktes, insbesondere wird der Abwalzgrad nach folgender Formel (2) bestimmt:

$$\text{Abwalzgrad} = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (2),$$

mit Δh gleich der Dickenabnahme durch das Walzen, d. h. Startdicke - Enddicke ($\Delta h = h_0 - h_1$) und h_0 gleich der Startdicke des Stahlflachprodukts, jeweils in mm. In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Schritt (A) ein Stahlflachprodukt eingesetzt, welches Bereiche aufweist, die auf eine geringere Blechdicke gewalzt werden als andere Bereiche. In diesem erfindungsgemäß bevorzugten Fall wird für das jeweilige Bauteil der größte vorliegende Abwalzgrad zugrunde gelegt.

[0027] Das dimensionslose Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis (WGB) wird erfindungsgemäß nach folgender Formel (3) bestimmt:

$$WGB = 1,5 \cdot \frac{1 + \text{Abwalzgrad} \cdot 100}{\frac{1}{2} \cdot (1 + \sqrt{\text{Blechdicke}/\text{mm}})} \quad (3),$$

wobei die Blechdicke in mm angesetzt wird und identisch mit h_1 , der Enddicke des Stahlflachproduktes nach dem Walzen ist.

[0028] Erfindungsgemäß bevorzugt liegen die in Schritt (A) des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzten Stahlflachprodukte in einer Blechdicke (Enddicke h_1) von 0,5 bis 6 mm, besonders bevorzugt 0,8 bis 3 mm, vor.

[0029] Erfindungsgemäß bevorzugt wird das beschichtete Stahlflachprodukt aus Schritt (A), nach dem Verfahrensschritt (B) durchgeführt worden ist, direkt in den erfindungsgemäßen Verfahrensschritt (C) überführt. Es ist allerdings auch möglich, dass zwischen den Schritten (A) und (B) bzw. (C) weitere Schritte durchgeführt werden, beispielsweise Abtrennen von Bereichen, insbesondere Blechen oder Platinen des Stahlflachproduktes, beispielsweise durch Scherschneiden oder Laserschneiden, Einbringen von Löchern durch Laserbearbeitung oder Stanzen, und/oder vorangehende Wärmebehandlungen zur Veränderung der Eigenschaften der Beschichtung oder des Substrates.

[0030] Schritt (B) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die Bestimmung eines WOP-Werts in Abhängigkeit des Abwalzgrad-Blechdickenverhältnisses WGB innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P11 (WGB 0,8, WOP 100) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P51 (WGB 150, WOP 100) sowie P51 (WGB 150, WOP 100) und P11 (WGB 0,8, WOP 100) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis auf der x-Achse aufgetragen sind, wie bevorzugt in Figur 1 dargestellt. Erfindungsgemäß wird so ein geeigneter WOP-Wert-Bereich bestimmt, aus dem dann wiederum ein WOP-Wert ausgewählt werden kann. Erfindungsgemäß erfüllen aber alle in dem bestimmten WOP-Wert-Bereich liegenden WOP-Werte die Bedingung, dass ein Stahlbauteil mit einem Gehalt an diffusiblem Wasserstoff von maximal 0,4 ppm erhalten wird.

[0031] Schritt (B) des erfindungsgemäßen Verfahrens dient dazu, in Abhängigkeit des Abwalzgrad-Blechdickenverhältnisses des eingesetzten Stahlflachprodukts einen WOP-Wert zu bestimmen, wobei WOP "wasserstoffbezogener Ofenparameter" bedeutet und einheitenlos ist. Der WOP-Wert gibt dann Auskunft darüber, mit welchen Prozessparametern die Wärmebehandlung in Schritt (C) erfolgen soll, damit Stahlbauteile mit Gehalten an diffusiblem Wasserstoff von maximal 0,4 ppm erhalten werden.

[0032] Bei der Bestimmung des WOP-Werts gemäß der vorliegenden Erfindung wird über das Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis ein Bereich für passende WOP-Werte ermittelt. Aus diesem Bereich kann dann bevorzugt ein WOP-Wert ausgesucht werden, der dann dazu verwendet wird mit der Gleichung der allgemeinen Formel (I) entsprechende Wert für T_{Ofen} , t_{Ofen} und T_{Taupunkt} zu ermitteln. Im Allgemeinen sind aber alle in dem entsprechend ermittelten Bereich der WOP-Werte vorliegenden Werte geeignet, in die Gleichung der allgemeinen Formel (I) eingesetzt zu werden, um entsprechende Wert für T_{Ofen} , t_{Ofen} und T_{Taupunkt} zu ermitteln.

[0033] Schritt (B) des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt bevorzugt dadurch, dass der WOP-Wert innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P11 (WGB 0,8, WOP 100) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P51 (WGB 150, WOP 100) sowie P51 (WGB 150, WOP 100) und P11 (WGB 0,8, WOP 100) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis auf der x-Achse aufgetragen sind, zu einem vorgegebenen Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis graphisch bestimmt wird (Bereich A). Das entsprechende Diagramm ist in Figur 1 dargestellt, Bereich A ergibt sich durch eine Vereinigung der dargestellten Teilflächen "3", "4" und "5" in Figur 1.

[0034] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Bestimmung des WOP-Werts gemäß Schritt (B) des erfindungsgemäßen Verfahrens innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P12 (WGB 0,8, WOP 300) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P52 (WGB 150, WOP 200), P52 (WGB 150, WOP 200) und P32 (WGB 50, WOP 200), P32 (WGB 50, WOP 200) und P33 (WGB 50, WOP 300) sowie P33 (WGB 50, WOP 300) und P12 (WGB 0,8, WOP 300) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis (WGB) auf der x-Achse aufgetragen sind (Bereich B). Das entsprechende Diagramm ist in Figur 1 dargestellt, Bereich B ist die dargestellte Teilflächen "5" ohne die Teilflächen "3" und "4" in Figur 1.

[0035] Mit dem in Schritt (B) des erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmten WOP-Wert kann dann erfindungsgemäß bestimmt werden, bei welcher Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre T_{Taupunkt} , bei welcher mittleren Ofentemperatur T_{Ofen} und für welche Dauer t_{Ofen} Schritt (C) des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt wird.

[0036] Schritt (C) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Behandeln des Stahlflachproduktes bei einer mittleren Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) für eine Dauer t_{Ofen} (in h), wobei die Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre T_{Taupunkt} (in K), die mittlere Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) und die Dauer t_{Ofen} (in h) gemäß der folgenden Gleichung der allgemeinen Formel (1)

$$WOP = \frac{T_{\text{Ofen}}}{K} \cdot \log\left(\frac{t_{\text{Ofen}}}{h} + 1,15\right) + \left(\frac{T_{\text{Taupunkt}}}{K} - 243,15\right)^{1,6} \quad (1),$$

so eingestellt werden, dass sich der WOP-Wert in dem mithilfe von Figure 1 festgelegten Intervall zwischen dem minimalen und dem maximalen WOP-Wert befindet.

[0037] Die Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) ist die Temperatur, die im Mittel in dem Ofen, in dem Schritt (C) des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt, vorherrscht. Erfindungsgemäß kann T_{Ofen} jeden Wert annehmen, den ein Fachmann für geeignet hält. Bevorzugt beträgt in dem erfindungsgemäßen Verfahren T_{Ofen} AC1 bis 1373 K, bevorzugt 1113 bis 1253 K, besonders bevorzugt 1133 bis 1223 K, ganz besonders bevorzugt 1153 bis 1193 K, beträgt. Dabei bedeutet AC1 die erste Austenitisierungstemperatur, die abhängig von der Legierungszusammensetzung ist.

[0038] Die Dauer t_{Ofen} (in h) ist die Zeit, über die die genannte Ofentemperatur T_{Ofen} in Schritt (C) vorherrscht. Erfindungsgemäß kann t_{Ofen} jeden Wert annehmen, den ein Fachmann für geeignet hält. In dem erfindungsgemäßen Verfahren beschreibt t_{Ofen} insbesondere den Zeitraum, in dem das Stahlflachprodukt durch einen Durchlaufofen bewegt wird oder in einem stationären Ofen verweilt. Bevorzugt beträgt in dem erfindungsgemäßen Verfahren t_{Ofen} 0,05 bis 0,5 h, bevorzugt 0,067 bis 0,25 h, besonders bevorzugt 0,067 bis 0,4 h.

[0039] In einer Ausführungsform werden Ofentemperatur T_{Ofen} , Dauer t_{Ofen} und WOP-Wert verwendet, um mittels der Gleichung (1) die Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} zu berechnen und dann einzustellen. Die Taupunkttemperatur des Ofens T_{Taupunkt} (in K) beträgt beispielsweise 243,15 bis 333,15 K, bevorzugt 253,15 bis 303,15 K, besonders bevorzugt 263,15 bis 293,15 K.

[0040] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} , Dauer t_{Ofen} und WOP-Wert verwendet, um mittels der Gleichung (1) die Ofentemperatur T_{Ofen} zu berechnen und dann einzustellen.

[0041] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} , Ofentemperatur T_{Ofen} und WOP-Wert verwendet, um mittels der Gleichung (1) die Dauer t_{Ofen} zu berechnen und dann einzustellen.

[0042] Schritt (C) des erfindungsgemäßen Verfahrens kann im Allgemeinen in jedem dem Fachmann bekannten Ofen durchgeführt werden, beispielsweise Rollenherdöfen, Kammeröfen, Mehrlagenkammeröfen, Hubbalkenöfen.

[0043] Schritt (D) des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Umformen des aufgeheizten Stahlflachproduktes aus Schritt (C) in einem Formwerkzeug unter gleichzeitigem Abkühlen, um das Stahlbauteil zu erhalten.

[0044] Im Allgemeinen können in Schritt (D) des erfindungsgemäßen Verfahrens alle dem Fachmann bekannten Verfahren zum Warmumformen eingesetzt werden, beispielsweise beschrieben in Warmumformung im Automobilbau - Verfahren, Werkstoffe, Oberflächen, Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 2012, Die Bibliothek der Technik.

[0045] In Schritt (D) des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus dem Stahlflachprodukt aus Schritt (C) durch Umformen das gewünschte Stahlbauteil erhalten. Damit sich in dem Stahlbauteil das gewünschte Härtegefüge, beispielsweise mindestens 80% Martensit, Rest Bainit, Ferrit und Restaustenit, ausbildet, erfolgt das Umformen unter gleichzeitigem Abkühlen. Das Abkühlen in Schritt (C) des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt dabei bevorzugt mit einer Rate von 27 bis 1000 K/s, besonders bevorzugt 50 bis 500 K/s. Die vorliegende Erfindung betrifft daher bevorzugt das erfindungsgemäße Verfahren, wobei das Abkühlen in Schritt (D) bei einer Abkühlrate von 27 bis 500 K/s erfolgt.

[0046] Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Stahlbauteil enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

0,06 bis 0,50 bevorzugt 0,18 bis 0,37, besonders bevorzugt 0,20 bis 0,25 C,
 0,50 bis 3,0, bevorzugt 0,80 bis 2,00, besonders bevorzugt 1,00 bis 1,60 Mn,
 0,10 bis 0,50, bevorzugt 0,15 bis 0,40, besonders bevorzugt 0,20 bis 0,30 Si,
 0,01 bis 1,00, bevorzugt 0,10 bis 0,5, besonders bevorzugt 0,10 bis 0,40 Cr,
 bis zu 0,20, bevorzugt 0,01 bis 0,10, besonders bevorzugt 0,01 bis 0,05 Ti,
 bis zu 0,10, bevorzugt 0,01 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,02 bis 0,05 Al,
 bis zu 0,10, bevorzugt 0,00 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,02 P,
 bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,1 Nb,
 bis zu 0,01 N,
 bis zu 0,05, bevorzugt 0,00 bis 0,005, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,003 S und
 bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,002 bis 0,0035 B,
 Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,
 mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)
 3 bis 15 Si,
 1 bis 3,5 Fe,
 0,05 bis 5,0, bevorzugt 0,05 bis 1,5, besonders bevorzugt 0,11 bis 0,6, Alkali- und/oder Erdalkalimetalle,
 Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen,
 hergestellt durch das erfindungsgemäße Verfahren. Bevorzugt beträgt das Auflagegewicht der beidseitigen Be-
 schichtung des erfindungsgemäßen Stahlbauteils 20 bis 240 g/m².

[0047] Das erfindungsgemäße Stahlbauteil weist bevorzugt eine durchlegierte Legierungsschicht zwischen Stahlsu-
 strat und Al-basierter Beschichtung auf. Bevorzugt weist das erfindungsgemäße Stahlbauteil eine durchlegierte Legie-
 rungsschicht in einer Dicke von 5 bis 60 µm, bevorzugt 10 bis 45 µm, auf. Die Messung der Dicke der Legierungsschicht
 kann durch dem Fachmann bekannte Verfahren (z.B. nach DIN EN ISO 1463) erfolgen.

[0048] Die bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens genannten Details und bevorzugten Ausführungsformen
 gelten für das erfindungsgemäße Stahlbauteil entsprechend.

[0049] Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung eines erfindungsgemäßen beschichteten Stahlbauteils
 im Automobilsektor, insbesondere als Stoßstangenträger/-verstärkung, Türverstärkung, B-Säulen-Verstärkung, A-Säu-
 len-Verstärkung, Dachrahmen oder Schweller.

[0050] Bezüglich der einzelnen Merkmale der erfindungsgemäßen Verwendung und der bevorzugten Ausführungs-
 formen gilt das bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens Gesagte entsprechend.

[0051] Es ist also erfindungsgemäß ein Verfahren vorgesehen zur Herstellung eines Stahlbauteils mit einem Gehalt
 an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} von bis 0,4 ppm umfassend wenigstens die Schritte:

(A) Bereitstellen eines Stahlflachproduktes mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%) 3 bis 15
 Si, 1 bis 3,5 Fe, 0,05 bis 5,0 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen, welches
 ein Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis (WGB) von größer 0,8 bis 200, aufweist,

(B) Bestimmung eines WOP-Werts in Abhängigkeit des Abwalzgrad-Blehdickenverhältnisses WGB innerhalb einer
 Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P11 (WGB 0,8, WOP 100) und P13
 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und
 P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520)
 und P51 (WGB 150, WOP 100) sowie P51 (WGB 150, WOP 100) und P11 (WGB 0,8, WOP 100) in einem Koordi-
 natensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis auf der x-Achse
 aufgetragen sind,

(C) Behandeln des Stahlflachproduktes bei einer mittleren Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) für eine Dauer t_{Ofen} (in h),
 wobei die Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} (in K), die mittlere Ofentemperatur T_{Ofen}
 (in K) und die Dauer t_{Ofen} (in h) gemäß der folgenden Gleichung der allgemeinen Formel (1)

$$WOP = \frac{T_{Ofen}}{K} \cdot \log\left(\frac{t_{Ofen}}{h} + 1,15\right) + \left(\frac{T_{Taupunkt}}{K} - 243,15\right)^{1,6} \quad (1),$$

eingestellt werden, und

(D) Umformen des aufgeheizten Stahlflachproduktes aus Schritt (B) in einem Formwerkzeug unter gleichzeitigem
 Abkühlen, um das Stahlbauteil zu erhalten.

[0052] Bevorzugt erfolgt die Bestimmung des WOP-Werts gemäß Schritt (B) innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P12 (WGB 0,8, WOP 300) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P52 (WGB 150, WOP 200), P52 (WGB 150, WOP 200) und P32 (WGB 50, WOP 200), P32 (WGB 50, WOP 200) und P33 (WGB 50, WOP 300) sowie P33 (WGB 50, WOP 300) und P12 (WGB 0,8, WOP 300) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis (WGB) auf der x-Achse aufgetragen sind.

[0053] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird ein Stahlflachprodukt eingesetzt, enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

0,06 bis 0,50 C,
0,50 bis 3,0 Mn,
0,10 bis 0,50 Si,
0,01 bis 1,00 Cr,

bis zu 0,20 Ti,
bis zu 0,10 Al,
bis zu 0,10 P,
bis zu 0,1 Nb,
bis zu 0,01 N,

bis zu 0,05 S und
bis zu 0,1 B,

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0054] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung beträgt tofen 0,05 bis 0,5 h, bevorzugt 0,060 bis 0,4 h, besonders bevorzugt 0,067 bis 0,25 h.

[0055] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist das Stahlflachprodukt eine Platine aus einem Warmband oder eine Platine aus einem Kaltband.

[0056] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung erfolgt die Beschichtung durch eine Feuerbeschichtung, eine elektrolytische Beschichtung oder mittels eines Stückbeschichtungsprozesses.

[0057] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung beträgt das Auflagegewicht der beidseitigen Beschichtung 20 bis 240 g/m².

[0058] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung erfolgt das Abkühlen in Schritt (D) bei einer Abkühlrate von 10 bis 500 K/s, bevorzugt oberhalb von 27 K/s.

[0059] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung beträgt der Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} 0,1, 0,2, 0,3 oder 0,4 ppm im Werkstoff nach Warmumformen.

[0060] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Stahlbauteil umfassend ein Substrat enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

0,06 bis 0,50 C,
0,50 bis 3,0 Mn,
0,10 bis 0,50 Si,
0,01 bis 1,00 Cr,

bis zu 0,20 Ti,
bis zu 0,10, bevorzugt 0,01 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,02 bis 0,05 Al,
bis zu 0,10, bevorzugt 0,00 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,02 P,

bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,1 Nb,
bis zu 0,01 N,

bis zu 0,05, bevorzugt 0,00 bis 0,005, besonders bevorzugt 0,00 bis 0,003 S und
bis zu 0,1, bevorzugt 0,001 bis 0,05, besonders bevorzugt 0,002 bis 0,0035 B,

Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,

mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%)

3 bis 15 Si,

1 bis 3,5 Fe,

0,05 bis 5,0 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle,

Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen,

hergestellt durch das Verfahren der oben beschriebenen Weise oder einer seiner vorteilhaften Weiterbildungen.

[0061] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung beträgt das Auflagegewicht der beidseitigen Beschichtung 20 bis 240 g/m².

[0062] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung weist das Stahlbauteil eine durchlegierte Legierungsschicht in einer Dicke von 5 bis 60 μm , bevorzugt 10 bis 45 μm , auf.

[0063] Ein Aspekt der Erfindung ist die Verwendung eines beschichteten Stahlbauteils der oben genannten Weise im Automobilsektor, insbesondere als Stoßstangenträger/-verstärkung, Türverstärkung, B-Säulen-Verstärkung, A-Säulen-Verstärkung, Dachrahmen oder Schweller.

Figuren

[0064]

Figur 1 zeigt ein Diagramm, in dem der WOP-Wert über dem Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis aufgetragen ist. Darin bedeuten

- 1 WOP-Wert (wasserstoffbezogener Ofenparameter-Wert)
- 2 WGB (Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis)
- 3 Teilfläche "3"
- 4 Teilfläche "4"
- 5 Teilfläche "5"

Figur 2 zeigt exemplarisch, wie erfindungsgemäß der WOP-Wert bei bekanntem Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis bestimmt wird, dabei bedeuten

- E1 Abwalzgrad 0,5%, Ausgangsblechdicke 3,0 mm, Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis 1,6, daraus folgen WOP-Wert von 300 bis 790.
- E2 Abwalzgrad 2,5%, Ausgangsblechdicke 3,0 mm, Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis 3,8, daraus folgen WOP-Wert von 300 bis 780.
- E3 Abwalzgrad 30%, Ausgangsblechdicke 1,5 mm, Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis 41,8, daraus folgen WOP-Wert von 300 bis 630.
- E4 Abwalzgrad 50%, Ausgangsblechdicke 1,98 mm, Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis 63,6 oder Abwalzgrad 47%, Ausgangsblechdicke 1,5 mm, Abwalzgrad-Blechdickenverhältnis 64,7, daraus folgen jeweils WOP-Wert von 200 bis 600.

Beispiele

Beispiel 1

[0065] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele dienen der näheren Erläuterung der Erfindung.

[0066] Es werden Platinen eingesetzt, die aus Schmelzen mit den Legierungsbestandteilen gemäß Tabelle 1 erhalten worden sind.

Tabelle 1: Schmelzenzusammensetzung der eingesetzten Stahlflachprodukte

Legierungselemente	Legierungsbestandteil in Gew.-%			
	Schmelze A	Schmelze B	Schmelze C	Schmelze D
C	0,224	0,212	0,219	0,212 bis 0,225
Si	0,23	0,22	0,26	0,21 bis 0,27
Mn	1,20	1,11	1,14	1,11 bis 1,20
P	0,014	0,009	0,013	0,009 bis 0,016
S	0,0029	0,0013	0,0023	0,0006 bis 0,0029
Al gesamt	0,035	0,027	0,032	0,026 bis 0,038
Cr	0,190	0,187	0,183	0,180 bis 0,190
Nb	0,001	0,001	0,001	0,001 bis 0,001
Mo	0,0055	0,0018	0,0040	0,0016 bis 0,0055

EP 4 223 889 A2

(fortgesetzt)

Legierungselemente	Legierungsbestandteil in Gew.-%			
	Schmelze A	Schmelze B	Schmelze C	Schmelze D
Ti	0,028	0,029	0,025	0,020 bis 0,033
B	0,0022	0,0024	0,0026	0,0021 bis 0,0028
Alle Angaben in Gew.-%, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen				

[0067] Die eingesetzten Stahlflachprodukte weisen eine Beschichtung auf, enthaltend 9 bis 10 Gew.-% Si, 2 bis 3,5 Gew.-% Eisen, Rest Aluminium und die in Tabelle 2 genannte Menge an Mg. Auflagengewicht, Blechdicke und Walzgrad der eingesetzten Stahlflachprodukte sind ebenfalls in Tabelle 2 genannt. Über das Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis (Formel 3) wird dann in dem Diagramm gemäß Figur 1 der entsprechende WOP-Wert ermittelt und über die Formel (1) werden anschließend T_{Ofen} , t_{Ofen} und T_{Taupunkt} der Ofenatmosphäre ermittelt und eingestellt. Das so aufgeheizte Stahlflachprodukt wird anschließend aus dem Ofen entnommen und nach einer Transportzeit von 6 Sekunden in ein Formwerkzeug eingelegt. Nach dem Einlegen in das Formwerkzeug fährt dieses sogleich zusammen und verhartet im geschlossenen Zustand für ca. 20 Sekunden, um dadurch das Bauteil auf $<80^{\circ}\text{C}$ durch Kontakt mit den gekühlten Werkzeugen abzukühlen. Von den hergestellten Stahlbauteilen werden Proben entnommen, die mithilfe der Desorptionsmassenspektrometrie mit erwärmten Proben (Thermal Desorption Mass Spectrometry (TDMS)) untersucht werden im Hinblick auf die enthaltene Menge diffusiblen Wasserstoffs (H_{diff}).

Tabelle 2:

Lfd. Nr.	Schmelze	Mg-Gehalt [Gew.-%]	Auflagengewicht beidseitig [g/m ²]	Blechdicke [mm]	Walzgrad [%]	WG B	Tofen [K]	tofen [h]	T _{Taupunkt} [K]	Hdiff [ppm]	WOP-Wert	Bereich
V1	A	0,3	80	1,50	0	1,3	1193,15	0,100	288,15	0,12	557	-
V2	A	0,3	80	1,50	0	1,3	1193,15	0,167	288,15	0,17	584	-
V3	A	0,3	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,222	288,15	0,13	606	-
V4	A	0,3	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,100	288,15	0,14	557	-
V5	A	0	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,222	288,15	0,45	606	-
6	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,100	248,15	0,07	129	A
7	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,167	248,15	0,05	156	A
8	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,222	248,15	0,05	177	A
9	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,100	268,15	0,26	288	A
10	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,167	268,15	0,14	315	B
11	A	0,3	140	1,10	27	41,0	1193,15	0,222	268,15	0,12	336	B
12	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,100	248,15	0,15	129	A
13	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,167	248,15	0,13	156	A
14	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,222	248,15	0,05	177	A
15	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,100	268,15	0,34	288	A
16	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,167	268,15	0,29	315	B
17	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,222	268,15	0,22	336	B
V18	A	0,3	140	0,80	47	76,0	1193,15	0,222	288,15	0,89	606	-
V19	C	0	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,083	288,15	0,47	550	-
V20	C	0	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,167	288,15	0,59	584	-
V21	C	0	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,083	268,15	0,20	281	-
V22	C	0	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,083	248,15	0,10	122	-
23	B	0,4	140	1,35	30	43,0	1193,15	0,083	268,15	0,20	281	A
24	B	0,4	140	1,35	30	43,0	1193,15	0,167	268,15	0,17	315	B
25	B	0,4	140	1,35	30	43,0	1193,15	0,083	288,15	0,22	550	B

(fortgesetzt)

Lfd. Nr.	Schmelze	Mg-Gehalt [Gew.-%]	Auflagengewicht beidseitig [g/m ²]	Blechdicke [mm]	Walzgrad [%]	WG B	Tofen [K]	tofen [h]	T _{Taupunkt} [K]	Hdiff [ppm]	WOP-Wert	Bereich
26	B	0,4	140	1,35	30	43,0	1193,15	0,167	288,15	0,31	584	B
27	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,083	268,15	0,11	281	A
28	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,083	268,15	0,13	281	A
29	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,167	268,15	0,11	315	B
30	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,167	268,15	0,12	315	B
31	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,083	288,15	0,26	550	B
32	B	0,4	140	1,00	50	76,5	1193,15	0,167	288,15	0,28	584	B
V33	D	0,3	140	1,50	0	1,3	1253,15	0,083	288,15	0,27	554	-
V34	D	0,3	140	1,50	0	1,3	1153,15	0,167	288,15	0,27	579	-
V35	D	0	140	1,50	0	1,3	1153,15	0,250	288,15	0,47	610	-
36	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,083	268,15	0,29	281	
V37	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,050	288,15	0,52	536	-
38	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,083	258,15	0,05	185	A
39	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,167	258,15	0,22	219	A
40	D	0,5	140	1,00	0	1,5	1193,15	0,167	288,15	0,27	584	B
41	D	0,5	140	1,97	0	1,2	1193,15	0,083	288,15	0,10	550	B
42	D	0,5	140	1,97	0	1,2	1193,15	0,250	288,15	0,30	616	B
V43	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,083	288,15	0,85	550	-
V44	D	0	140	1,50	25	35,1	1193,15	0,167	268,15	0,49	315	-
45	D	0,3	140	1,50	0	1,3	1193,15	0,083	298,15	0,24	718	B
46	D	0	140	1,30	30	43,5	1193,15	0,083	268,15	0,27	281	A
47	D	0	140	1,30	30	43,5	1193,15	0,083	268,15	0,27	281	A
V48	D	0	140	1,30	30	43,5	1193,15	0,083	288,15	0,57	550	-
V49	D	0	140	0,95	50	77,5	1193,15	0,083	268,15	0,58	281	-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Lfd. Nr.	Schmelze	Mg-Gehalt [Gew.-%]	Auflagengewicht beidseitig [g/m ²]	Blechdicke [mm]	Walzgrad [%]	WG B	Tofen [K]	tofen [h]	T _{Taupunkt} [K]	Hdiff [ppm]	WOP-Wert	Bereich
V50	D	0	140	0,95	50	77,5	1193,15	0,167	268,15	0,47	315	-
V Vergleichsbeispiel												

Beispiel 2

[0068] Beispielhafte Bestimmung zulässiger Werte für T_{Ofen} , t_{Ofen} und T_{Taupunkt} zum Einhalten eines H_{diff} -Wertes von 0,4 ppm in hergestellten Bauteilen aus Stahlflachprodukten.

[0069] Beispiel E3 aus Figure 2:

$$h_0 = 2,143 \text{ mm}; h_1 = \text{Blechdicke} = 1,5 \text{ mm}; \Delta h = 0,643 \text{ mm}; \text{Beschichtung mit Mg } 0,35 \text{ Gew. } \%$$

$$\text{Abwalzgrad} = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{0,643 \text{ mm}}{2,143 \text{ mm}} = 0,3 = 30 \%$$

$$WGB = 1,5 \cdot \frac{1 + \text{Abwalzgrad} \cdot 100}{\frac{1}{2} \cdot (1 + \sqrt{\text{Blechdicke}/\text{mm}})} = 1,5 \cdot \frac{1 + 0,3 \cdot 100}{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{1,5 \text{ mm}}{\text{mm}}}\right)} = 41,8$$

[0070] Für den WGB-Wert von 41,8 lässt sich ein WOP-Wert von 300 bis 630 aus Figur 1 ablesen oder über die angegebenen Punkte berechnen. Nun lassen sich die drei Parameter T_{Ofen} , t_{Ofen} und T_{Taupunkt} so festlegen, dass sich ein WOP Wert ergibt von: $300 \leq WOP \leq 630$, beispielsweise: $T_{\text{Ofen}} = 930 \text{ } ^\circ\text{C} = 1203,15 \text{ K}$; $t_{\text{Ofen}} = 400 \text{ s} = 0,111 \text{ h}$; und $T_{\text{Taupunkt}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C} = 283,15 \text{ K}$

$$300 \leq WOP \leq 630$$

$$\Leftrightarrow 300 \leq \frac{T_{\text{Ofen}}}{\text{K}} \cdot \log\left(\frac{t_{\text{Ofen}}}{\text{h}} + 1,15\right) + \left(\frac{T_{\text{Taupunkt}}}{\text{K}} - 243,15\right)^{1,6} \leq 630$$

$$\Leftrightarrow 300 \leq \frac{1203,15 \text{ K}}{\text{K}} \cdot \log\left(\frac{0,111 \text{ h}}{\text{h}} + 1,15\right) + \left(\frac{283,15 \text{ K}}{\text{K}} - 243,15\right)^{1,6} \leq 630$$

$$\Leftrightarrow 300 \leq 487 \leq 630$$

$$\Leftrightarrow \text{wahre Aussage}$$

[0071] Da der errechnete WOP-Wert von 487 zwischen 300 und 630 liegt, lässt sich durch die gewählten Parameter ein maximaler H_{diff} -Wert von 0,4 ppm im Bauteil einhalten.

Gewerbliche Anwendbarkeit

[0072] Das erfindungsgemäß hergestellte Stahlbauteil weist eine geringe Neigung zu wasserstoffinduzierten Brüchen bei Lastspannungen auf und kann daher vorteilhaft im Automobilsektor, dem Luftfahrzeugbau oder Schienenfahrzeugbau verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Stahlbauteils mit einem Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} von bis 0,4 ppm umfassend wenigstens die Schritte:

(A) Bereitstellen eines Stahlflachproduktes, enthaltend (alle Angaben in Gew.-%):

0,06 bis 0,50 C,
 0,50 bis 3,0 Mn,
 0,10 bis 0,50 Si,
 0,01 bis 1,00 Cr,
 bis zu 0,20 Ti,
 bis zu 0,10 Al,
 bis zu 0,10 P,
 bis zu 0,1 Nb,
 bis zu 0,01 N,
 bis zu 0,05 S und
 bis zu 0,1 B,
 Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen,

mit einer Beschichtung enthaltend (alle Angaben in Gew.-%) 3 bis 15 Si, 1 bis 3,5 Fe, 0,05 bis 5,0 Alkali- und/oder Erdalkalimetalle, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen, welches ein Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis (WGB) von größer 0,8 bis 200, aufweist, wobei WGB ein dimensionsloser Wert ist, der bestimmt wird durch

$$WGB = 1,5 \cdot \frac{1 + \text{Abwalzgrad} \cdot 100}{\frac{1}{2} \cdot (1 + \sqrt{\text{Blehdicke}/\text{mm}})}$$

wobei die Blehdicke in mm angesetzt wird und identisch mit h_1 , der Enddicke des Stahlflachproduktes nach dem Walzen ist,
 wobei das Stahlflachprodukt Bereiche aufweist, die auf eine geringere Blehdicke gewalzt sind als andere Bereiche, wobei der größte vorliegende Abwalzgrad zugrunde gelegt wird, und der Abwalzgrad für einen Walzvorgang gilt, bei dem die Beschichtung bereits auf dem Substrat vorhanden ist,

(B) Bestimmung eines WOP-Werts in Abhängigkeit des Abwalzgrad-Blehdickenverhältnisses WGB innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P11 (WGB 0,8, WOP 100) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P51 (WGB 150, WOP 100) sowie P51 (WGB 150, WOP 100) und P11 (WGB 0,8, WOP 100) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis auf der x-Achse aufgetragen sind,

(C) Behandeln des Stahlflachproduktes bei einer mittleren Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) für eine Dauer t_{Ofen} (in h), wobei die Taupunkttemperatur der Ofenatmosphäre des Ofens T_{Taupunkt} (in K), die mittlere Ofentemperatur T_{Ofen} (in K) und die Dauer t_{Ofen} (in h) gemäß der folgenden Gleichung der allgemeinen Formel (1)

$$WOP = \frac{T_{\text{Ofen}}}{K} \cdot \log\left(\frac{t_{\text{Ofen}}}{h} + 1,15\right) + \left(\frac{T_{\text{Taupunkt}}}{K} - 243,15\right)^{1,6} \quad (1),$$

eingestellt werden, und

(D) Umformen des aufgeheizten Stahlflachproduktes aus Schritt (C) in einem Formwerkzeug unter gleichzeitigem Abkühlen, um das Stahlbauteil zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmung des WOP-Werts gemäß Schritt (B) innerhalb einer Fläche aufgespannt durch gerade Verbindungsstrecken zwischen den Punkten P12 (WGB 0,8, WOP 300) und P13 (WGB 0,8, WOP 800), P13 (WGB 0,8, WOP 800) und P21 (WGB 26, WOP 650), P21 (WGB 26, WOP 650) und P41 (WGB 74, WOP 590), P41 (WGB 74, WOP 590) und P53 (WGB 150, WOP 520), P53 (WGB 150, WOP 520) und P52 (WGB 150, WOP 200), P52 (WGB 150, WOP 200) und P32 (WGB 50, WOP 200), P32 (WGB 50, WOP 200) und P33 (WGB 50, WOP 300) sowie P33 (WGB 50, WOP 300) und P12 (WGB 0,8, WOP 300) in einem Koordinatensystem, in dem der WOP-Wert auf der y-Achse und das Abwalzgrad-Blehdickenverhältnis (WGB) auf der x-Achse aufgetragen sind, erfolgt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** t_{Ofen} 0,05 bis 0,5 h, bevorzugt 0,060

bis 0,4 h, besonders bevorzugt 0,067 bis 0,25 h, beträgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stahlflachprodukt eine Platine aus einem Warmband oder eine Platine aus einem Kaltband ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschichtung durch eine Feuerbeschichtung, eine elektrolytische Beschichtung oder mittels eines Stückbeschichtungsprozesses erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Auflagegewicht der beidseitigen Beschichtung 20 bis 240 g/m² beträgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abkühlen in Schritt (D) bei einer Abkühlrate von 10 bis 500 K/s bevorzugt oberhalb von 27 K/s erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} 0,1, 0,2, 0,3 oder 0,4 ppm im Werkstoff nach Warmumformen beträgt.

9. Stahlbauteil,

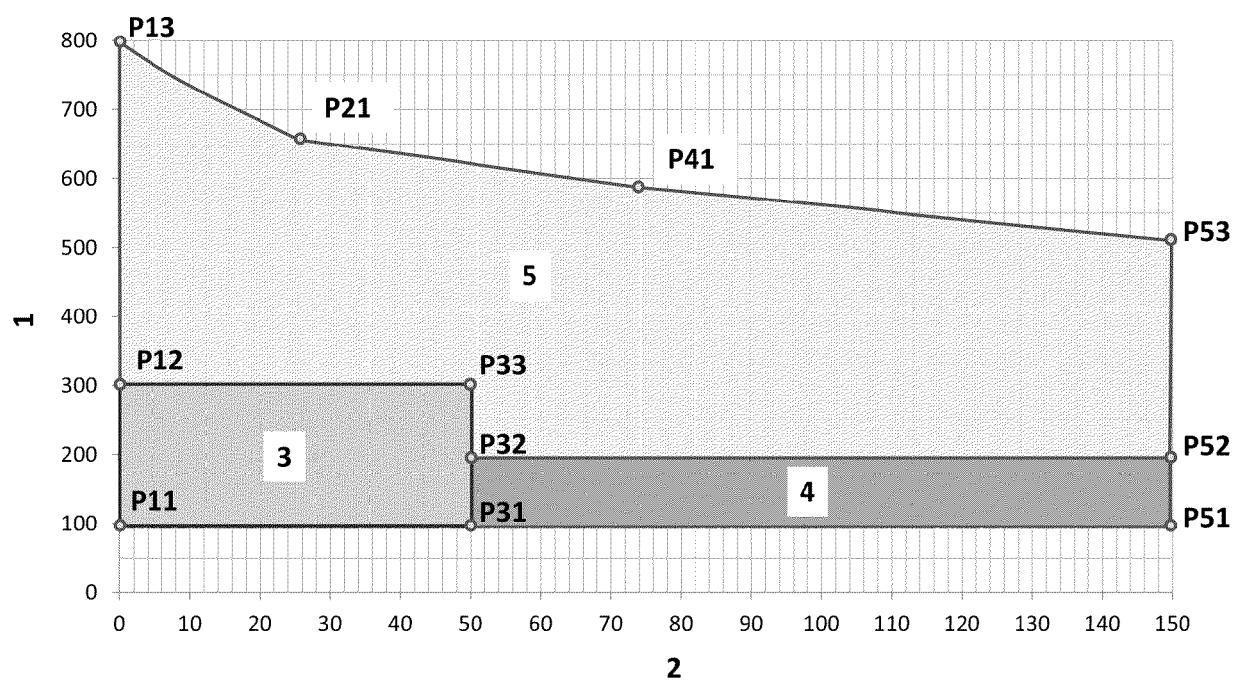
hergestellt durch ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei in Schritt (A) ein Stahlflachprodukt eingesetzt wird, welches Bereiche aufweist, die auf eine geringere Blechdicke gewalzt sind als andere Bereiche, wobei der größte vorliegende Abwalzgrad zugrunde gelegt wird, und der Abwalzgrad für einen Walzvorgang gilt, bei dem die Beschichtung bereits auf dem Substrat vorhanden ist, und wobei das hergestellte Stahlbauteil einen Gehalt an diffusiblem Wasserstoff H_{diff} von bis 0,4 ppm aufweist.

10. Stahlbauteil nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Auflagegewicht der beidseitigen Beschichtung 20 bis 240 g/m² beträgt.

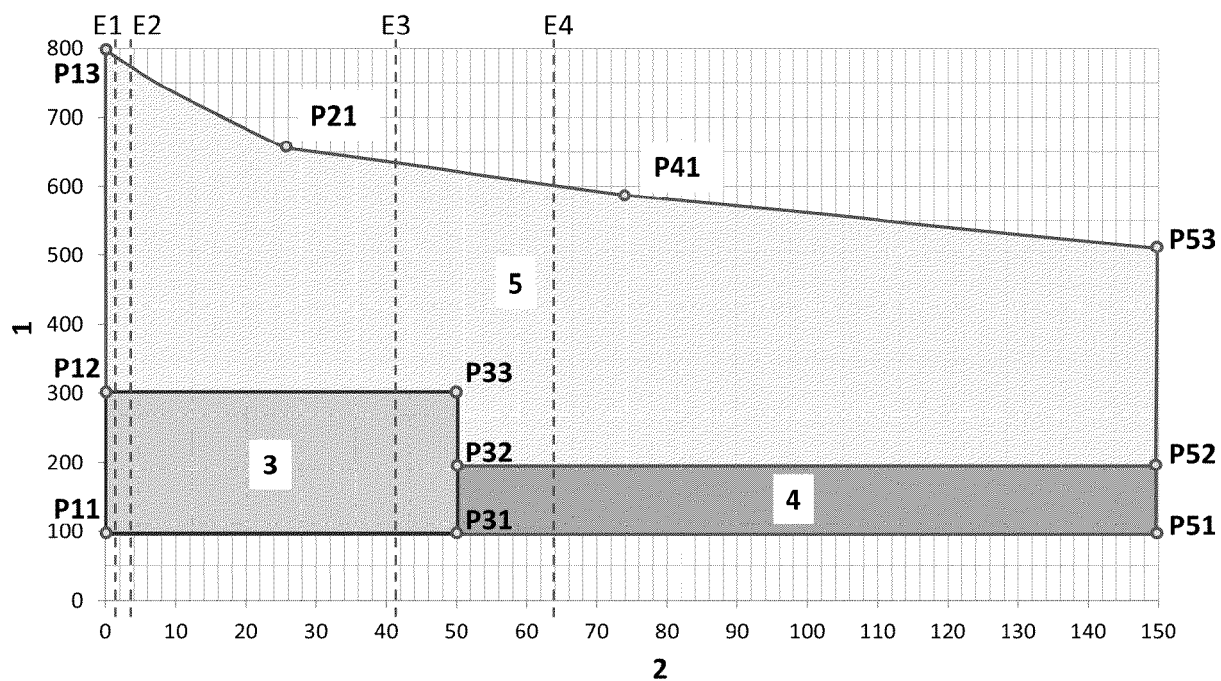
11. Stahlbauteil nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine durchlegierte Legierungsschicht in einer Dicke von 5 bis 60 µm, bevorzugt 10 bis 45 µm, aufweist.

12. Verwendung eines beschichteten Stahlbauteils nach einem der Ansprüche 9 bis 11 im Automobilsektor, insbesondere als Stoßstangenträger/-verstärkung, Türverstärkung, B-Säulen-Verstärkung, A-Säulen-Verstärkung, Dachrahmen oder Schweller.

Figur 1



Figur 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2015036151 A1 [0003]
- DE 69907816 T2 [0004]
- EP 2993248 A1 [0005]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **HOFFMANN, HARTMUT ; NEUGEBAUER, REIMUND ; SPUR, GÜNTER.** Handbuch Umformen. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2012, 109-165, 196-207 [0017]
- **LANDSBERG ; LECH.** Automobilbau - Verfahren, Werkstoffe, Oberflächen. Verl. Moderne Industrie, 2012 [0044]