

(19)



(11)

**EP 4 516 954 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**05.03.2025 Patentblatt 2025/10**

(21) Anmeldenummer: **24196372.7**

(22) Anmeldetag: **26.08.2024**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**C22C 38/02** <sup>(2006.01)</sup>      **C22C 38/04** <sup>(2006.01)</sup>  
**C22C 38/06** <sup>(2006.01)</sup>      **C21D 1/673** <sup>(2006.01)</sup>  
**C21D 8/02** <sup>(2006.01)</sup>      **C23C 14/02** <sup>(2006.01)</sup>  
**C23C 14/08** <sup>(2006.01)</sup>      **C23C 14/16** <sup>(2006.01)</sup>

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**C22C 38/04; C21D 1/673; C21D 8/0205;**  
**C21D 8/0226; C21D 8/0236; C22C 38/02;**  
**C22C 38/06; C23C 14/025; C23C 14/081;**  
**C23C 14/16; C21D 2211/008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB**  
**GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL**  
**NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
 Benannte Validierungsstaaten:  
**GE KH MA MD TN**

(30) Priorität: **04.09.2023 DE 102023123721**

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

(72) Erfinder:  
 • **Bienholz, Stefan**  
**47166 Duisburg (DE)**  
 • **Köyer, Maria**  
**47166 Duisburg (DE)**  
 • **Stille, Sebastian**  
**47166 Duisburg (DE)**

(74) Vertreter: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**  
**Patente/Patent Department**  
**Kaiser-Wilhelm-Straße 100**  
**47166 Duisburg (DE)**

(54) **STAHLFLACHPRODUKT MIT EINER SCHUTZSCHICHT GEGEN ZUNDER**

(57) Die Erfindung betrifft ein Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Blechformteils durch Warmumformen. Dabei weist das Stahlflachprodukt ein Stahlsubstrat und einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Schutzüberzug auf. Hierbei enthält der Schutzüberzug eine Schutzschicht umfassend Mg mit

einer Dicke von 20 - 80 nm oder eine Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Herstellverfahren für ein derartiges Stahlflachprodukt und ein Umformverfahren zur Herstellung eines Blechformteils aus einem derartigen Stahlflachprodukt.

**EP 4 516 954 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Stahlflachprodukt mit einer Schutzschicht gegen Zunder, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Stahlflachproduktes, ein Blechformteil hergestellt aus einem solchen Stahlflachprodukt und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Blechformteil aus einem Stahlflachprodukt.

**[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 "Blechezuschnitte" (auch Platinen genannt) abgeteilt werden. "Blechformteile" oder "Blechbauteile" der erfindungsgemäßen Art sind aus derartigen Blechezuschnitten 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 Stahllegierung 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 dem Stand der Technik sind Stahlflachprodukte für die Warmumformung zu Blechformteilen bekannt, die eine aluminiumbasierte oder zinkbasierte Beschichtung aufweisen. Beispielsweise zeigen die WO 2022/048990 A1 und die EP 2 993 248 B1 derartige Stahlflachprodukte. Solche Beschichtungen sind typischerweise dicker als 20µm und bieten einen guten Korrosionsschutz.

**[0005]** Ebenso sind aus dem Stand der Technik Stahlflachprodukte für die Warmumformung ohne Beschichtung bekannt. Solche Stahlflachprodukte sind beispielsweise aus der EP 3 924 528 A1 bekannt. Blechformteile, die aus solchen Stahlflachprodukten geformt werden, kommen typischerweise bei nicht so korrosionsanfälligen Anwendungen zum Einsatz.

**[0006]** Unbeschichtete Stahlflachprodukte für die Warmumformung haben den Nachteil, dass es bei der Aufheizung für die Warmumformung zu einer Verzunderung der Oberfläche kann. Aus der EP 3 924 528 A1 ist bekannt eine solche Verzunderung durch eine Schutzgasatmosphäre (typischerweise Stickstoff) beim Ofenprozess zu unterdrücken. Die Verwendung eines Schutzgases auf Stickstoffbasis führt jedoch zu einer Effusion von Kohlenstoff während der Austenitisierung an der Oberfläche eines Stahlflachprodukt. Dieses Phänomen ist als Randentkohlung bekannt und führt zu einem Abfall der Materialhärte am Rand. Je nach Anwendung kann dies unerwünscht sein. Zudem ist es schwierig die Verzunderung durch eine Schutzgasatmosphäre komplett zu vermeiden, da der aufgeheizte Blechezuschnitt zu einem Umformwerkzeug transportiert werden muss. Spätestens zu diesem Zeitpunkt kommt die aufgeheizte Oberfläche mit Umgebungsluft in Kontakt, so dass es zu Zunderbildung kommt. Daher wird im Regelfall die Oberfläche des Blechformteils mittels eines Abstrahlens entzündert. Als Strahlgut sind alle granulären Strahlmittel geeignet, beispielsweise Stahlkugeln, Stahlschrott, Hochofenschlacke, Sand, Korund, Glas etc.

**[0007]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein kostengünstiges Stahlflachprodukt bereitzustellen, dass in konventioneller Weise zu einem Blechformteil weiterverarbeitet werden kann, ohne dass es zu Zunderbildung kommt, so dass ein zusätzliches Abstrahlen vermieden werden kann. Zusätzlich soll das Stahlflachprodukt weniger aufwendig herzustellen sein als die bekannten Stahlflachprodukte mit dicker aluminiumbasierter oder zinkbasierter Beschichtung.

**[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 Schutzüberzug,

dadurch gekennzeichnet, dass der Schutzüberzug eine Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80 nm enthält oder eine Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm enthält.

**[0009]** Bevorzugt besteht die Schutzschicht aus maximal 10 Gew.-% sonstiger Legierungselemente, insbesondere maximal 5 Gew.-% sonstiger Legierungselemente, bevorzugt maximal 2 Gew.-% sonstiger Legierungselemente und als Rest aus Magnesium bzw. aus Mangan.

**[0010]** Insbesondere besteht der Schutzüberzug aus der beschriebenen Schutzschicht. Die Schutzschicht kontaktiert also auf der einen Seite das Substrat und bildet mit ihrer anderen Oberfläche die äußere Begrenzung des Stahlflachproduktes.

**[0011]** Versuche haben gezeigt, dass bereits eine dünne Schicht aus Magnesium oder Mangan zur Verhinderung der Zunderbildung führt. Dabei hat sich herausgestellt, dass es enge Grenzen für die Dicke dieser Schutzschicht gibt. Bei zu dünnen Schichten ist der Zunderschutz nicht ausreichend und es kommt dennoch zur Bildung von Zunder. Bei zu dicken Schichten kommt es hingegen beim nachfolgenden Umformprozess zu Delamination. Die Schutzschicht bzw. die Oxide

## EP 4 516 954 A1

der Schutzschicht beginnen abzublättern. Auch dies ist selbstverständlich zu vermeiden. Im Falle von Magnesium beträgt die Dicke mindestens 20 nm, insbesondere mindestens 30 nm, bevorzugt mindestens 40 nm. Ebenso beträgt die Dicke maximal 80 nm, bevorzugt maximal 70 nm, insbesondere maximal 60 nm. Im Falle von Mangan beträgt die Dicke mindestens 350 nm, insbesondere mindestens 400 nm, bevorzugt mindestens 450 nm. Ebenso beträgt die Dicke maximal 800 nm, bevorzugt maximal 700 nm, insbesondere maximal 600 nm.

**[0012]** Zusätzlich hat sich gezeigt, dass Schweißbeignung beim Widerstandspunktschweißen des erzeugten Blechformteils bei den oben genannten Dicken jeweils gegeben ist, ohne dass ein nachfolgender Abstrahlprozess erforderlich ist.

**[0013]** Die Schweißbeignung wird dabei gemäß SEP 1220 Teil 2 (2001) bestimmt.

**[0014]** Das Stahlsubstrat ist aus einem Stahl, der 0,1 - 3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist. Insbesondere ist das Gefüge des Stahls durch ein Warmumformen in ein martensitisches oder teilweise martensitisches Gefüge umwandelbar. Das Gefüge des Stahlsubstrates des nachfolgend beschriebenen Blechformteils ist also bevorzugt ein martensitisches oder zumindest teilweise martensitisches Gefüge, da dieses eine besonders hohe Härte aufweist.

**[0015]** Besonders bevorzugt ist das Stahlsubstrat ein Stahl, der 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, W" in folgenden Gehalten

Cr:	0,08 - 1,0 Gew.-%,
B:	0,001 - 0,010 Gew.-%
Mo:	≤ 0,5 Gew.-%
Ni:	≤ 0,5 Gew.-%
Cu:	≤ 0,2 Gew.-%
Nb:	0,01 - 0,2 Gew.-%,
Ti:	0,01 - 0,10 Gew.-%
V:	≤ 0,3 Gew.-%
W:	0,001 - 1,00 Gew.-%

besteht.

**[0016]** Bei den Elementen P, S, N, Sn, As, Ca handelt es sich um Verunreinigungen, die bei der Stahlerzeugung nicht vollständig vermieden werden können. Gelegentlich wird Ca auch bewusst zur Abbindung von Schwefel hinzulegiert. In einem solchen Fall beträgt der Gehalt von Ca mindestens 0,001 Gew.-%. Maximal beträgt der Ca-Gehalt auch in diesem Fall 0,005 Gew.-%.

**[0017]** 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 jeweilige 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.-%,
-----	-----------------

## EP 4 516 954 A1

(fortgesetzt)

B:	≤ 0,0005 Gew.-%
Nb:	≤ 0,005 Gew.-%,
Ti:	≤ 0,005 Gew.-%

5

**[0018]** Dabei sind diese bevorzugten Obergrenzen als alternativ oder gemeinsam zu betrachten. Bevorzugte Varianten des Stahls erfüllen also eine oder mehrere dieser vier Bedingungen.

10 **[0019]** Bei einer eine 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 0,11 - 0,25 Gew.-% oder im Bereich von 0,32 - 0,37 Gew.-%.

**[0020]** Bei einer eine bevorzugten Ausführungsform beträgt der Si-Gehalt des Stahls maximal 1,00 Gew.-% und/oder mindestens 0,06 Gew.-%.

15 **[0021]** 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.-%.

**[0022]** 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 **[0023]** 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 **[0024]** 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.-%.

**[0025]** 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 **[0026]** Im Falle einer optionale 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.-%.

**[0027]** Bevorzugt enthält der Stahl optional zudem Bor mit einem Gehalt von 0,001 - 0,010 Gew.-%. Insbesondere beträgt der B-Gehalt maximal 0,005 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,004 Gew.-%

35 **[0028]** Optional kann der Stahl Molybdän mit einem Gehalt von maximal 0,5 Gew.-% enthalten, insbesondere maximal 0,1 Gew.-%.

**[0029]** Weiterhin kann der Stahl optional Nickel enthalten mit einem Gehalt von maximal 0,5 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,15 Gew.-%.

40 **[0030]** Optional kann der Stahl zudem Kupfer enthalten mit einem Gehalt von maximal 0,2 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,15 Gew.-%.

**[0031]** Zudem kann der Stahl optional eines oder mehrere der Mikrolegierungselemente Nb, Ti und V enthalten. Dabei beträgt der optionale Nb-Gehalt mindestens 0,01 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,02 Gew.-% und maximal 0,2 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,08 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,04 Gew.-%. Der optionale Ti-Gehalt beträgt mindestens 0,01 Gew.-% und maximal 0,10 Gew.-%, insbesondere maximal 0,08 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,04 Gew.-%. Der optionale V-Gehalt beträgt maximal 0,3 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,2 Gew.-%, insbesondere maximal 0,1 Gew.-%, bevorzugt maximal 0,05 Gew.-%.

**[0032]** 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 **[0033]** Wolfram (W) kann optional in Gehalten von 0,001 - 1,0 Gew.-% zur Verlangsamung der Ferritbildung hinzulegiert werden. Ein positiver Effekt auf die Härte ergibt sich bereits bei W-Gehalten von mindestens 0,001 Gew.-%. Aus Kostengründen wird maximal 1,0 Gew.-% Wolfram hinzulegiert.

**[0034]** Die vorstehenden Erläuterungen zu bevorzugten Stahlsubstraten gelten selbstverständlich ebenso für das Stahlsubstrat des, im nachfolgenden beschriebene Blechformteils, sowie die Stahlsubstrate in den beschriebenen

55

**[0035]** Ein derartiges Stahlflachprodukt wird mit Hilfe eines der nachfolgend beschriebenen Herstellungsverfahren erzeugt, dass die folgenden Arbeitsschritte umfasst:

## EP 4 516 954 A1

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

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 Entzndern des warmgewalzten Stahlflachprodukts;

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

h) Beschichten des Stahlflachprodukt mit einer Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80nm umfasst oder einer Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm.

**[0036]** 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. Die Legierung hat bevorzugt die Zusammensetzung die vorstehend im Hinblick auf das Substrat des Stahlflachproduktes erläutert ist.

**[0037]** 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, bevorzugt mindestens 1100 °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.

**[0038]** 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.

**[0039]** 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 90 s 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 30 nm 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.

**[0040]** 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 50 s 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.

[0041] In Arbeitsschritt f) wird das warmgewalzte Stahlflachprodukt optional in konventioneller Weise durch Beizen oder durch eine andere geeignete Behandlung entzundert. Alternativ oder ergänzend sind auch weitergehende Reinigungsschritte in Form von Glühen oder einer Plasmareinigung möglich.

[0042] 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  $\Delta d_{KW}$  durch die Warmbanddicke  $d$  verstanden:

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

mit  $\Delta d_{KW}$  = Dickenabnahme beim Kaltwalzen in mm und  $d$  = Warmbanddicke in mm, wobei sich die Dickenabnahme  $\Delta d_{KW}$  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.

[0043] In Schritt h) wird das Stahlflachprodukt mit einer Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80nm oder einer Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm beschichtet.

[0044] Bei einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt das Beschichten mittels physikalischer Gasphasenabscheidung, insbesondere mittels eines Verfahrens wie in der WO 2016/042079 A1 beschrieben. Bei einer alternativen Ausführungsform erfolgt die Beschichtung mittels elektrolytischen Abscheiden.

[0045] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Blechformteil, insbesondere geformt aus einem zuvor erläuterten Stahlflachprodukt, aufweisend

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

b) und einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Schutzüberzug,

dadurch gekennzeichnet, dass der Schutzüberzug eine Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80nm enthält oder eine Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm enthält.

[0046] Bevorzugt besteht die Schutzschicht aus maximal 10 Gew.-% sonstiger Legierungselemente, insbesondere maximal 5 Gew.-% sonstiger Legierungselemente, bevorzugt maximal 2 Gew.-% sonstiger Legierungselemente und als Rest aus Magnesium bzw. aus Mangan.

[0047] Insbesondere besteht der Schutzüberzug aus der beschriebenen Schutzschicht. Die Schutzschicht kontaktiert also auf der einen Seite das Substrat und bildet mit ihrer anderen Oberfläche die äußere Begrenzung des Stahlflachproduktes bzw. grenzt mit der anderen Oberfläche an die optionale Oxidschicht, die nachfolgend beschrieben ist.

[0048] Neben den erläuterten Vorteilen, dass die Zunderbildung bei der Herstellung vermieden werden kann, weisen derartige Blechformteile eine ausgezeichnete Schweißeignung auf.

[0049] Bei einer bevorzugten Variante umfasst das Blechformteil eine auf dem Korrosionsschutzüberzug angeordnete Oxidschicht. Die Oxidschicht liegt dabei insbesondere auf der Schutzschicht und bildet bevorzugt den äußeren Abschluss des Korrosionsschutzüberzuges.

[0050] Die Oxidschicht des Blechformteils besteht insbesondere zu mehr als 80 Gew.-% aus Oxiden, wobei der Hauptanteil der Oxide (d.h. mehr als 50 Gew.-% der Oxide) Magnesiumoxid bei der ersten Variante bzw. Manganoxid bei der zweiten Variante ist.

[0051] Die Oxidschicht hat bevorzugt eine Dicke von mindestens 50nm, insbesondere von mindestens 100nm. Weiterhin beträgt die Dicke maximal  $4\mu\text{m}$ , insbesondere maximal  $2\mu\text{m}$ .

[0052] Bei einer speziellen Weiterbildung weist das Stahlsubstrat des Blechformteils ein Gefüge mit zumindest teilweise mehr als 90 % Martensit, insbesondere zumindest teilweise mehr als 95 %, besonders bevorzugt zumindest teilweise mehr als 98 % auf. Unter teilweise aufweisen ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass es Bereiche des Blechformteils gibt, die das genannte Gefüge aufweisen. Zusätzlich kann es auch Bereiche des Blechformteils geben, die ein anderes Gefüge aufweisen. Das Blechformteil weist also abschnittsweise oder bereichsweise das genannte Gefüge auf.

[0053] Der Stahl des Stahlsubstrats des Blechformteils ist bevorzugt so ausgebildet wie vorstehend in Bezug auf das Stahlsubstrat des Stahlflachproduktes erläutert.

[0054] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Blechformteils, insbesondere eines Blechformteils wie vorstehend beschrieben. Dabei umfasst das Verfahren die folgenden Arbeitsschritte:

a. Bereitstellen eines Blechzuschnitts aus einem zuvor erläuterten Stahlflachprodukt;

b. Erwärmen des Blechzuschnitts derart, dass zumindest teilweise die AC3 Temperatur des Zuschnitts überschritten ist und die Temperatur  $T_{\text{Einlg}}$  des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von  $Ms+100\text{ °C}$  aufweist, wobei Ms 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  $t_{\text{Trans}}$  höchstens 20 s, bevorzugt höchstens 15 s, beträgt;

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

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

f. Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur.

**[0055]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird somit ein Zuschnitt, der aus einem entsprechend den voranstehenden Erläuterungen in geeigneter Weise zusammengesetzten Stahlflachprodukt 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  $T_{\text{Einlg}}$  des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von  $Ms+100\text{ °C}$  beträgt. Unter teilweisem Überschreiten einer Temperatur (hier AC3 bzw.  $Ms+100\text{ °C}$ ) 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 Zuschnittmaterials, 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.

**[0056]** Maximale Festigkeitseigenschaften des erhaltenen Blechformteils können dadurch ermöglicht werden, dass die zumindest teilweise im Blechzuschnitt erreichte Temperatur zwischen  $Ac3$  und  $1000\text{ °C}$ , bevorzugt zwischen  $850\text{ °C}$  und  $950\text{ °C}$  liegt.

**[0057]** 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

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

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.

**[0058]** Eine optimal gleichmäßige Eigenschaftsverteilung lässt sich dadurch erreichen, dass der Zuschnitt im Arbeitsschritt b) vollständig durcherwärmt wird.

**[0059]** Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante beträgt die mittlere Aufheizgeschwindigkeit  $r_{\text{Ofen}}$  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  $r_{\text{Ofen}}$  ist dabei als mittlere Aufheizgeschwindigkeit von  $30\text{ °C}$  auf  $700\text{ °C}$  zu verstehen.

**[0060]** Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante erfolgt die Erwärmung in einem Ofen mit einer Ofentemperatur  $T_{\text{Ofen}}$  von mindestens  $850\text{ °C}$ , bevorzugt mindestens  $880\text{ °C}$ , besonders bevorzugt mindestens  $900\text{ °C}$ , insbesondere mindes-

## EP 4 516 954 A1

tens 920 °C, und maximal 1000 °C, bevorzugt maximal 950 °C, besonders bevorzugt maximal 930 °C.

**[0061]** Bevorzugt beträgt der Taupunkt im Ofen beträgt 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.

**[0062]** 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.

**[0063]** Die Gesamtzeit im Ofen  $t_{\text{Ofen}}$ , 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.

**[0064]** 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 Ms+100 °C liegt, bevorzugt oberhalb von 600 °C, insbesondere oberhalb von 650 °C, besonders bevorzugt oberhalb von 700 °C. Hierbei bezeichnet Ms 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.

**[0065]** Im Arbeitsschritt c) wird der Transfer des austenitisierten Zuschnitts von der jeweils zum Einsatz kommenden Erwärmungseinrichtung zum Umformwerkzeug innerhalb von vorzugsweise höchstens 20 s, insbesondere von maximal 15 s absolviert. Ein derart schneller Transport ist erforderlich, um eine zu starke Abkühlung vor der Verformung zu vermeiden.

**[0066]** 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  $T_{\text{WZ}}$  von mindestens 200 °C, insbesondere mindestens 300 °C temperiert sein, um das Bauteil nur partiell zu härten. Weiterhin beträgt die Werkzeugtemperatur  $T_{\text{WZ}}$  bevorzugt maximal 600 °C, insbesondere maximal 550 °C. Es ist lediglich sicherzustellen, dass die Werkzeugtemperatur  $T_{\text{WZ}}$  unterhalb der gewünschten Zieltemperatur  $T_{\text{Ziel}}$  liegt. Die Verweilzeit im Werkzeug  $t_{\text{WZ}}$  beträgt bevorzugt mindestens 2 s, insbesondere mindestens 3 s, besonders bevorzugt mindestens 5 s. Maximal beträgt die Verweilzeit im Werkzeug bevorzugt 25 s, insbesondere maximal 20 s.

**[0067]** Die Zieltemperatur  $T_{\text{Ziel}}$  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  $T_{\text{Ziel}}$  des Blechformteils besonders bevorzugt unter Ms-50 °C, wobei Ms die Martensitstarttemperatur bezeichnet. Weiterhin beträgt die Zieltemperatur des Blechformteils bevorzugt mindestens 20 °C, besonders bevorzugt mindestens 50 °C.

**[0068]** Die Martensitstarttemperatur eines im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgaben liegenden Stahls ist gemäß der Formel:

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

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.

**[0069]** Die AC1-Temperatur und die AC3-Temperatur eines im Rahmen der erfindungsgemäßen Vorgaben liegenden Stahls ist gemäß den Formeln:

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

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

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).

**[0070]** Im Werkzeug wird der Zuschnitt somit nicht nur zu dem Blechformteil geformt, sondern gleichzeitig auch 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.

**[0071]** Nach dem Entnehmen des Blechformteils in Schritt e) erfolgt ein Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur innerhalb einer Abkühldauer  $t_{AB}$  von 0,5 bis 600 s. Dies geschieht im Regelfall durch eine Luftabkühlung.

**[0072]** Bei dem erfindungsgemäßen Blechformteil handelt es sich bevorzugt um ein Bauteil für ein Landfahrzeug, Seefahrzeug oder Luftfahrzeug. Besonders bevorzugt handelt es sich um ein Automobilteil, insbesondere um ein Karosserieteil. Bevorzugt ist das Bauteil eine B-Säule, Längsträger, A-Säule, Schweller oder Querträger.

**[0073]** Näher erläutert wird die Erfindung im Zusammenhang mit den nachfolgenden Tabellen.

**[0074]** Zum Nachweis der Wirkung der Erfindung wurden mehrere Versuche durchgeführt. Dafür wurden Brammen mit der in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzungen mit einer Dicke von 200 - 280 mm und Breite von 1000 - 1200 mm erzeugt, in einem Stoßofen auf eine jeweilige Temperatur T1 aufgeheizt und 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 Herstellungsparameter sind in Tabelle 2 angegeben. 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 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 3 - 7 mm und den in Tabelle 2 angegebenen jeweiligen Endwalztemperaturen T3 ausgewalzt, auf die jeweilige Haspeltemperatur abgekühlt und bei den jeweiligen Haspeltemperaturen T4 zu Coils aufgewickelt und dann in ruhender Luft abgekühlt. Die Warmbänder wurden in konventioneller Weise mittels Beizen entzundert, bevor sie einem Kaltwalzen mit den in Tabelle 2 angegebenen Kaltwalzgraden unterzogen wurden. Anschließend wurden die Bänder zu Coils gehaspelt, wobei eine Zugkraft verwendet wurde, die in Tabelle 2 angegeben ist. Die Dicke der erzeugten Stahlbänder lag bei allen Versuchen bei 1,6 mm.

**[0075]** Von den so erzeugten Stahlbändern sind jeweils Zuschnitte abgeteilt worden, die für die weiteren Versuche verwendet worden sind. Die Zuschnitte wurden anschließend jeweils unterschiedlichen Schutzschichten beschichtet, wobei zur Referenz auch eine Probe unbeschichtet belassen wurde. Dies geschah in allen Fällen mittels physikalischer Gasphasenabscheidung. Für die weiteren Versuche sind aus den jeweiligen Zuschnitten Blechformteil-Proben in Form von 200 x 300 mm<sup>2</sup> großen Platten warmpressgeformt worden. Dazu sind die Zuschnitte in einer Erwärmungseinrichtung, beispielsweise in einem konventionellen Erwärmungsofen, von Raumtemperatur mit einer mittleren Aufheizgeschwindigkeit  $r_{Ofen}$  (zwischen 30 °C und 700 °C) in einem Ofen mit einer Ofentemperatur  $T_{Ofen}$  erwärmt worden. Die Gesamtdauer im Ofen, die eine Erwärmen und eine 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  $t_{Trans}$  lag zwischen 5 und 14 s. 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  $r_{WZ}$  abgekühlt wurden. Die Verweildauer im Werkzeug wird mit  $t_{WZ}$  bezeichnet. Abschließend sind die Proben an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt worden. In Tabelle 3 sind diese Parameter nochmals zusammengefasst, wobei "RT" die Raumtemperatur abkürzt.

**[0076]** Nach dem Umformprozess wurde die Masse der jeweiligen Proben bestimmt und mit der Masse vor dem Erhitzen und Umformen verglichen.

**[0077]** Weiterhin wurde nach dem Umformen die Schweißeignung mittels des genannten Verfahrens bestimmt.

**[0078]** In Tabelle 4 sind die Gesamtergebnisse zusammengestellt. In Spalte 4 ist der Beschichtungsstoff angegeben. Die ersten drei Proben waren mit Magnesium beschichtet, so dass sich eine Schutzschicht aus Magnesium und unvermeidbaren Verunreinigungen (<1 Gew-%) ergab. Die Proben 4-6 waren mit Mangan beschichtet, so dass sich eine Schutzschicht aus Mangan und unvermeidbaren Verunreinigungen (<1 Gew-%) ergab. In der Spalte 6 ist die relative Massenänderung während des Umformprozesses angegeben. Idealerweise kommt es bei der Wärmebehandlung lediglich zu einer geringen Massenzunahme durch Oxidation der Schutzschicht. Bei Massenzunahmen von 0,5% und

## EP 4 516 954 A1

mehr ist die Oxidation zu stark und ein effektiver Zunderschutz ist nicht gegeben. Im Falle der Varianten Mg 100nm und Mn 1000nm sinkt die Masse trotz Oxidation. Bei den Proben kam es beim Umformprozess zur Delamination von oxidischen Überzugsanteilen. Auch diese Schichten sind daher als Zunderschutz ungeeignet. Zwischen beiden Extrema ist jedoch bei beiden Beschichtungen ein Auflagenfenster gegeben, bei dem nur eine moderate und gewünschte Massenzunahme entsteht. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass sich die Schweißseignung (WPS) der Proben mit geringer Massenzunahme verbessert (In Tabelle 4 mit "i.O." = "in Ordnung" gekennzeichnet im Gegensatz zu "n.i.O." = "nicht in Ordnung").

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

55	Stahl	C	0,235	Si	0,3	Mn	1,3	Al	0,05	Cr	0,28	Nb	0,003	Ti	0,04	B	0,0035	P	0,02	S	0,003	N	0,007	Sn	0,03	As	0,01	Cu	0,03	Mo	0,03	Ca	0,005	Andere	
50	A																																		
45																																			
40																																			
35																																			
30																																			
25																																			
20																																			
15																																			
10																																			
5																																			

Tabelle 1 (Stahlsorten)

## EP 4 516 954 A1

**Tabelle 2 (Herstellungsbedingungen Stahlflachprodukt)**

Prozess-variante	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	KWG [%]	Zugkraft Haspeln [daN]
a	1205	1060	820	550	55	1000
Angaben teilweise gerundet						

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Tabelle 3 (Parameter Warmumformung)

Warmumformvariante	Mittlere Aufheiz- geschwindigkeit $r_{\text{Ofen}}$ [30 - 700 °C] [K/s]	$T_{\text{Ofen}}$ [°C]	$t_{\text{Ofen}}$ [min.]	Transfer- zeit [s]	Taupunkt Ofen [°C]	$T_{\text{Einlg}}$ [°C]	$T_{\text{wz}}$ [°C]	$t_{\text{wz}}$ [s]	Abkühl- geschwindigkeit $r_{\text{wz}}$ [K/s]	$T_{\text{Ziel}}$ [°C]
I	8	920	4	8	5	800	RT	15	50	50

Angaben teilweise gerundet

# EP 4 516 954 A1

Tabelle 4 (Ergebnisse)

Versuch-Nr.	Stahl	Dicke des Stahlbandes [mm]	Beschichtungsstoff	Dicke der Schutzschicht [nm]	Relative Massenänderung $\frac{\Delta m}{m}$ [%]	Schweiß-eignung
1*	A	1,6	Mg	10	0,5	n.i.O.
2	A	1,6	Mg	50	0,2	i.O.
3*	A	1,6	Mg	100	-0,4	n.i.O.
4*	A	1,6	Mn	250	0,5	n.i.O.
5	A	1,6	Mn	500	0,3	i.O.
6*	A	1,6	Mn	1000	-0,3	i.O.
7*	A	1,6		-	-0,03	n.i.O.

\* nicht erfindungsgemäße Referenzbeispiele

## 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 Schutzüberzug,

**dadurch gekennzeichnet, dass** der Schutzüberzug eine Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80 nm enthält oder eine Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm enthält.

### 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:  $\leq 0,05$  Gew.-%,
- S:  $\leq 0,02$  Gew.-%,
- N:  $\leq 0,02$  Gew.-%,
- Sn:  $\leq 0,03$  Gew.-%,
- As:  $\leq 0,01$  Gew.-%,
- Ca:  $\leq 0,005$  Gew.-%,

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

- Cr: 0,08 - 1,0 Gew.-%,
- B: 0,001 - 0,010 Gew.-%,

- Mo:  $\leq 0,5$  Gew.-%,
- Ni:  $\leq 0,5$  Gew.-%,
- Cu:  $\leq 0,2$  Gew.-%,
- Nb: 0,01 - 0,2 Gew.-%,

## EP 4 516 954 A1

(fortgesetzt)

Ti:	0,01 - 0,10 Gew.-%,
V:	≤ 0,3 Gew.-%,
W:	0,001 - 1,00 Gew.-%,

5

besteht.

10

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

15

- 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 Haspel-Temperatur (T4) höchstens 700 °C beträgt;
- f) Optionales Entzundern des warmgewalzten Stahlflachprodukts;
- g) optionales Kaltwalzen des Stahlflachprodukts, wobei der Kaltwalzgrad mindestens 30 % beträgt;
- h) Beschichten des Stahlflachprodukts mit einer Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80nm oder einer Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm.

20

25

4. Verfahren nach Anspruch 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Beschichten mittels physikalischer Gasphasenabscheidung oder elektrolytischer Abscheidung erfolgt.

30

5. Blechformteil, insbesondere geformt aus einem Stahlflachprodukt nach einem der Ansprüche 1 bis 2, aufweisend

- a) ein Stahlsubstrat, das aus einem Stahl, der 0,1 - 3 Gew.-% Mn und optional bis zu 0,01 Gew.-% B aufweist, besteht
- b) und einen auf mindestens einer Seite des Stahlsubstrats angeordneten Schutzüberzug,

35

**dadurch gekennzeichnet, dass** der Schutzüberzug eine Schutzschicht umfassend Mg mit einer Dicke von 20 - 80nm enthält oder eine Schutzschicht umfassend Mn mit einer Dicke von 350 - 800 nm enthält.

40

6. Blechformteil nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Blechformteil eine auf dem Korrosionsschutzüberzug angeordnete Oxidschicht umfasst.

45

7. Blechformteil nach einem der Ansprüche 5 bis 6 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stahlsubstrat des Blechformteils ein Gefüge mit zumindest teilweise mehr als 80 % Martensit, bevorzugt zumindest teilweise mehr als 90 % Martensit, aufweist.

8. Blechformteil nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stahl neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) aus

50

C:	0,04 - 0,45 Gew.-%,
Si:	0,02 - 1,2 Gew.-%,
Mn:	0,5 - 2,6 Gew.-%,
Al:	0,02 - 1,0 Gew.-%,

55

P:	≤ 0,05 Gew.-%,
S:	≤ 0,02 Gew.-%,
N:	≤ 0,02 Gew.-%,
Sn:	≤ 0,03 Gew.-%,

## EP 4 516 954 A1

(fortgesetzt)

As:  $\leq 0,01$  Gew.-%,  
Ca:  $\leq 0,005$  Gew.-%,

5

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

10

Cr: 0,08 - 1,0 Gew.-%,  
B: 0,001 - 0,010 Gew.-%,  
Mo:  $\leq 0,5$  Gew.-%,  
Ni:  $\leq 0,5$  Gew.-%,  
Cu:  $\leq 0,2$  Gew.-%,  
Nb: 0,01 - 0,2 Gew.-%,  
Ti: 0,01 - 0,10 Gew.-%,  
V:  $\leq 0,3$  Gew.-%,  
W: 0,001 - 1,00 Gew.-%,

15

20

besteht.

### 9. Verfahren zum Herstellen eines Blechformteils umfassend folgende Arbeitsschritte:

25

- 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  $T_{\text{Einlg}}$  des Zuschnitts beim Einlegen in ein für ein Warmpressformen vorgesehenes Umformwerkzeug (Arbeitsschritt c)) zumindest teilweise eine Temperatur oberhalb von  $M_s+100$  °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  $t_{\text{Trans}}$  höchstens 20 s, bevorzugt höchstens 15 s, beträgt;
- d. Warmpressformen des Blechzuschnitts zu dem Blechformteil, wobei der Zuschnitt im Zuge des Warmpressformens über eine Dauer  $t_{\text{WZ}}$  von mehr als 1 s mit einer zumindest teilweise mehr als 30 K/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit  $r_{\text{WZ}}$  auf die Zieltemperatur  $T_{\text{Ziel}}$  abgekühlt und optional dort gehalten wird;
- e. Entnehmen des auf die Zieltemperatur  $T_{\text{Ziel}}$  abgekühlten Blechformteils aus dem Werkzeug;
- f. Abkühlen des Blechformteils auf Raumtemperatur.

30

35

### 10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die zumindest teilweise im Blechzuschnitt erreichte Temperatur in Schritt b) zwischen $Ac_3$ und 1000 °C, bevorzugt zwischen 850 °C und 950 °C liegt.

40

### 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 10, wobei die Zieltemperatur $T_{\text{Ziel}}$ des Blechformteils zumindest teilweise unterhalb 400 °C, bevorzugt unterhalb 300 °C liegt.

45

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 24 19 6372

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 964 602 A1 (THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 9. März 2022 (2022-03-09) * Zusammenfassung; Ansprüche 1,9 * * Absätze [0001], [0006], [0026] - [0028], [0034], [0053] * -----	1,2,5-8	INV. C22C38/02 C22C38/04 C22C38/06 C21D1/673 C21D8/02
X	EP 2 993 248 A1 (THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]; THYSSENKRUPP AG [DE]) 9. März 2016 (2016-03-09) * Zusammenfassung; Ansprüche 1, 4, 9, 12 * * Absätze [0041] - [0044], [0049] * -----	1,5,6,9-11	C23C14/02 C23C14/08 C23C14/16
X	US 2022/380861 A1 (GRIGORIEVA RAISA [FR] ET AL) 1. Dezember 2022 (2022-12-01) * Zusammenfassung; Ansprüche 15-17 * * Absätze [0044] - [0049], [0062], [0067] * -----	1,2,5-11	
X	DE 10 2017 209982 A1 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 13. Dezember 2018 (2018-12-13) * Zusammenfassung; Ansprüche 1-2 * * Absätze [0009], [0011], [0033] - [0034], [0037], [0045] - [0047], [0049] * -----	1-4	RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC) C22C C23C C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>14. Januar 2025</b>	Prüfer <b>Mikloweit, Alexander</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 24 19 6372

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

14 - 01 - 2025

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3964602 A1	09-03-2022	CN 116249793 A	09-06-2023
		EP 3964602 A1	09-03-2022
		US 2023366056 A1	16-11-2023
		WO 2022049003 A1	10-03-2022
-----			
EP 2993248 A1	09-03-2016	BR 112017004225 A2	05-12-2017
		CN 106795613 A	31-05-2017
		EP 2993248 A1	09-03-2016
		EP 3189174 A1	12-07-2017
		ES 2804776 T3	09-02-2021
		ES 2813870 T3	25-03-2021
		JP 6788578 B2	25-11-2020
		JP 2017536472 A	07-12-2017
		KR 20170048542 A	08-05-2017
		PL 2993248 T3	30-11-2020
		PL 3189174 T3	16-11-2020
		US 2017260601 A1	14-09-2017
		US 2020255916 A1	13-08-2020
WO 2016034476 A1	10-03-2016		
-----			
US 2022380861 A1	01-12-2022	BR 112022005245 A2	20-09-2022
		CA 3167004 A1	06-05-2021
		CN 114555837 A	27-05-2022
		EP 4051814 A1	07-09-2022
		JP 7383810 B2	20-11-2023
		JP 2023500843 A	11-01-2023
		KR 20220072861 A	02-06-2022
		UA 128124 C2	10-04-2024
		US 2022380861 A1	01-12-2022
		WO 2021084303 A1	06-05-2021
		WO 2021084377 A1	06-05-2021
ZA 202203028 B	26-10-2022		
-----			
DE 102017209982 A1	13-12-2018	DE 102017209982 A1	13-12-2018
		EP 3415646 A1	19-12-2018
-----			

EPO FORM P0461

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

**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]
- EP 3924528 A1 [0005] [0006]
- WO 2016042079 A1 [0044]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- Grundlagen. **HOUARDY, HP.** Werkstoffkunde Stahl. Verlag Stahleisen GmbH, 1984, vol. 1, 229 [0057]
- **BRANDIS H.** *TEW-Techn. Ber.*, 1975, vol. 1, 8-10 [0069]