



(11) **EP 4 386 092 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.06.2024 Patentblatt 2024/25

(21) Anmeldenummer: **23214942.7**

(22) Anmeldetag: **07.12.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21D 1/18 (2006.01) **C21D 1/673** (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01) **C21D 9/46** (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01) **C22C 38/04** (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01) **C23C 2/12** (2006.01)
C23C 2/18 (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21D 9/46; C21D 1/18; C21D 1/673; C21D 8/0205;
C21D 8/0221; C21D 8/0263; C21D 8/0273;
C21D 8/0278; C22C 38/02; C22C 38/04;
C22C 38/06; C23C 2/12; C23C 2/18

(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:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **12.12.2022 DE 102022132907**

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(72) Erfinder:
• **Stille, Sebastian**
44263 Dortmund (DE)
• **Köyer, Maria**
44141 Dortmund (DE)
• **Bienholz, Stefan**
44795 Bochum (DE)

(74) Vertreter: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
SE/INN-IPM
Kaiser-Wilhelm-Straße 100
DE-47166 Duisburg (DE)

(54) **STAHLFLACHPRODUKT MIT FARBVERÄNDERUNG**

(57) Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Blechformteils durch Warmumformen, aufweisend
a. ein Stahlsubstrat, das aus einem Stahl, der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist, besteht und
b. einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Überzug auf Aluminium-Basis, wobei der Überzug eine Al-Basissschicht aufweist, die aus 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionalen

weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium besteht und wobei die Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Al-Basissschicht eine derartige Verteilung aufweisen, dass das Stahlflachprodukt im abgekühlten Zustand nach einer Glühung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900°C für eine Glühdauer von 9 Minuten eine Farbveränderung im Vergleich zum abgekühlten Zustand nach einer Referenz-Glühdauer von 4 Minuten erfährt, wobei die Farbveränderung eine Farbdynamik von größer 100 aufweist.

EP 4 386 092 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Blechformteils durch Warmumformen, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Stahlflachprodukts, ein Verfahren zum Überprüfen eines Blechformteils und ein Verfahren zum Herstellen eines Blechformteils.

[0002] Wenn nachfolgend von einem "Stahlflachprodukt" oder auch von einem "Blechprodukt" die Rede ist, so sind damit Walzprodukte, wie Stahlbänder oder -bleche, gemeint aus den für die Herstellung von beispielsweise Karosseriebauteilen "Blechzuschnitte" (auch Platinen genannt) abgeteilt werden. "Blechformteile" oder "Blechbauteile" der erfindungsgemäßen Art sind aus derartigen Blechzuschnitten hergestellt, wobei hier die Begriffe "Blechformteil" und "Blechbauteil" synonym verwendet werden.

[0003] Alle Angaben zu Gehalten der in der vorliegenden Anmeldung angegebenen Stahlzusammensetzungen sind auf das Gewicht bezogen, sofern nicht ausdrücklich anders erwähnt. Alle nicht näher bestimmten, im Zusammenhang mit einer Stahlliegierung stehenden "%-Angaben" sind daher als Angaben in "Gew.-%" zu verstehen. In diesem Text gemachte Angaben zu den Gehalten der Bestandteile einer Atmosphäre beziehen sich auf das Volumen (Angabe in "Vol.-%").

[0004] Aus der WO 2022/048990 A1 und der EP 2 993 248 B1 sind Stahlflachprodukte mit ähnlichen aluminiumbasierten Beschichtungen und Verfahren zu deren Herstellung bekannt.

[0005] Derartige Stahlflachprodukte weisen einen Überzug auf Aluminium-Basis auf und werden mittels Warmumformen zum Blechformteilen weiterverarbeitet. Dabei werden Zuschnitte aus den Stahlflachprodukten über eine gewisse Glühdauer (z.B. 4 Minuten) auf eine Warmumformtemperatur (z.B. 900°C) erwärmt. Während dieser Glühdauer diffundiert Eisen aus dem Stahlsubstrat in den Überzug auf Aluminium-Basis. Hierdurch ergibt sich ein Überzug, der sehr effektiv gegen Korrosion schützt. Der heiße Zuschnitt wird anschließend in einem Umformwerkzeug zu einem Blechformteil umgeformt und schnell abgekühlt, wodurch sich ein Härtegefüge (z.B. Martensit) im Stahlsubstrat bildet. Im Ergebnis erhält man ein Blechformteil mit hoher Festigkeit und einem Überzug, der sehr gut gegen Korrosion schützt.

[0006] Problematisch ist jedoch, dass sich nur dann der gewünschte Korrosionsschutz einstellt, wenn die Verarbeitungsbedingungen, insbesondere die Glühdauer, sehr genau eingehalten werden. Eine zu lange Glühdauer führt zu mehr Diffusion von Eisen in den Überzug, wodurch der Schichtaufbau empfindlich gestört wird. In der industriellen Produktion kann es jedoch immer mal wieder zu Abweichungen aufgrund von Störungen im Betriebsablauf kommen. Daher ist es erforderlich, Blechformteile, die versehentlich unter falschen Bedingungen hergestellt wurden, zu identifizieren und auszusortieren. Prinzipiell ist dies beispielsweise durch Anfertigung eines metallographischen Schnittes oder durch chemische Analyse der Oberfläche möglich. Solche Untersuchungen sind jedoch sehr aufwendig und zudem nicht zerstörungsfrei.

[0007] Daher ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Stahlflachprodukt derart weiterzuentwickeln, dass ohne großen Aufwand am umgeformten Blechformteil festgestellt werden kann, ob die gewünschten Herstellungsbedingungen eingehalten wurden.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Blechformteils durch Warmumformen, aufweisend

a. ein Stahlsubstrat, das aus einem Stahl, der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist, besteht und

b. einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Überzugs auf Aluminium-Basis,

wobei der Überzug eine Al-Basissschicht aufweist, die aus 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium besteht.

[0009] Dabei weisen die Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Al-Basissschicht eine derartige Verteilung auf, dass das Stahlflachprodukt im abgekühlten Zustand nach einer Glühung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900° für eine Glühdauer von 9 Minuten eine Farbveränderung im Vergleich zum abgekühlten Zustand nach einer Referenzglühdauer von 4 Minuten erfährt, wobei die Farbveränderung eine Farbdynamik von größer 100 aufweist.

[0010] Typischerweise werden Überzüge dieser Art mittels Schmelztauchbeschichten hergestellt. Dabei hat sich überraschend gezeigt, dass sich durch die Zugabe von 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetallen in die Schmelze und bestimmte Abkühlbedingungen, die im späteren detailliert erläutert werden, ein Überzug ergibt, mit einer bestimmten Verteilung der Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Al-Basissschicht. Diese Verteilung führt dazu, dass es bei Glühdauern oberhalb von 4 Minuten zu einer Farbveränderung des Stahlflachproduktes kommt. Durch weitere Diffusionsvorgänge ändert sich die oberflächennahe Konzentration von Alkali- und Erdalkalimetallen, was wiederum die Farbveränderung verursacht. Anhand von Vergleichsversuchen ist deutlich erkennbar, dass diese Farbveränderung wesentlich stärker ist als bei Überzug ohne Zugabe von Alkali- oder Erdalkalimetallen. Daher ist es möglich, durch die Messung von

Farbwerten am umgeformten Blechformteil und Vergleich mit Referenzfarbwerten eines abgekühlten Referenz-Blechformteils festzustellen, ob das Blechformteil den gewünschten Glühprozess durchlaufen hat. Dabei wurde das Referenz-Blechformteil für 4 Minuten in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900°C geglüht. Unter dem abgekühlten Blechformteil (bzw. Referenz-Blechformteil) ist zu verstehen, dass das Blechformteil (bzw. Referenz-Blechformteil) Raumtemperatur angenommen hat.

[0011] Dabei wird die Farbdynamik einer Farbveränderung wie folgt bestimmt:

Mittels eines Spektralphotometers und einer Lichtquelle mit der CIE-Normlichtart A (kann mit hinreichender Genauigkeit durch eine gasgefüllte Wolfram-Glühlampe der Verteilungstemperatur $T_V \approx 2856$ K realisiert werden) und einem 10° Sichtfeld gemäß der Konvention CIE 1964 wird die Farbe des Blechformteils im CIE-Lab Farbraum erstellt. Dieser ist gemäß EN ISO 11664-4 "Colorimetry - Part 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Colour space" genormt. Aus dem CIE-Lab Farbraum werden die Werte in den sRGB₈-Farbraum umgerechnet. Bei dem verwendeten sRGB₈-Farbraum handelt es sich um die 8-Bit-Variante, bei der die Farbwerte Integerzahlen von 0-255 annehmen. Die Umrechnung ist dem Fachmann geläufig und beispielsweise auf https://convertingcolors.com/cielab-color-1.00_1.00_1.00.html online durchführbar.

[0012] Im Ergebnis erhält man eindeutige RGB-Werte für das Blechformteil. Analog werden die Referenzfarbwerten ($R_{ref} G_{ref} B_{ref}$) eines korrekt prozessierten Blechformteils (Referenz-Blechformteil) ermittelt.

[0013] Eine Farbdynamik D einer Farbveränderung von Referenz-Blechformteil zum Blechformteil ist nun definiert als die Summe der Beträge der Differenzen der RGB-Werte, d.h.:

$$D = |R - R_{ref}| + |G - G_{ref}| + |B - B_{ref}|$$

[0014] Es hat sich gezeigt, dass die so definierte Farbdynamik besonders gut geeignet ist, die Farbveränderung zu quantifizieren.

[0015] Ein solch erfindungsgemäßes Stahlflachprodukt wird mithilfe des nachfolgend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt. Dabei umfasst das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Stahlflachproduktes für die Warmumformung mit einem Überzug folgende Arbeitsschritte:

a) Zurverfügungstellen einer Bramme oder einer Dünnbramme, die aus einem Stahl besteht, der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist;

b) Durcherwärmen der Bramme oder Dünnbramme bei einer Temperatur (T_1) von 1000-1400°C;

c) Optionales Vorwalzen der durcherwärmten Bramme oder Dünnbramme zu einem Zwischenprodukt mit einer Zwischenprodukttemperatur (T_2) von 1000-1200°C;

d) Warmwalzen zu einem warmgewalzten Stahlflachprodukt, wobei die Endwalztemperatur (T_3) 750-1000°C beträgt;

e) Optionales Haspeln des warmgewalzten Stahlflachprodukts, wobei die Haspeltemperatur (T_4) höchstens 700°C beträgt;

f) Optionales Entzndern des warmgewalzten Stahlflachprodukts;

g) Optionales Kaltwalzen des Stahlflachprodukts, wobei der Kaltwalzgrad mindestens 30 % beträgt;

h) Glühen des Stahlflachprodukts bei einer Glühtemperatur (T_5) von 650-900°C;

i) Abkühlen des Stahlflachprodukts auf eine Eintauchtemperatur (T_6), welche 650-800°C, bevorzugt 670-720°C beträgt;

j) Beschichten des auf die Eintauchtemperatur abgekühlten Stahlflachprodukts mit einem Überzug durch

i. Eintauchen in ein Schmelzbad mit einer Schmelzentemperatur (T_7) 660-800°C, bevorzugt 670-710°C;

ii. Abblasen des Stahlflachproduktes nach Austritt aus dem Schmelzbad mittels eines Gasstroms;

k) Abkühlen des beschichteten Stahlflachprodukts auf Raumtemperatur, wobei eine Abkühlrate zwischen 660°C und 570°C mindestens 15 K/s beträgt;

l) optionales Dressieren des beschichteten Stahlflachprodukts.

[0016] In Arbeitsschritt a) wird ein entsprechend der erfindungsgemäß für das Stahlflachprodukt vorgegebenen Legierung zusammengesetztes Halbzeug zur Verfügung gestellt. Dies kann eine im konventionellen Brammenstrangguss oder im Dünnbrammenstrangguss erzeugte Bramme sein.

[0017] In Arbeitsschritt b) wird das Halbzeug bei einer Temperatur (T1) von 1000-1400°C durcherwärmt. Sollte das Halbzeug nach dem Vergießen abgekühlt sein, so wird das Halbzeug zum Durcherwärmen zunächst auf 1000-1400°C wiedererwärmt. Die Durcherwärmungstemperatur sollte mindestens 1000°C betragen, um eine gute Verformbarkeit für den nachfolgenden Walzprozess sicherzustellen. Die Durcherwärmungstemperatur sollte nicht mehr als 1400°C betragen, um Anteile schmelzflüssiger Phasen im Halbzeug zu vermeiden.

[0018] Im optionalen Arbeitsschritt c) wird das Halbzeug zu einem Zwischenprodukt vorgewalzt. Dünnbrammen werden üblicherweise keiner Vorwalzung unterzogen. Dickbrammen, die zu Warmbändern ausgewalzt werden sollen, können bei Bedarf einer Vorwalzung unterzogen werden. In diesem Fall sollte die Temperatur des Zwischenprodukts (T2) am Ende des Vorwalzens mindestens 1000°C betragen, damit das Zwischenprodukt genügend Wärme für den nachfolgenden Arbeitsschritt des Fertigwalzens enthält. Hohe Walztemperaturen können jedoch auch ein Kornwachstum während des Walzvorgangs fördern, was sich nachteilig auf die mechanischen Eigenschaften des Stahlflachprodukts auswirkt. Um das Kornwachstum während des Walzvorgangs gering zu halten, soll die Temperatur des Zwischenprodukts am Ende des Vorwalzens nicht mehr als 1200°C betragen.

[0019] In Arbeitsschritt d) wird die Bramme oder Dünnbramme oder, wenn Arbeitsschritt c) ausgeführt wurde, das Zwischenprodukt zu einem warmgewalzten Stahlflachprodukt gewalzt. Wurde Arbeitsschritt c) ausgeführt, so wird das Zwischenprodukt typischerweise unmittelbar nach dem Vorwalzen fertiggewalzt. Typischerweise beginnt das Fertigwalzen spätestens 90s nach dem Ende des Vorwalzens. Die Bramme, die Dünnbramme oder, wenn Arbeitsschritt c) ausgeführt wurde, das Zwischenprodukt werden bei einer Endwalztemperatur (T3) ausgewalzt. Die Endwalztemperatur, das heißt die Temperatur des fertig warmgewalzten Stahlflachprodukts am Ende des Warmwalzvorgangs, beträgt 750-1000°C. Bei Endwalztemperaturen kleiner 750°C nimmt die Menge an freiem Vanadium ab, da größere Mengen an Vanadiumkarbiden ausgeschieden werden. Die beim Fertigwalzen ausgeschiedenen Vanadiumkarbide sind sehr groß. Sie weisen typischerweise eine mittlere Korngröße von 30nm oder mehr auf und werden in nachfolgenden Glühprozessen, wie sie zum Beispiel vor dem Schmelztauchbeschichten durchgeführt werden, nicht mehr aufgelöst. Die Endwalztemperatur ist auf Werte von höchstens 1000°C begrenzt, um einer Vergrößerung der Austenitkörner vorzubeugen. Außerdem sind Endwalztemperaturen von höchstens 1000°C prozesstechnisch relevant zur Einstellung von Haspeltemperaturen (T4) kleiner 700°C.

[0020] Das Warmwalzen des Stahlflachprodukts kann als kontinuierliches Warmbandwalzen oder als reversierendes Walzen erfolgen. Arbeitsschritt e) sieht für den Fall des kontinuierlichen Warmbandwalzens ein optionales Haspeln des warmgewalzten Stahlflachprodukts vor. Dazu wird das Warmband nach dem Warmwalzen innerhalb von weniger als 50s auf eine Haspeltemperatur (T4) abgekühlt. Als Kühlmedium kann hierfür beispielsweise Wasser, Luft oder eine Kombination aus beidem verwendet werden. Die Haspeltemperatur (T4) sollte höchstens 700°C betragen, um die Bildung großer Vanadiumkarbide zu vermeiden. Die Haspeltemperatur ist prinzipiell nicht nach unten beschränkt. Allerdings haben sich Haspeltemperaturen von mindestens 500°C als günstig für die Kaltwalzbarkeit erwiesen. Anschließend wird das gehaspelte Warmband in konventioneller Weise an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt.

[0021] In Arbeitsschritt f) wird das warmgewalzte Stahlflachprodukt optional in konventioneller Weise durch Beizen oder durch eine andere geeignete Behandlung entzundert.

[0022] Das von Zunder gereinigte warmgewalzte Stahlflachprodukt kann vor der Glühbehandlung in Arbeitsschritt g) optional einem Kaltwalzen unterzogen werden, um beispielsweise höhere Anforderungen an die Dickentoleranzen des Stahlflachprodukts zu erfüllen. Der Kaltwalzgrad (KWG) sollte dabei mindestens 30 % betragen, um in das Stahlflachprodukt genügend Verformungsenergie für eine schnelle Rekristallisation einzubringen. Unter dem Kaltwalzgrad KWG wird dabei der Quotient aus der Dickenabnahme beim Kaltwalzen Δd_{KW} durch die Warmbanddicke d verstanden:

$$KWG = \Delta d_{KW}/d$$

[0023] Mit Δd_{KW} = Dickenabnahme beim Kaltwalzen in mm und d = Warmbanddicke in mm, wobei sich die Dickenabnahme Δd_{KW} aus der Differenz der Dicke des Stahlflachprodukts vor dem Kaltwalzen zur Dicke des Stahlflachprodukts nach dem Kaltwalzen ergibt. Beim Stahlflachprodukt vor dem Kaltwalzen handelt es sich üblicherweise um ein Warmband der Warmbanddicke d. Das Stahlflachprodukt nach dem Kaltwalzen wird üblicherweise auch als Kaltband bezeichnet. Der Kaltwalzgrad kann prinzipiell sehr hohe Werte von über 90 % annehmen. Allerdings haben sich Kaltwalzgrade von höchstens 80 % als günstig zur Vermeidung von Bandrissen erwiesen.

[0024] In Arbeitsschritt h) wird das Stahlflachprodukt einer Glühbehandlung bei Glühtemperaturen (T5) von 650-900°C unterzogen. Dazu wird das Stahlflachprodukt zunächst innerhalb von 10-120s auf die Glühtemperatur erwärmt und dann

30-600s bei der Glühtemperatur gehalten. Die Glühtemperatur beträgt mindestens 650°C, bevorzugt mindestens 720°C. Glühtemperaturen oberhalb von 900°C sind aus ökonomischen Gründen nicht wünschenswert.

[0025] In Arbeitsschritt i) wird das Stahlflachprodukt nach dem Glühen auf eine Eintauchtemperatur (T6) abgekühlt, um es für die anschließende Beschichtungsbehandlung vorzubereiten. Die Eintauchtemperatur ist kleiner als die Glühtemperatur und wird auf die Temperatur des Schmelzbads abgestimmt. Die Eintauchtemperatur beträgt 600-800°C, bevorzugt mindestens 650°C, besonders bevorzugt mindestens 670°C, besonders bevorzugt höchstens 700°C. Für eine besonders homogene Grenzschichtausbildung ist es wichtig, dass genügend thermische Energie in der Grenzschicht zwischen Stahlsubstrat und Aluminiumschmelze vorliegt. Dies ist bei tieferen Temperaturen als 600°C nicht der Fall, so dass sich unerwünschte Verbindungen bilden können, deren spätere Rückumwandlung zu Poren führen kann. Ab den bevorzugten Eintauchtemperaturen erhöht sich die Diffusionsgeschwindigkeit von Eisen in Aluminium nochmals signifikant, so dass bereits zu Beginn des Überzugsprozesses vermehrt Eisen in die noch flüssige Grenzschicht eindiffundieren kann. Die Dauer der Abkühlung des geglühten Stahlflachprodukts von der Glühtemperatur T5 auf die Eintauchtemperatur T6 beträgt bevorzugt 10-180s. Insbesondere weicht die Eintauchtemperatur T6 von der Temperatur des Schmelzenbades T7 um nicht mehr als 30K, insbesondere nicht mehr als 20K, bevorzugt nicht mehr als 10K ab.

[0026] Das Stahlflachprodukt wird in Arbeitsschritt j) einer Beschichtungsbehandlung unterzogen. Die Beschichtungsbehandlung erfolgt bevorzugt mittels kontinuierlichem Schmelztauchbeschichten. Die Beschichtung kann nur auf einer Seite, auf beiden Seiten oder auf allen Seiten des Stahlflachprodukts aufgebracht werden. Die Beschichtungsbehandlung erfolgt bevorzugt als Schmelztauchbeschichtungsprozess, insbesondere als kontinuierlicher Prozess. Dabei kommt das Stahlflachprodukt üblicherweise auf allen Seiten mit dem Schmelzbad in Kontakt, so dass es allseits beschichtet wird. Das Schmelzbad, das die auf das Stahlflachprodukt aufzubringende Legierung in flüssiger Form enthält, weist typischerweise eine Temperatur (T7) von 660-800°C, bevorzugt 670-740°C, besonders bevorzugt 670-710°C auf. Als zum Beschichten alterungsbeständiger Stahlflachprodukte mit einem Korrosionsschutzüberzug besonders geeignet haben sich Legierungen auf Aluminiumbasis erwiesen. In einem solchen Fall enthält das Schmelzbad 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, optional 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, bevorzugt bis zu 1,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionale weitere Bestandteile, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium. Bei einer bevorzugten Variante beträgt der Si-Gehalt der Schmelze 1,0-3,5 Gew.-% oder 7-12 Gew.-%, insbesondere 8-10 Gew.-%. Bei einer bevorzugten Variante umfasst der optionale Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Schmelze 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg. Weiterhin kann der optionale Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Schmelze insbesondere mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,01 Gew.-% Ca, umfassen.

[0027] Nach dem Austritt aus dem Schmelzbad wird das Stahlflachprodukt mittels eines Gasstroms abgeblasen, um die Dicke des Überzuges einzustellen.

[0028] Nach der Beschichtungsbehandlung wird das beschichtete Stahlflachprodukt in Arbeitsschritt k) auf Raumtemperatur abgekühlt. Dabei beträgt eine mittlere Abkühlrate zwischen 660°C und 570°C mindestens 15 K/s, bevorzugt mindestens 20 K/s. Dies entspricht dem Bereich zwischen dem Beginn der Verfestigung und dem Ende der Verfestigung des Überzuges. Bei einer Abkühlung auf 660°C beginnt die Verfestigung des Überzuges und bei einer weiteren Abkühlung auf 570°C ist der Überzug vollständig verfestigt. Bevorzugt beträgt die mittlere Abkühlrate maximal 100 K/s, besonders bevorzugt maximal 50 K/s. Es hat sich gezeigt, dass aufgrund dieser zügigen Abkühlung eine bestimmte Verteilung der Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Al-Basissschicht des Überzuges entsteht, die zu der beschriebenen vorteilhaften Farbveränderung beim anschließenden Umformprozess führt. Grundsätzlich neigen die Alkali- oder Erdalkalimetalle dazu, sich oberflächennah zu konzentrieren. Während die Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Schmelze also noch gleich verteilt sind, diffundieren die Alkali- oder Erdalkalimetalle im Überzug zur Oberfläche hin. Dies ist möglich, solange ausreichend thermische Energie für Diffusionsvorgänge zur Verfügung steht. Bei einer zu langsamen Abkühlrate zwischen Beginn und Ende der Verfestigung ist der Großteil der Alkali- oder Erdalkalimetalle bereits zur Oberfläche diffundiert. Beim späteren Glühen für den Umformprozess findet daher keine signifikante Diffusion der Alkali- oder Erdalkalimetalle zur Oberfläche mehr statt. Daher tritt in einem solchen Fall auch keine signifikante Farbveränderung der Oberfläche auf. Die Diffusion muss also nach der Beschichtungsbehandlung so schnell beendet werden, dass beim späteren Glühen für den Umformprozess noch ausreichend Diffusionsvorgänge stattfinden können, die die Farbveränderung verursachen. Dies wird durch eine mittlere Abkühlrate zwischen 660°C und 570°C, das heißt zwischen dem Beginn der Verfestigung und dem Ende der Verfestigung, erreicht, die mindestens 15 K/s beträgt. Die Diffusion darf aber auch nicht zu schnell beendet werden. Ein gewisser Anteil der Alkali- oder Erdalkalimetalle muss bereits an der Oberfläche aufkonzentriert sein. Die Beigabe der Alkali- oder Erdalkalimetalle hat ja den Zweck, dass sich beim späteren Glühprozess vor der Umformung an der Oberfläche des Überzuges Oxide der Alkali- oder Erdalkalimetalle anstelle von Aluminiumoxiden bilden. Dies hat den Vorteil, dass dabei weniger freier Wasserstoff entsteht als bei der Bildung von Al_2O_3 . (Der bei der Oxidation gebundene Sauerstoff entstammt in der Regel Wassermolekülen aus der Atmosphäre, so dass bei der Oxidation zwangsläufig der verbleibende Wasserstoff frei wird). Der freie Wasserstoff diffundiert in das Stahlsubstrat und führt dort zu unerwünschter Wasserstoffversprödung. Die Beigabe von Alkali- oder Erdalkalimetallen führt zur Reduzierung des freien Wasserstoffs und damit zur Reduzierung der Wasserstoffversprödung. Diesen Effekt können

die Alkali- oder Erdalkalimetalle jedoch nur bewirken, wenn sie sich während des Glühprozesses vor dem Umformen nahe der Oberfläche des Substrates befinden. Daher ist es vorteilhaft, wenn ein gewisser Anteil der Alkali- oder Erdalkalimetalle bereits während des Erstarrens an die Oberfläche diffundiert ist. Dann steht nämlich sofort ab Beginn des Glühprozesses vor dem Umformen ein ausreichender Anteil von Alkali- oder Erdalkalimetallen für den beschriebenen Oxidationsvorgang zur Verfügung. Daher ist es vorteilhaft, wenn die Abkühlrate maximal 100 K/s, bevorzugt maximal 50 K/s beträgt. Hierdurch wird sichergestellt, dass ein ausreichender Anteil der Alkali- oder Erdalkalimetalle an die Oberfläche des Überzuges diffundiert ist. Durch diese gezielte Wahl des Abkühlvorgangs wird eine Verteilung der Alkali- oder Erdalkalimetalle im Überzug (speziell in der Al-Basischicht des Überzuges) erreicht, die einerseits ausreichend oberflächennahe Alkali- oder Erdalkalimetalle aufweist, um den freien Wasserstoff sofort ab Beginn der späteren Glühung zu reduzieren und andererseits immer noch genügend Diffusion zu ermöglichen, die zu der erfindungsgemäßen Farbveränderung führt.

[0029] Das beschichtete Stahlflachprodukt kann optional einem Dressieren mit einem Dressiergrad von bis zu 2% unterzogen werden, um die Oberflächenrauheit des Stahlflachprodukts zu verbessern.

[0030] Der verwendete Stahl beim Stahlflachprodukt und beim Verfahren zum Herstellen eines Stahlflachproduktes ist ein Stahl der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist. Entsprechendes gilt selbstverständlich auch für den Stahl des warmumgeformten Blechformteils. Insbesondere ist das Gefüge des Stahls durch ein Warmumformen in ein martensitisches oder teilweise martensitisches Gefüge umwandelbar. Das Gefüge des Stahlsubstrates des Blechformteils ist also bevorzugt ein martensitisches oder zumindest teilweise martensitisches Gefüge, da dieses eine besonders hohe Härte aufweist.

[0031] Besonders bevorzugt besteht der Stahl bevorzugt neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) aus:

C:	0,04 - 0,45 Gew.-%
Si:	0,02 - 1,2 Gew.-%
Mn:	0,5 - 2,6 Gew.-%
Al:	0,02 - 1,0 Gew.-%
P:	≤ 0,05 Gew.-%
S:	≤ 0,02 Gew.-%
N:	≤ 0,02 Gew.-%
Sn:	≤ 0,03 Gew.-%
As:	≤ 0,01 Gew.-%
Ca:	≤ 0,005 Gew.-%

sowie optional einem oder mehreren der Elemente "Cr, B, Mo, Ni, Cu, Nb, Ti, V" in folgenden Gehalten:

Cr:	0,08 - 1,0 Gew.-%
B:	0,001 - 0,005 Gew.-%
Mo:	≤ 0,5 Gew.-%
Ni:	≤ 0,5 Gew.-%
Cu:	≤ 0,2 Gew.-%
Nb:	0,02 - 0,08 Gew.-%,
Ti:	0,01 - 0,08 Gew.-%
V:	≤ 0,2 Gew.-%

[0032] Bei den Elementen P, S, N, Sn, As, Ca handelt es sich um Verunreinigungen, die bei der Stahlerzeugung nicht vollständig vermieden werden können. Neben diesen Elementen können auch noch weitere Elemente als Verunreinigungen im Stahl vorhanden sein. Diese weiteren Elemente werden unter den "unvermeidbaren Verunreinigungen" zusammengefasst. Bevorzugt beträgt der Gehalt an unvermeidbaren Verunreinigungen in Summe maximal 0,2 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,1 Gew.-%. Die optionalen Legierungselemente Cr, B, Nb, Ti, für die eine Untergrenze angegeben ist, können auch in Gehalten unterhalb der jeweiligen Untergrenze als unvermeidbare Verunreinigungen im Stahlsubstrat vorkommen. In dem Fall werden sie ebenfalls zu den unvermeidbaren Verunreinigungen gezählt, deren Gesamtgehalt auf maximal 0,2 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,1 Gew.-% begrenzt ist. Bevorzugt sind die individuellen Obergrenzen für die jeweilige Verunreinigung dieser Elemente wie folgt:

Cr:	≤ 0,050 Gew.-%,
-----	-----------------

(fortgesetzt)

B:	$\leq 0,0005$ Gew.-%
Nb:	$\leq 0,005$ Gew.-%,
Ti:	$\leq 0,005$ Gew.-%

5

[0033] Dabei sind diese bevorzugten Obergrenzen als alternativ oder gemeinsam zu betrachten. Bevorzugte Varianten des Stahls erfüllen also eine oder mehrere dieser vier Bedingungen.

10 **[0034]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform beträgt der C-Gehalt des Stahls maximal 0,37 Gew.-% und/oder mindestens 0,06 Gew.-%. Bei besonders bevorzugten Ausführungsvarianten liegt der C-Gehalt im Bereich von 0,06-0,09 Gew.-% oder im Bereich von 0,12-0,25 Gew.-% oder im Bereich von 0,33-0,37 Gew.-%.

[0035] Bei einer bevorzugten Ausführungsform beträgt der Si-Gehalt des Stahls maximal 1,00 Gew.-% und/oder mindestens 0,06 Gew.-%.

15 **[0036]** Der Mn-Gehalt des Stahls beträgt bei einer bevorzugten Variante maximal 2,4 Gew.-% und/oder mindestens 0,75 Gew.-%. Bei besonders bevorzugten Ausführungsvarianten liegt der Mn-Gehalt im Bereich von 0,75-0,85 Gew.-% oder im Bereich von 1,0-1,6 Gew.-%.

[0037] Der Al-Gehalt des Stahls beträgt bei einer bevorzugten Variante maximal 0,75 Gew.-%, insbesondere maximal 0,5 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,25 Gew.-%. Alternativ oder ergänzend beträgt der Al-Gehalt bevorzugt mindestens 0,02%.

20 **[0038]** Zudem hat sich gezeigt, dass es hilfreich sein kann, wenn die Summe der Gehalte von Silizium und Aluminium begrenzt sind. Bei einer bevorzugten Variante beträgt daher die Summe der Gehalte von Si und Al (üblicherweise bezeichnet als Si+Al) maximal 1,5 Gew.-%, bevorzugt maximal 1,2 Gew.-%. Ergänzend oder alternativ beträgt die Summe der Gehalte von Si und Al mindestens 0,06 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,08 Gew.-%.

25 **[0039]** Bei den Elementen P, S, N handelt es sich um typische Verunreinigungen die bei der Stahlerzeugung nicht vollständig vermieden werden können. Bei bevorzugten Varianten beträgt der P-Gehalt maximal 0,03 Gew.-%. Unabhängig davon beträgt der S-Gehalt bevorzugt maximal 0,012%. Zusätzlich oder ergänzend beträgt der N-Gehalt bevorzugt maximal 0,009 Gew.-%.

[0040] Optional enthält der Stahl zudem Chrom mit einem Gehalt von 0,08-1,0 Gew.-%. Bevorzugt beträgt der Cr-Gehalt maximal 0,75 Gew.-%, insbesondere maximal 0,5 Gew.-%.

30 **[0041]** Im Falle einer optionalen Zulegierung von Chrom ist bevorzugt die Summe der Gehalte von Chrom und Mangan begrenzt. Die Summe beträgt maximal 3,3 Gew.-%, insbesondere maximal 3,15 Gew.-%. Weiterhin beträgt die Summe mindestens 0,5 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,75 Gew.-%.

[0042] Bevorzugt enthält der Stahl optional zudem Bor mit einem Gehalt von 0,001-0,005 Gew.-%. Insbesondere beträgt der B-Gehalt maximal 0,004 Gew.-%.

35 **[0043]** Optional kann der Stahl Molybdän mit einem Gehalt von maximal 0,5 Gew.-% enthalten, insbesondere maximal 0,1 Gew.-%.

[0044] Weiterhin kann der Stahl optional Nickel enthalten mit einem Gehalt von maximal 0,5 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,15 Gew.-%.

40 **[0045]** Optional kann der Stahl zudem Kupfer enthalten mit einem Gehalt von maximal 0,2 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,15 Gew.-%.

[0046] Zudem kann der Stahl optional eines oder mehrere der Mikrolegierungselemente Nb, Ti und V enthalten. Dabei beträgt der optionale Nb-Gehalt mindestens 0,02 Gew.-% und maximal 0,08 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,04 Gew.-%. Der optionale Ti-Gehalt beträgt mindestens 0,01 Gew.-% und maximal 0,08 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,04 Gew.-%. Der optionale V-Gehalt beträgt maximal 0,2 Gew.-%, insbesondere maximal 0,1 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,05 Gew.-%.

45 **[0047]** Im Falle einer optionalen Zulegierung von mehreren der Elemente Nb, Ti und V ist bevorzugt die Summe der Gehalte von Nb, Ti und V begrenzt. Die Summe beträgt maximal 0,1 Gew.-%, insbesondere maximal 0,068 Gew.-%. Weiterhin beträgt die Summe bevorzugt mindestens 0,015 Gew.-%.

50 **[0048]** Die vorstehenden Erläuterungen zu bevorzugten Stahlsubstraten gelten selbstverständlich ebenso für das Stahlsubstrat des Stahlflachproduktes sowie für die Stahlsubstrate in den beschriebenen Herstellungsverfahren und auch für das nachfolgend beschriebene Verfahren zum Überprüfen eines Blechformteils.

[0049] Das erfindungsgemäße Stahlflachprodukt umfasst einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Überzugs auf Aluminium-Basis, wobei der Überzug eine Al-Basissschicht aufweist, die aus 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium besteht.

55 **[0050]** Ein solcher Überzug dient dazu das Stahlsubstrat beim Warmumformen und bei der Verwendung des erzeugten Stahlbauteils vor Oxidation und Korrosion zu schützen. Daher wird der Überzug auch als synonym als Korrosionsschutz-

überzug bezeichnet.

[0051] Dabei kann der Korrosionsschutzüberzug einseitig oder beidseitig auf dem Stahlflachprodukt aufgebracht sein. Als die beiden Seiten des Stahlflachproduktes werden die beiden sich gegenüberliegenden großen Flächen des Stahlflachproduktes bezeichnet. Die schmalen Flächen werden als Kanten bezeichnet.

[0052] Ein solcher Korrosionsschutzüberzug wird bevorzugt durch Schmelztauchbeschichten des Stahlflachproduktes erzeugt. Dabei wird das Stahlflachprodukt durch eine flüssige Schmelze geführt, die aus 0,1-15 Gew.-% Si, bevorzugt mehr als 1,0 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1 bis zu 5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, bevorzugt bis zu 1,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium besteht.

[0053] Bei einer bevorzugten Variante beträgt der Si-Gehalt der Schmelze 1,0-3,5 Gew.-% oder 7-12 Gew.-%, insbesondere 8-10 Gew.-%.

[0054] Bei einer bevorzugten Variante umfasst der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Schmelze 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg. Weiterhin kann der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Schmelze insbesondere mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,01 Gew.-% Ca, umfassen.

[0055] Bei einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen aus 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg.

[0056] Bei einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen aus 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg und mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,01 Gew.-% Ca.

[0057] Beim Schmelztauchbeschichten diffundiert Eisen aus dem Stahlsubstrat in den flüssigen Überzug, so dass der Korrosionsschutzüberzug des Stahlflachproduktes beim Erstarren insbesondere eine Legierungsschicht und eine Al-Basissschicht aufweist. Die Legierungsschicht liegt auf dem Stahlsubstrat auf und grenzt unmittelbar an dieses an. Die Legierungsschicht wird im Wesentlichen aus Aluminium und Eisen gebildet. Die übrigen Elemente aus dem Stahlsubstrat oder der Schmelzenzusammensetzung reichern sich nicht signifikant in der Legierungsschicht an. Bevorzugt besteht die Legierungsschicht aus 35-60 Gew.-% Fe, bevorzugt α -Eisen, optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 5,0 Gew.-%, bevorzugt 2,0% beschränkt sind, und als Rest Aluminium, wobei der Al-Gehalt bevorzugt in Richtung Oberfläche ansteigt. Die optionalen weiteren Bestandteile beinhalten insbesondere die übrigen Bestandteile der Schmelze (das heißt Silizium und gegebenenfalls Alkali- oder Erdalkalimetalle, insbesondere Mg bzw. Ca) und die übrigen Anteile des Stahlsubstrates zusätzlich zu Eisen.

[0058] Die Al-Basissschicht liegt auf der Legierungsschicht und grenzt unmittelbar an diese an. Bevorzugt entspricht die Zusammensetzung der Al-Basissschicht der Zusammensetzung der Schmelze des Schmelzbades. Das heißt, sie besteht aus 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, bevorzugt bis zu 1,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium. Bevorzugte Zusammensetzungen der Al-Basissschicht entsprechen den bevorzugten Schmelzenzusammensetzungen.

[0059] Bei einer bevorzugten Variante der Al-Basissschicht umfasst der optionale Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg. Weiterhin kann der optionale Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Al-Basissschicht insbesondere mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,1 Gew.-% Ca, umfassen.

[0060] Bei einer weiter bevorzugten Variante des Korrosionsschutzüberzuges ist der Si-Gehalt in der Legierungsschicht geringer als der Si-Gehalt in der Al-Basissschicht.

[0061] Der Korrosionsschutzüberzug hat bevorzugt eine Dicke von 5-60 μm , insbesondere von 10-40 μm . Das Aufschlagengewicht des Korrosionsschutzüberzuges beträgt insbesondere 30-360g/m² bei beidseitigen Korrosionsschutzüberzügen bzw. 15-180 g/m² bei der einseitigen Variante. Bevorzugt beträgt das Aufschlagengewicht des Korrosionsschutzüberzuges 100-200g/m² bei beidseitigen Überzügen bzw. 50-100g/m² für einseitige Überzüge. Besonders bevorzugt beträgt das Aufschlagengewicht des Korrosionsschutzüberzuges 120-180g/m² bei beidseitigen Überzügen bzw. 60-90g/m² für einseitige Überzüge.

[0062] Die Dicke der Legierungsschicht ist bevorzugt kleiner als 20 μm , besonders bevorzugt kleiner 16 μm , besonders bevorzugt kleiner 12 μm , insbesondere kleiner 10 μm . Die Dicke der Al-Basissschicht ergibt sich aus der Differenz der Dicken von Korrosionsschutzüberzug und Legierungsschicht. Bevorzugt beträgt die Dicke der Al-Basissschicht auch bei dünnen Korrosionsschutzüberzügen mindestens 1 μm .

[0063] Bei einer bevorzugten Variante umfasst das Stahlflachprodukt eine auf dem Korrosionsschutzüberzug angeordnete Oxidschicht. Die Oxidschicht liegt dabei insbesondere auf der Al-Basissschicht und bildet bevorzugt den äußeren Abschluss des Korrosionsschutzüberzuges.

[0064] Die Oxidschicht besteht insbesondere zu mehr als 80 Gew.-% aus Oxiden, wobei der Hauptanteil der Oxide (d.h. mehr als 50 Gew.-% der Oxide) Aluminiumoxid ist. Insbesondere sind in der Oxidschicht zusätzlich zu Aluminiumoxid Hydroxide und/oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden. Bevorzugt besteht der nicht von den Oxiden

und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Silizium, Aluminium, Eisen und/oder Magnesium in metallischer Form.

[0065] Bevorzugt hat die Oxidschicht des Stahlflachproduktes eine Dicke, die größer ist als 50nm. Insbesondere beträgt die Dicke der Oxidschicht maximal 500nm.

5 **[0066]** Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Blechformteils, umfassend folgende Arbeitsschritte:

a. Bereitstellen eines Blechzuschnitts aus einem zuvor beschriebenen Stahlflachprodukt;

10 b. Erwärmen des Blechzuschnitts derart, dass zumindest teilweise die AC3 Temperatur des Zuschnitts überschritten ist und die Temperatur T_{Einlg} des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von $Ms+100^{\circ}\text{C}$ aufweist, wobei Ms die der Martensitstarttemperatur bezeichnet;

15 c. Einlegen des erwärmten Blechzuschnitts in ein Umformwerkzeug, wobei die für das Entnehmen aus der Erwärmungseinrichtung und das Einlegen des Zuschnitts benötigte Transferdauer t_{Trans} höchstens 20s, bevorzugt höchstens 15s, beträgt;

20 d. Warmpressformen des Blechzuschnitts zu dem Blechformteil, wobei der Zuschnitt im Zuge des Warmpressformens über eine Dauer t_{WZ} von mehr als 1s mit einer zumindest teilweise mehr als 30 K/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit r_{WZ} auf die Zieltemperatur T_{Ziel} abgekühlt und optional dort gehalten wird;

e. Entnehmen des auf die Zieltemperatur T_{Ziel} abgekühlten Blechformteils aus dem Werkzeug;

25 f. Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur

[0067] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird somit ein Zuschnitt, der aus einem entsprechend den voranstehenden Erläuterungen in geeigneter Weise zusammengesetzten Stahl besteht, bereitgestellt (Arbeitsschritt a)), der dann in an sich bekannter Weise so erwärmt wird, dass zumindest teilweise die AC3 Temperatur des Zuschnitts überschritten ist und die Temperatur T_{Einlg} des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von $Ms+100^{\circ}\text{C}$ beträgt. Unter teilweisem Überschreiten einer Temperatur (hier AC3 bzw. $Ms+100^{\circ}\text{C}$) wird im Sinne dieser Anmeldung verstanden, dass mindestens 30%, insbesondere mindestens 60%, des Volumens des Zuschnitts eine entsprechende Temperatur überschreiten. Beim Einlegen in das Umformwerkzeug weist also mindestens 30% des Zuschnitts ein austenitisches Gefüge auf, d.h. die Umwandlung vom ferritischen ins austenitische Gefüge muss beim Einlegen in das Umformwerkzeug noch nicht abgeschlossen sein. Vielmehr können bis zu 70% des Volumens des Zuschnitts beim Einlegen in das Umformwerkzeug aus anderen Gefügebestandteilen, wie angelassenem Bainit, angelassenem Martensit und/oder nicht bzw. teilweise rekristallisiertem Ferrit bestehen. Zu diesem Zweck können bestimmte Bereiche des Zuschnitts während der Erwärmung gezielt auf einem niedrigeren Temperaturniveau gehalten werden als andere. Hierzu kann die Wärmezufuhr gezielt nur auf bestimmte Abschnitte des Zuschnitts gerichtet werden oder die Teile, die weniger erwärmt werden sollen, gegen die Wärmezufuhr abgeschirmt werden. In dem Teil des Zuschnittsmaterials, dessen Temperatur niedriger bleibt, entsteht im Zuge der Umformung im Werkzeug kein oder nur deutlich weniger Martensit, so dass das Gefüge dort deutlich weicher ist als in den jeweils anderen Teilen, in denen ein martensitisches Gefüge vorliegt. Auf diese Weise kann im jeweils geformten Blechformteil gezielt ein weicherer Bereich eingestellt werden, indem beispielsweise eine für den jeweiligen Verwendungszweck optimale Zähigkeit vorliegt, während die anderen Bereiche des Blechformteils eine maximierte Festigkeit besitzen.

[0068] Maximale Festigkeitseigenschaften des erhaltenen Blechformteils können dadurch ermöglicht werden, dass die zumindest teilweise im Blechzuschnitt erreichte Temperatur zwischen $Ac3$ und 1000°C , bevorzugt zwischen 850°C und 950°C liegt.

50 **[0069]** Dabei ist die zu überschreitende Mindesttemperatur $Ac3$ gemäß der von HOUARDY, HP. in "Werkstoffkunde Stahl Band 1: Grundlagen", Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 1984, p. 229., angegebenen Formel

$$Ac3 = (902 - 225 \cdot \%C + 19 \cdot \%Si - 11 \cdot \%Mn - 5 \cdot \%Cr + 13 \cdot \%Mo - 20 \cdot \%Ni + 55 \cdot \%V) ^{\circ}\text{C}$$

55 mit $\%C$ = jeweiliger C-Gehalt, $\%Si$ = jeweiliger Si-Gehalt, $\%Mn$ = jeweiliger Mn-Gehalt, $\%Cr$ = jeweiliger Cr-Gehalt, $\%Mo$ = jeweiliger Mo-Gehalt, $\%Ni$ = jeweiliger Ni-Gehalt und $\%V$ = jeweiliger V-Gehalt des Stahls, aus dem der Zuschnitt besteht, bestimmt.

[0070] Eine optimal gleichmäßige Eigenschaftsverteilung lässt sich dadurch erreichen, dass der Zuschnitt im Arbeitsschritt b) vollständig durcherwärmt wird.

[0071] Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante beträgt die mittlere Aufheizgeschwindigkeit r_{Ofen} des Blechzuschnittes beim Erwärmen in Schritt b) mindestens 3 K/s, bevorzugt mindestens 5 K/s, insbesondere mindestens 10 K/s, bevorzugt mindestens 15 K/s. Die mittlere Aufheizgeschwindigkeit r_{Ofen} ist dabei als mittlere Aufheizgeschwindigkeit von 30°C auf 700°C zu verstehen.

[0072] Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante erfolgt die Erwärmung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur T_{Ofen} von mindestens 850°C, bevorzugt mindestens 880°C, besonders bevorzugt mindestens 900°C, insbesondere mindestens 920°C, und maximal 1000°C, bevorzugt maximal 950°C, besonders bevorzugt maximal 930°C.

[0073] Bevorzugt beträgt der Taupunkt im Ofen hierbei mindestens -20°C, bevorzugt mindestens -15°C, insbesondere mindestens -5°C, besonders bevorzugt mindestens 0°C, insbesondere mindestens 5°C und maximal +25 °C, bevorzugt maximal +20 °C insbesondere maximal +15 °C.

[0074] Bei einer speziellen Ausführungsvariante erfolgt die Erwärmung in Schritt b) stufenweise in Bereichen mit unterschiedlicher Temperatur. Insbesondere erfolgt die Erwärmung in einem Rollenherdofen mit unterschiedlichen Heizzonen. Hierbei erfolgt die Erwärmung in einer ersten Heizzone mit einer Temperatur (sogenannte Ofeneinlauftemperatur) von mindestens 650°C, bevorzugt mindestens 680°C, insbesondere mindestens 720°C. Maximal beträgt die Temperatur in der ersten Heizzone bevorzugt 900°C, insbesondere maximal 850°C. Weiterhin bevorzugt beträgt die maximale Temperatur aller Heizzonen im Ofen maximal 1200°C, insbesondere maximal 1000°C, bevorzugt maximal 950°C, besonders bevorzugt maximal 930°C.

[0075] Die Gesamtzeit im Ofen t_{Ofen} , die sich aus einer Erwärmungszeit und einer Haltezeit zusammensetzt, beträgt bei beiden Varianten (konstante Ofentemperatur, stufenweise Erwärmung) bevorzugt mindestens 2 Minuten, insbesondere mindestens 3 Minuten, bevorzugt mindestens 4 Minuten. Weiterhin beträgt die Gesamtzeit im Ofen bei beiden Varianten bevorzugt maximal 20 Minuten, insbesondere maximal 15 Minuten, bevorzugt maximal 12 Minuten, insbesondere maximal 8 Minuten. Längere Gesamtzeiten im Ofen haben den Vorteil, dass eine gleichmäßige Austenitisierung des Blechzuschnittes sichergestellt ist. Andererseits führt ein zu langes Halten oberhalb von Ac3 zu einer Kornvergrößerung, die sich negativ auf die mechanischen Eigenschaften auswirkt.

[0076] Der so erwärmte Zuschnitt wird aus der jeweiligen Erwärmungseinrichtung, bei der es sich beispielsweise um einen konventionellen Erwärmungs-Ofen, eine ebenso an sich bekannte Induktionserwärmungseinrichtung oder eine konventionelle Einrichtung zum Warmhalten von Stahlbauteilen handeln kann, entnommen und so schnell in das Umformwerkzeug transportiert, dass seine Temperatur beim Eintreffen in dem Werkzeug zumindest teilweise oberhalb von $M_s + 100^\circ\text{C}$ liegt, bevorzugt oberhalb von 600°C, insbesondere oberhalb von 650°C, besonders bevorzugt oberhalb von 700°C. Hierbei bezeichnet M_s die Martensitstarttemperatur. Bei einer besonders bevorzugten Variante liegt die Temperatur zumindest teilweise oberhalb der AC1-Temperatur. Bei allen diesen Varianten beträgt die Temperatur insbesondere maximal 900°C. Durch diese Temperaturbereiche wird insgesamt eine gute Umformbarkeit des Materials gewährleistet.

[0077] Im Arbeitsschritt c) wird der Transfer des austenitisierten Zuschnitts von der jeweils zum Einsatz kommenden Erwärmungseinrichtung zum Umformwerkzeug innerhalb von vorzugsweise höchstens 20s, insbesondere von maximal 15s absolviert. Ein derart schneller Transport ist erforderlich, um eine zu starke Abkühlung vor der Verformung zu vermeiden.

[0078] Das Werkzeug besitzt beim Einlegen des Zuschnitts typischerweise eine Temperatur zwischen Raumtemperatur (RT) und 200°C, bevorzugt zwischen 20°C und 180°C, insbesondere zwischen 50°C und 150°C. Optional kann das Werkzeug in einer besonderen Ausführungsform zumindest bereichsweise auf eine Temperatur T_{WZ} von mindestens 200°C, insbesondere mindestens 300°C temperiert sein, um das Bauteil nur partiell zu härten. Weiterhin beträgt die Werkzeugtemperatur T_{WZ} bevorzugt maximal 600°C, insbesondere maximal 550°C. Es ist lediglich sicherzustellen, dass die Werkzeugtemperatur T_{WZ} unterhalb der gewünschten Zieltemperatur T_{Ziel} liegt. Die Verweilzeit im Werkzeug t_{WZ} beträgt bevorzugt mindestens 2s, insbesondere mindestens 3s, besonders bevorzugt mindestens 5s. Maximal beträgt die Verweilzeit im Werkzeug bevorzugt 25s, insbesondere maximal 20s.

[0079] Die Zieltemperatur T_{Ziel} des Blechformteils liegt zumindest teilweise unterhalb 400°C, bevorzugt unterhalb 300°C, insbesondere unterhalb von 250°C, bevorzugt unterhalb von 200°C, besonders bevorzugt unterhalb von 180°C, insbesondere unterhalb von 150°C. Alternativ liegt die Zieltemperatur T_{Ziel} des Blechformteils besonders bevorzugt unter $M_s - 50^\circ\text{C}$, wobei M_s die Martensitstarttemperatur bezeichnet. Weiterhin beträgt die Zieltemperatur des Blechformteils bevorzugt mindestens 20°C, besonders bevorzugt mindestens 50°C.

[0080] Die Martensitstarttemperatur eines im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgaben liegenden Stahls ist gemäß der Formel

$$M_s [^{\circ}\text{C}] = (490,85 - 302,6 \% \text{C} - 30,6 \% \text{Mn} - 16,6 \% \text{Ni} - 8,9 \% \text{Cr} + 2,4 \% \text{Mo} - 11,3 \% \text{Cu} + 8,58 \% \text{Co} + 7,4 \% \text{W} - 14,5 \% \text{Si}) [^{\circ}\text{C}/\text{Gew.}\%]$$

zu berechnen, wobei hier mit C% der C-Gehalt, mit %Mn der Mn-Gehalt, mit %Mo der Mo-Gehalt, mit %Cr der Cr-Gehalt, mit %Ni der Ni-Gehalt, mit %Cu der Cu-Gehalt, mit %Co der Co-Gehalt, mit %W der W-Gehalt und mit %Si der Si-Gehalt des jeweiligen Stahls in Gew.-% bezeichnet sind.

[0081] Die AC1-Temperatur und die AC3-Temperatur eines im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgaben liegenden Stahls ist gemäß den Formeln

$$AC1 [^{\circ}\text{C}] = (739 - 22 \% \text{C} - 7 \% \text{Mn} + 2 \% \text{Si} + 14 \% \text{Cr} + 13 \% \text{Mo} - 13 \% \text{Ni} + 20 \% \text{V}) [^{\circ}\text{C}/\text{Gew.}\%]$$

und

$$AC3 [^{\circ}\text{C}] = (902 - 225 \% \text{C} + 19 \% \text{Si} - 11 \% \text{Mn} - 5 \% \text{Cr} + 13 \% \text{Mo} - 20 \% \text{Ni} + 55 \% \text{V}) [^{\circ}\text{C}/\text{Gew.}\%]$$

zu berechnen, wobei auch hiermit mit %C der C-Gehalt, mit %Si der Si-Gehalt mit %Mn der Mn-Gehalt mit %Cr der Cr-Gehalt, mit %Mo der Mo-Gehalt, mit %Ni der Ni-Gehalt und mit +%V der Vanadium-Gehalt des jeweiligen Stahls bezeichnet sind (Brandis H 1975 TEW-Techn. Ber. 1 8-10)

[0082] Im Werkzeug wird der Zuschnitt somit nicht nur zu dem Blechformteil geformt, sondern gleichzeitig auch auf die Zieltemperatur abgeschreckt. Die Abkühlrate im Werkzeuge r_{WZ} auf die Zieltemperatur beträgt insbesondere mindestens 20 K/s, bevorzugt mindestens 30 K/s, insbesondere mindestens 50 K/s, in besonderer Ausführung mindestens 100 K/s.

[0083] In Schritt f) nach dem Entnehmen des Blechformteils in Schritt e) erfolgt ein Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur innerhalb einer Abkühldauer t_{AB} von 0,5-600s. Dies geschieht im Regelfall durch eine Luftabkühlung.

[0084] Während der Erwärmung des Stahlflachproduktes vor der Warmumformung erfolgt eine weitere Diffusion von Eisen in den Korrosionsschutzüberzug. So stellt sich schon innerhalb kurzer Erwärmungsdauer ein mit Eisen durchlegierter Korrosionsschutzüberzug ein, der einen Fe-Gehalt von mindestens 35 Gew.-% aufweist. Zudem ergibt sich bevorzugt ein spezieller Aufbau des Korrosionsschutzüberzuges des Blechformteils, der im Folgenden beschrieben ist: Bei einer speziellen Ausführungsform umfasst das Blechformteil bevorzugt einen Korrosionsschutzüberzug auf Aluminium-Basis. Bevorzugt umfasst der Korrosionsschutzüberzug des Blechformteils eine Legierungsschicht und eine Al-Basissschicht.

[0085] Bevorzugt umfasst der Korrosionsschutzüberzug des Stahlbauteils eine Legierungsschicht und eine Al-Basissschicht.

[0086] Die Legierungsschicht liegt dabei auf dem Stahlsubstrat auf und grenzt unmittelbar an dieses an. Bevorzugt besteht die Legierungsschicht des Blechformteils aus 35-90 Gew.-% Fe, 0,1-12 Gew.-% Si, optional bis zu 0,5 Gew.-% Mg und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium. Durch das weitere Eindiffundieren von Eisen in die Legierungsschicht sind die Anteile von Si und Mg entsprechend niedriger als ihr jeweiliger Anteil in der Schmelze des Schmelzbades.

[0087] Die Legierungsschicht hat bevorzugt ein ferritisches Gefüge.

[0088] Die Al-Basissschicht des Blechformteils liegt auf der Legierungsschicht des Stahlbauteils und grenzt unmittelbar an diese an. Bevorzugt besteht die Al-Basissschicht des Stahlbauteils aus 35-55 Gew.-% Fe, 0,4-10 Gew.-% Si, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium.

[0089] Bei einer bevorzugten Variante umfasst der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg. Weiterhin kann der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen in der Schmelze insbesondere mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,01 Gew.-% Ca, umfassen.

[0090] Bei einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen aus 0,1-1,0 Gew.-% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg.

[0091] Bei einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Gehalt an Alkali- oder Erdalkalimetallen aus 0,1-1,0 Gew.-%

% Mg, insbesondere 0,1-0,7 Gew.-% Mg, bevorzugt 0,1-0,5 Gew.-% Mg und mindestens 0,0015 Gew.-% Ca, insbesondere mindestens 0,01 Gew.-% Ca.

[0092] Die Al-Basissschicht kann eine homogene Siliziumverteilung aufweisen, bei der die lokalen Siliziumgehalte um nicht mehr als 10% variieren. Bevorzugte Varianten der Al-Basissschicht weisen dagegen siliziumarme Phasen und siliziumreiche Phasen auf. Siliziumarme Phasen sind dabei Gebiete, deren mittlerer Si-Gehalt mindestens 20% weniger beträgt als der mittlere Si-Gehalt der Al-Basissschicht. Siliziumreiche Phasen sind dabei Gebiete, deren mittlerer Si-Gehalt mindestens 20% mehr beträgt als der mittlere Si-Gehalt der Al-Basissschicht.

[0093] Bei einer bevorzugten Variante sind die siliziumreichen Phasen innerhalb der siliziumarmen Phase angeordnet. Insbesondere bilden die siliziumreichen Phasen mindestens eine 40% durchgehende Schicht, die von siliziumarmen Gebieten begrenzt ist. Bei einer alternativen Ausführungsvariante sind die siliziumreichen Phasen inselförmig in der siliziumarmen Phase angeordnet.

[0094] Unter "inselförmig" wird im Sinne dieser Anmeldung eine Anordnung verstanden, bei der diskrete unzusammenhängende Bereiche von einem anderen Material umschlossen werden - es sich also "Inseln" eines bestimmten Materials in einem anderen Material befinden.

[0095] Bei einer bevorzugten Variante umfasst das Stahlbauteil eine auf dem Korrosionsschutzüberzug angeordnete Oxidschicht. Die Oxidschicht liegt dabei insbesondere auf der Al-Basissschicht und bildet bevorzugt den äußeren Abschluss des Korrosionsschutzüberzuges.

[0096] Die Oxidschicht des Stahlbauteils besteht insbesondere zu mehr als 80 Gew.-% aus Oxiden, wobei der Hauptanteil der Oxide (d.h. mehr als 50 Gew.-% der Oxide) Aluminiumoxid ist. Optional sind in der Oxidschicht zusätzlich zu Aluminiumoxid Hydroxide und/oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden. Bevorzugt besteht der nicht von den Oxiden und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Silizium, Aluminium, Eisen und/oder Magnesium in metallischer Form.

[0097] Die Oxidschicht hat bevorzugt eine Dicke von mindestens 50nm, insbesondere von mindestens 100nm. Weiterhin beträgt die Dicke bevorzugt maximal 4µm, insbesondere maximal 2µm.

[0098] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist das Überprüfen eines warmumgeformten Blechformteils mit einem Überzug auf Aluminium-Basis, insbesondere eines Blechformteils das wie vorstehend weitergebildet ist und/oder nach dem vorstehend erläuterten Verfahren erzeugt wurde. Dabei umfasst das Verfahren zum Überprüfen mindestens die folgenden Schritte:

1. Bestimmen eines Farbwertes oder mehrerer Farbwerte des Überzuges
2. Vergleichen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mit einem oder mehreren Referenzwerten
3. Aussortieren des Blechformteils auf Basis eines Ergebnisses des Vergleichs

[0099] Durch ein einfaches Verfahren, nämlich das Bestimmen eines oder mehrerer Farbwerte und den Vergleich mit entsprechenden Referenzwerten, kann automatisiert festgestellt werden, ob das Bauteil den gewünschten Erzeugungsprozess durchlaufen hat. Auf diese Weise kann bei einer Serienfertigung problemlos jedes Bauteil geprüft werden. Dies erhöht die Sicherheit, dass keine fehlerhaften Bauteile weiterverwendet werden. Bisherige Prüfungsverfahren erforderten eine chemische Analyse und/oder die Anfertigung eines metallographischen Schnittes. Solche Verfahren sind daher nicht zerstörungsfrei. Folglich konnten nur Stichproben der Bauteile geprüft werden. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist daher die Prüfung der gesamten Bauteil-Produktion möglich.

[0100] Bei einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens sind der eine oder die mehreren Referenzwerte ein oder mehrere Farbwerte eines abgekühlten Referenz-Blechformteils sind, das eine Glühung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900°C für eine Referenz-Glühdauer von 4 Minuten erfahren hat. Versuche haben gezeigt, dass eine Glühung bei 900°C für 4 Minuten in vielen Fällen ein Bauteil mit den gewünschten Eigenschaften liefert. Daher bietet es sich an, dies als Referenz-Prozess zu verwenden und die Farbwerte, die an einem solchen Referenz-Bauteil vorliegen als Referenzwerte zu verwenden.

[0101] Bei einer speziellen Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt das Bestimmen des mindestens einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mittels eines Photometers, insbesondere mittels eines Spektralphotometers erfolgt. Die Verwendung von Photometern hat sich als besonders sinnvoll erwiesen, da diese sehr zuverlässig funktionieren und problemlos in einen industriellen Serienprozess integriert werden können. Beispielsweise ist es ohne weiteres möglich mit einem Photometer viele Bauteile hintereinander mit kurzem zeitlichen Abstand zu vermessen.

[0102] Besonders bevorzugt umfasst das Bestimmen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte des Überzuges ein Bestimmen von mindestens drei Farbwerten in einem Farbraum. Insbesondere besteht das Bestimmen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte des Überzuges aus einem Bestimmen von mindestens drei Farbwerten in einem Farbraum. Bei den drei Farbwerten in einem Farbraum kann es sich beispielsweise um die Werte L*a*b im genormten CIE-Lab Farbraum handeln. Alternativ kann auch ein ausgesuchter RGB-Farbraum verwendet werden. Dann

handelt es sich bei den drei Farbwerten um die entsprechenden RGB-Werte. Bei den drei Farbwerten in einem Farbraum handelt es sich selbstverständlich um drei unabhängige Farbwerte, so dass durch die Angabe der drei Farbwerte die Farbe in diesem Farbraum eindeutig identifiziert werden kann. Durch die Aufnahme von mindestens drei Farbwerten in einem Farbraum kann die Farbveränderung besser charakterisiert werden, da mehr Informationen vorliegen und die Farbe in dem Farbraum eindeutig identifiziert werden kann.

[0103] Bei einer besonders bevorzugten Variante umfasst das Vergleichen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mit einem oder mehreren Referenzwerten die Berechnung einer Farbdynamik. Insbesondere handelt es sich bei den Farbwerten und den Referenzwerten um RGB-Werte und die Farbdynamik D wird als die Summe der Beträge der Differenzen der RGB-Werte und der RGB-Referenzwerte berechnet:

$$D = |R - R_{ref}| + |G - G_{ref}| + |B - B_{ref}|$$

[0104] Versuche haben gezeigt, dass eine solche Farbdynamik D besonders sensitiv auf die hier auftretenden Farbveränderungen ist. Daher eignet sich eine solche Farbdynamik gut, um das Blechformteil auf Basis der, im Rahmen des Vergleichs, berechneten Farbdynamik auszusortieren, beispielsweise wenn die Farbdynamik größer ist als 270.

[0105] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des zuvor erläuterten Verfahrens zum Herstellen eines Blechformteils schließt sich an die beschriebenen Verfahrensschritte a) - f), insbesondere unmittelbar, der Schritt g) an:

g. Überprüfen des abgekühlten Blechformteils mit dem erläuterten Verfahren zum Überprüfen eines Blechformteils

[0106] Die hergestellten Blechformteile werden also im Sinne einer Qualitätskontrolle abgeprüft, ob sie das gewünschte Herstellungsverfahren durchlaufen haben.

[0107] Zum Nachweis der Wirkung der Erfindung wurden mehrere Versuche durchgeführt. Dafür wurden Brammen mit den in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzungen mit einer Dicke von 240 mm und Breite von 1200 mm erzeugt, in einem Stoßofen auf eine Temperatur T1 von 1200°C aufgeheizt. Anschließend wurden die Brammen zwischen 30 und 450 min auf T1 gehalten, bis die Temperatur T1 im Kern der Brammen erreicht war und die Brammen somit durcherwärmt waren. Die Brammen wurden mit ihrer jeweiligen Durcherwärmungstemperatur T1 aus dem Stoßofen ausgetragen und einem Warmwalzen unterzogen. Die Versuche wurden als kontinuierliche Warmbandwalzung ausgeführt. Dazu wurden die Brammen zunächst zu einem Zwischenprodukt der Dicke 40 mm vorgewalzt, wobei die Zwischenprodukte, welche bei der Warmbandwalzung auch als Vorbänder bezeichnet werden können, am Ende der Vorwalzphase jeweils eine Zwischenprodukttemperatur T2 von 1100°C aufwiesen. Die Vorbänder wurden unmittelbar nach der Vorwalzung dem Fertigwalzen zugeführt, sodass die Zwischenprodukttemperatur T2 der Walzanfangstemperatur für die Fertigwalzphase entspricht. Die Vorbänder wurden zu Warmbänder mit einer Enddicke von 4 mm und einer Endwalztemperatur T3 von 890°C ausgewalzt, auf die jeweilige Haspeltemperatur abgekühlt und bei einer Haspeltemperatur T4 von 580°C zu Coils aufgewickelt und dann in ruhender Luft abgekühlt. Die Warmbänder wurden in konventioneller Weise mittels Beizen entzundert, bevor sie einem Kaltwalzen unterzogen wurden bis sich die in Tabelle 3 angegebene Dicke ergab. Die kaltgewalzten Stahlflachprodukte wurden in einem Durchlaufglühofen auf eine Glühtemperatur T5 von 870°C erwärmt und für jeweils 100s auf Glühtemperatur gehalten, bevor sie mit einer Abkühlrate von 1 K/s auf die Eintauchtemperatur T6 von 690°C abgekühlt wurden. Die Kaltbänder wurden mit ihrer jeweiligen Eintauchtemperatur T6 durch ein schmelzflüssiges Beschichtungsbad der Temperatur T7 von 676°C geführt. Die Bandgeschwindigkeit betrug dabei in allen Fällen 76 m/min. Die Zusammensetzung des Beschichtungsbaus ist in Tabelle 2 angegebenen. Nach dem Beschichten wurden die beschichteten Bänder abgeblasen, um die Auflagengewichte einzustellen. Hierfür wurde ein Luftstrom verwendet. Die Temperatur des Luftstroms betrug in allen Fällen 70°C. Die Dicke des Überzuges ist in Tabelle 3 angegeben. Die Bänder wurden zunächst mit einer mittleren Abkühlrate von 10-15 K/s auf 660°C abgekühlt. Zwischen 660°C und 570°C, d.h. zwischen dem Beginn der Verfestigung und dem Ende der Verfestigung des Überzuges, betrug die Abkühlrate 21 K/s. Im weiteren Abkühlverlauf zwischen 570°C und Raumtemperatur wurden die Bänder mit einer Abkühlrate von jeweils 5-12 K/s abgekühlt. Von den so erzeugten Stahlbändern sind jeweils Zuschnitte abgeteilt worden, die für die weiteren Versuche verwendet worden sind. Bei diesen Versuchen sind aus den jeweiligen Zuschnitten Blechformteil-Proben in Form von 200 x 300 mm² großen Platten warmpressgeformt worden. Dazu sind die Zuschnitte in einer Erwärmungseinrichtung, beispielsweise in einem konventionellen Erwärmungssofen, von Raumtemperatur mit einer mittleren Aufheizgeschwindigkeit r_{Ofen} (zwischen 30°C und 700°C) in einem Ofen mit einer Ofentemperatur T_{Ofen} von 900°C erwärmt worden. Die Glühdauer im Ofen, die ein Erwärmen und ein Halten umfasst, ist mit t_{Ofen} bezeichnet. Der Taupunkt der Ofenatmosphäre betrug in allen Fälle -5°C. Anschließend sind die Zuschnitte aus der Erwärmungseinrichtung entnommen und in ein Umformwerkzeug, welches die Temperatur T_{WZ} besitzt, eingelegt worden. Beim Zeitpunkt des Entnehmens aus dem Ofen hatten die Zuschnitte die Ofentemperatur angenommen. Die sich aus der für das Entnehmen aus der Erwärmungseinrichtung, den Transport zum Werkzeug und das Einlegen ins Werkzeug zusammensetzende Transferdauer t_{Trans} betrug 8s. Die Temperatur T_{Einlg} der Zuschnitte beim Einlegen in das Umformwerkzeug lag in allen Fällen oberhalb der jeweiligen Martensitstarttemperatur +100°C. Im Umformwerkzeug sind die Zuschnitte zum jeweiligen Blechformteil umgeformt worden, wobei die Blechformteile im

Werkzeug mit einer Abkühlgeschwindigkeit r_{WZ} auf eine Zieltemperatur T_{Ziel} abgekühlt wurden. Die Verweildauer im Werkzeug wird mit t_{WZ} bezeichnet. Abschließend sind die Proben an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt worden. In Tabelle 4 sind die genannten Parameter nochmals zusammengefasst, wobei "RT" die Raumtemperatur abkürzt.

[0108] Bei dem beschriebenen Prozess wurde zum einen die Beschichtung variiert. Es wurden die Blechtypen 1 und 2 verwendet, die sich nur durch den Beschichtungstyp α oder β unterschieden (siehe Tabelle 3). Zum anderen wurde die Glühdauer im Ofen zwischen 4 Minuten und 11 Minuten variiert. Für die so erzeugten Blechformteile wurden mittels eines Spektralphotometers und einer Lichtquelle mit der CIE-Normlichtart A und einem 10° Sichtfeld die Farbe im CIE-Lab Farbraum bestimmt. Aus diesen Daten wurden die Farbwerte im RGB-Raum errechnet. Hieraus wurde wiederum die Farbdynamik D bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5

Tabelle 1 (Stahlsorten)

Stahl	C	Si	Mn	Al	Cr	Nb	Ti	B	P	S	N	Sn	As	Cu	Mo	Ca	Ni	CEV
A	0,235	0,3	1,3	0,05	0,28	0,003	0,040	0,0035	0,02	0,003	0,007	0,03	0,01	0,03	0,03	0,005	0,025	0,52
Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen. Angaben jeweils in Gew.-%;																		

Tabelle 2 (Beschichtungsvarianten)

Beschichtungsvariante	Schmelzenanalyse				
	Si	Fe	Mg	Sonstige	Al
α	9,5	3	<0,01	<1%	Rest
β	10	3	0,5	<1%	Rest

Tabelle 3 (Aufbau)

Aufbau	Stahlsorte	Beschichtung	Blechdicke [mm]	Überzugsdicke [μm]
1*	A	α	1,5	27
2	A	β	1,5	27
* nicht erfindungsgemäße Referenzbeispiele				

Tabelle 4 (Warmumformparameter)

Mittlere Aufheizgeschwindigkeit r _{Ofen} [30 - 700 °C] [K/s]	T _{Ofen} [°C]	Transferzeit [s]	Taupunkt Ofen [°C]	T _{Einlg} [°C]	T _{ZW} [°C]	T _{ZW} [s]	Abkühlgeschwindigkeit r _{wz} [K/s]	T _{Ziel} [°C]
8	900	8	-5	800	RT	15	50	50

Tabelle 5 (Ergebnisse)

Aufbau	Glühdauer tOfen [Minuten]	L	a	b	R	G	B	D
1*	4	39,94	1,35	3,09	99	93	89	0 (Referenz)
1*	5	37,22	1,58	0,39	91	87	87	16
1*	6	34,02	0,33	-5,74	76	80	89	40
1*	7	34,46	-1,16	-7,99	72	82	94	51
1*	8	34,14	-2,93	-10,77	65	82	97	61
1*	9	35,70	-5,00	-12,61	61	87	104	77
1*	10	37,23	-6,33	-13,00	61	92	108	86
1*	11	37,27	-4,63	-14,67	63	91	111	92
2	4	38,41	-0,78	-6,38	84	91	101	0 (Referenz)
2	5	36,70	-3,78	-11,66	68	89	105	22
2	6	38,65	-1,61	-4,82	84	92	99	47
2	7	42,00	-5,76	-10,23	78	103	116	81
2	8	53,68	-5,76	-9,13	108	132	144	168
2	9	45,29	-4,77	-5,68	93	110	116	233
2	10	45,31	-0,46	6,10	111	107	97	273
2	11	50,79	-2,87	6,99	121	122	109	310

Patentansprüche

1. Stahl Flachprodukt zur Herstellung eines Blechformteils durch Warmumformen, aufweisend

a. ein Stahlsubstrat, das aus einem Stahl, der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist, besteht und

b. einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Überzug auf Aluminium-Basis, wobei der Überzug eine Al-Basissschicht aufweist, die aus 1,0-15 Gew.-% Si, optional 2-4 Gew.-% Fe, 0,1-5,0 Gew.-% Alkali- oder Erdalkalimetalle, und optionalen weiteren Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2,0 Gew.-% beschränkt sind, und als Rest Aluminium besteht,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Alkali- oder Erdalkalimetalle in der Al-Basissschicht eine derartige Verteilung aufweisen, dass das Stahl Flachprodukt im abgekühlten Zustand nach einer Glühung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900° für eine Glühdauer von 9 Minuten eine Farbveränderung im Vergleich zum abgekühlten Zustand nach einer Referenz-Glühdauer von 4 Minuten erfährt, wobei die Farbveränderung eine Farbdynamik von größer 100 aufweist.

2. Stahl Flachprodukt nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) aus

C: 0,04-0,45 Gew.-%,

Si: 0,02-1,2 Gew.-%,

Mn: 0,5-2,6 Gew.-%,

Al: 0,02-1,0 Gew.-%,

P: ≤ 0,05 Gew.-%,

S: ≤ 0,02 Gew.-%,

N: ≤ 0,02 Gew.-%,

Sn: ≤ 0,03 Gew.-%,

As: ≤ 0,01 Gew.-%,

EP 4 386 092 A2

(fortgesetzt)

Ca: $\leq 0,005$ Gew.-%,

sowie optional einem oder mehreren der Elemente "Cr, B, Mo, Ni, Cu, Nb, Ti, V" in folgenden Gehalten

Cr: 0,08-1,0 Gew.-%,

B: 0,001-0,005 Gew.-%,

Mo: $\leq 0,5$ Gew.-%,

Ni: $\leq 0,5$ Gew.-%,

Cu: $\leq 0,2$ Gew.-%,

Nb: 0,02-0,08 Gew.-%,

Ti: 0,01-0,08 Gew.-%,

V: $\leq 0,2$ Gew.-%,

besteht.

3. Verfahren zum Herstellen eines Stahlflachproduktes für die Warmumformung mit einem Überzug umfassend folgende Arbeitsschritte:

- a) Zurverfügungstellen einer Bramme oder einer Dünnbramme, die aus einem Stahl besteht, der 0,1-3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist;
- b) Durcherwärmen der Bramme oder Dünnbramme bei einer Temperatur (T1) von 1000-1400°C;
- c) optionales Vorwalzen der durcherwärmten Bramme oder Dünnbramme zu einem Zwischenprodukt mit einer Zwischenprodukttemperatur (T2) von 1000-1200°C;
- d) Warmwalzen zu einem warmgewalzten Stahlflachprodukt, wobei die Endwalztemperatur (T3) 750-1000°C beträgt;
- e) optionales Haspeln des warmgewalzten Stahlflachprodukts, wobei die Haspeltemperatur (T4) höchstens 700°C beträgt;
- f) Optionales Entzundern des warmgewalzten Stahlflachprodukts;
- g) optionales Kaltwalzen des Stahlflachprodukts, wobei der Kaltwalzgrad mindestens 30 % beträgt;
- h) Glühen des Stahlflachprodukts bei einer Glühtemperatur (T5) von 650-900°C;
- i) Abkühlen des Stahlflachprodukts auf eine Eintauchtemperatur (T6), welche 600-800°C, bevorzugt 680-720°C beträgt;
- j) Beschichten des auf die Eintauchtemperatur abgekühlten Stahlflachprodukts mit einem Überzug durch
 - i. Eintauchen in ein Schmelzbad mit einer Schmelzentemperatur (T7) 660-800°C, bevorzugt 670-710°C;
 - ii. Abblasen des Stahlflachproduktes nach Austritt aus dem Schmelzbad mittels eines Gasstroms;
- k) Abkühlen des beschichteten Stahlflachprodukts auf Raumtemperatur, wobei eine mittlere Abkühlrate zwischen 660°C und 570°C mindestens 15 K/s beträgt;
- l) optionales Dressieren des beschichteten Stahlflachprodukts.

4. Verfahren zum Überprüfen eines warmumgeformten Blechformteils mit einem Überzug auf Aluminium-Basis umfassend mindestens die folgenden Schritte:

- a. Bestimmen eines Farbwertes oder mehrerer Farbwerte des Überzuges;
- b. Vergleichen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mit einem oder mehreren Referenzwerten;
- c. Aussortieren des Blechformteils auf Basis eines Ergebnisses des Vergleichs.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der eine oder die mehreren Referenzwerte ein oder mehrere Farbwerte eines abgekühlten Referenz-Blechformteils sind, das eine Glühung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur von 900°C für eine Referenz-Glühdauer von 4 Minuten erfahren hat.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmen des mindestens einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mittels eines Photometers, insbesondere mittels eines Spektral-

photometers erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bestimmen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerten des Überzuges ein Bestimmen von mindestens drei Farbwerten in einem Farbraum umfasst.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vergleichen des einen Farbwertes oder der mehreren Farbwerte mit einem oder mehreren Referenzwerten die Berechnung einer Farbdynamik umfasst.
9. Verfahren zum Herstellen eines Blechformteils umfassend folgende Arbeitsschritte:
 - a. Bereitstellen eines Blechzuschnitts aus einem Stahlflachprodukt nach einem der Ansprüche 1 bis 2;
 - b. Erwärmen des Blechzuschnitts derart, dass zumindest teilweise die AC3 Temperatur des Zuschnitts überschritten ist und die Temperatur T_{Einlg} des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von $M_s+100^\circ\text{C}$ aufweist, wobei M_s die der Martensitstarttemperatur bezeichnet;
 - c. Einlegen des erwärmten Blechzuschnitts in ein Umformwerkzeug, wobei die für das Entnehmen aus der Erwärmungseinrichtung und das Einlegen des Zuschnitts benötigte Transferdauer t_{Trans} höchstens 20s, bevorzugt höchstens 15s, beträgt;
 - d. Warmpressformen des Blechzuschnitts zu dem Blechformteil, wobei der Zuschnitt im Zuge des Warmpressformens über eine Dauer t_{WZ} von mehr als 1s mit einer zumindest teilweise mehr als 30 K/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit r_{WZ} auf die Zieltemperatur T_{Ziel} abgekühlt und optional dort gehalten wird;
 - e. Entnehmen des auf die Zieltemperatur T_{Ziel} abgekühlten Blechformteils aus dem Werkzeug;
 - f. Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur;
 - g. Überprüfen des abgekühlten Blechformteils mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die zumindest teilweise im Blechzuschnitt erreichte Temperatur in Schritt b) zwischen A_{c3} und 1000°C , bevorzugt zwischen 850°C und 950°C liegt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, wobei die Zieltemperatur T_{Ziel} des Blechformteils zumindest teilweise unterhalb 400°C , bevorzugt unterhalb 300°C liegt.

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 2022048990 A1 [0004]
- EP 2993248 B1 [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **VON HOUARDY, HP.** Werkstoffkunde Stahl Band 1: Grundlagen. Verlag Stahleisen GmbH, 1984, 229 [0069]
- **BRANDIS H.** TEW-Techn. Ber., 1975, vol. 1, 8-10 [0081]