

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. März 2022 (10.03.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2022/048990 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

C21D 1/673 (2006.01) C22C 38/28 (2006.01)  
C21D 1/74 (2006.01) C22C 38/32 (2006.01)  
C21D 1/76 (2006.01) C23C 2/02 (2006.01)  
C21D 8/02 (2006.01) C23C 2/12 (2006.01)  
C22C 38/14 (2006.01) C23C 2/14 (2006.01)  
C22C 38/26 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/073630

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. August 2021 (26.08.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
20193905.5 01. September 2020 (01.09.2020) EP

(71) Anmelder: THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG  
[DE/DE]; Kaiser-Wilhelm-Str. 100, 47166 Duisburg (DE).

(72) Erfinder: KÖYER, Maria; Im Defdahl 313, 44141 Dortmund (DE). RUTHENBERG, Manuela; Espenstraße 47, 44143 Dortmund (DE).

(74) Anwalt: COHAUSZ & FLORACK PATENT- UND RECHTSANWÄLTE PARTNERSCHAFTSGESELLSCHAFT MBB; Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,

(54) Title: STEEL COMPONENT PRODUCED BY HOT-SHAPING A STEEL FLAT PRODUCT, STEEL FLAT PRODUCT AND METHOD FOR PRODUCING A STEEL COMPONENT

(54) Bezeichnung: DURCH WARMUMFORMEN EINES STAHLFLACHPRODUKTS HERGESTELLTES STAHLBAUTEIL, STAHLFLACHPRODUKT UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES STAHLBAUTEILS

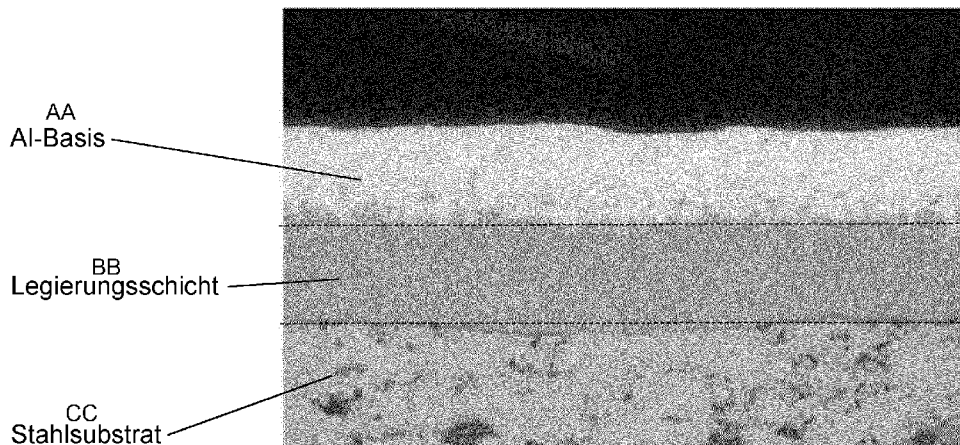


Fig. 3

AA Al base  
BB Alloy layer  
CC Steel substrate

(57) Abstract: The invention provides a steel component which is optimally protected against corrosion and produced by hot-shaping a steel flat product, and also provides a method and a steel flat product which permit the practical production of a steel component of this nature. The steel component comprises a steel substrate which consists of 0.10 – 0.4 % C, 0.05 – 0.5 % Si, 0.5 – 3.0 % Mn, 0.01 – 0.2 % Al, optionally up to 1.0 % Cr, - optionally up to 0.2 % V, < 0.1 % P, < 0.05 % S, < 0.021 % N and optionally in each case one or more elements from the group "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" where B: 0.0005 – 0.01 %, Ti: 0.001 – 0.1 %, Nb: 0.001 – 0.1 %, Ni: 0.01



WO 2022/048990 A1

MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,  
ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

– 0.4 %, Cu: 0.01 – 0.8 %, Mo: 0.002 – 1.0 %, W: 0.001 – 1.0 %, and as the remainder Fe and in total < 3 % impurities, and a metal protective coating formed on the steel substrate, which coating is made up of Si, Fe, optionally < 0.6 % Mg and as the remainder Al and < 2 % other constituents and of an alloy layer lying on the steel substrate, which alloy layer contains 35 - 90 % Fe and 5 - 3 % Si, an Al base layer lying on the alloy layer, which base layer contains 35 - 55 % Fe and < 3 % Si, and an oxide coating lying on the Al base layer and forming the external finish of the metal protective coating, which oxide layer consists of > 80 % oxides, the main portion of the oxides being aluminium oxide and there being present, in the oxide layer, additionally optionally hydroxides and/or magnesium oxide alone or as a mixture, and the remainder of the oxide layer not taken up by the oxides and optionally present hydroxides consisting of Si, Al and/or Mg in metal form (all % values are mass %).

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung stellt ein optimal gegen Korrosion geschütztes, durch Warmumformen eines Stahlflachprodukts hergestelltes Stahlbauteil sowie ein Verfahren und ein Stahlflachprodukt zur Verfügung, die die praxiserichtete Herstellung eines solchen Stahlbauteils ermöglichen. Das Stahlbauteil umfasst ein Stahlsubstrat, das aus 0,10 - 0,4 % C, 0,05 - 0,5 % Si, 0,5 - 3,0 % Mn, 0,01 - 0,2 % Al, optional bis zu 1,0 % Cr, - optional bis zu 0,2 % V, < 0,1 % P, < 0,05 % S, < 0,021 % N sowie jeweils optional einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" mit B: 0,0005 - 0,01 %, Ti: 0,001 - 0,1 %, Nb: 0,001 - 0,1 %, Ni: 0,01 - 0,4 %, Cu: 0,01 - 0,8 %, Mo: 0,002 - 1,0 %, W: 0,001 - 1,0 %, und als Rest aus Fe und in Summe < 3 % Verunreinigungen besteht, sowie einen auf dem Stahlsubstrat ausgebildeten metallischen Schutzüberzug, der aus Si, Fe, optional < 0,6 % Mg und als Rest aus Al sowie < 2 % sonstigen Bestandteilen zusammengesetzt ist und aus einer auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht, die 35 - 90 % Fe und 5 - 3 % Si enthält, einer auf der Legierungsschicht liegenden Al-Basissschicht, die 35 - 55 % Fe und < 3 % Si enthält, und einer auf der Al-Basissschicht liegenden, den äußeren Abschluss des metallischen Schutzüberzugs bildenden Oxidschicht besteht, die zu > 80 % aus Oxiden besteht, wobei der Hauptanteil der Oxide Aluminiumoxid ist und in der Oxidschicht zusätzlich optional Hydroxide und / oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden sind und wobei der nicht von den Oxiden und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Si, Al und/oder Mg in metallischer Form besteht (aller %-Angaben in Masse-%).

**DURCH WARMUMFORMEN EINES STAHLFLACHPRODUKTS  
HERGESTELLTES STAHLBAUTEIL, STAHLFLACHPRODUKT UND  
VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES STAHLBAUTEILS**

Die Erfindung betrifft ein durch Warmumformen eines Stahlflachprodukts hergestelltes Stahlbauteil, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauteils und ein zum Herstellen von Stahlbauteilen durch Warmumformen besonders geeignetes Stahlflachprodukt.

Als „Stahlflachprodukte“ werden hier Walzprodukte verstanden, deren Länge und Breite jeweils wesentlich größer sind als ihre Dicke. Hierzu zählen insbesondere Stahlbänder, Stahlbleche und daraus gewonnene Zuschnitte, wie Platinen und desgleichen.

Im vorliegenden Text sind, soweit nicht explizit etwas anderes vermerkt ist, Angaben zu Legierungsbestandteilen stets in Masse-% gemacht.

Werden im vorliegenden Text Formeln oder Bedingungen genannt, in denen anhand von Gehalten bestimmter Legierungselemente Werte berechnet oder gebildet werden, so werden die betreffenden Gehalte an Legierungselementen jeweils in Masse-% in diese Formeln oder Bedingungen eingesetzt, sofern nichts anderes angegeben ist.

Die Zusammensetzung und Dicke der einzelnen Lagen von auf Stahlsubstraten erzeugten metallischen Schutzüberzügen lassen sich mittels Glimmentladungsspektroskopie („GDOES“) gemäß ISO 11505:2012-12

bestimmen. Bei der GDOES werden die Gewichtsprozentage der einzelnen Elemente über die Schichtdicke gemessen. Dazu werden Proben geschnitten und mit n-Heptan gereinigt. Die so vorbereiteten Proben werden in ein Glimmentladungsspektroskop eingelegt und über die Schichtdicke mit einer Auflösung von 10 nm vermessen (s.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Glimmentladungsspektroskopie> – Auffinddatum 1. Oktober 2019).

Zu den Stählen, aus denen die Stahlsubstrate von Stahl Flachprodukten bestehen, die gemäß dem hier erläuterten Stand der Technik und der Erfindung verarbeitet werden, gehören insbesondere die so genannten "MnB-Stähle", welche in der EN 10083-3 genormt sind. Ein typisches Beispiel für einen solchen Stahl ist der unter der Bezeichnung 22MnB5 bekannte Stahl, der im Stahlschlüssel 2004 unter der Werkstoffnummer 1.5528 zu finden ist.

Typischerweise enthält auf dem Markt erhältlicher, vollberuhigter 22MnB5-Stahl neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,10 - 0,250 % C, 1,0 - 1,4 % Mn, 0,35 - 0,4 % Si, bis zu 0,03 % P, bis zu 0,01 % S, bis zu 0,040 % Al, bis zu 0,15 % Ti, bis zu 0,1 % Nb, in Summe bis zu 0,5 % Cr + Mo, sowie bis zu 0,005 % B.

Stähle der voranstehend angegebenen Art erlauben eine betriebssichere Prozessführung bei der Warmumformung der aus ihnen bestehenden Stahl Flachprodukte zu einem Stahlbauteil. Dabei weisen sie aufgrund ihrer Zusammensetzung die Besonderheit auf, dass den aus ihnen durch Warmumformen gefertigten Stahlbauteilen durch eine Wärmebehandlung hohe Festigkeiten verliehen werden können. Hierzu kann das durch die Warmumformung erhaltene Bauteil noch im Warmumformwerkzeug gezielt abgekühlt werden. Gleichzeitig sind jedoch Stahl Flachprodukte und die aus ihnen warmumgeformten Bauteile, die aus Stählen der hier in Rede stehenden Art bestehen, aufgrund des hohen Mn-Gehalts ihres Stahlsubstrats empfindlich gegen korrosive Angriffe. Deshalb werden solche Stahl Flachprodukte in der Regel vor der Warmumformung zu dem jeweiligen Stahlbauteil mit metallischen

Schutzüberzügen belegt, die das Stahlsubstrat gegen Korrosion schützen sollen.

Aus der EP 2 086 755 B1 ist ein Verfahren zum Herstellen eines warmumgeformten, beschichteten Stahlbauteils bekannt, bei dem durch Schmelztauchbeschichten eine aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, die, in Masse-%, 8 – 11 % Si und 2 – 4 % Fe enthält, bestehende Schutzschicht auf ein Stahlband mit einer Stärke von 20 bis 33  $\mu\text{m}$  aufgebracht wird. Das Stahlband besteht aus einem Stahl, der aus, in Masse-%, zwischen 0,15 – 0,5 % C, zwischen 0,5 – 3 % Mn, zwischen 0,1 – 0,5 % Si, zwischen 0,01 – 1 % Cr, weniger als 0,2 % Ti, weniger als 0,1 % Al, weniger als 0,1 % P, weniger als 0,05 % S und zwischen 0,0005 – 0,08 % B, Rest Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht. Von dem beschichteten Stahlband werden Platinen abgeteilt, die anschließend über eine bestimmte Dauer bei einer bestimmten Temperatur gehalten werden, wobei die jeweilige Dauer und Temperatur in Abhängigkeit von der Dicke der Platine gewählt werden. So liegen bei einer Platine, die 0,7 mm bis 1,5 mm dick ist, die Temperaturen und Glühdauern in einem Temperatur-Glühdauer-Koordinatensystem in einem Feld mit folgenden Eckpunkten: Punkt A - 930 °C, 3 min / Punkt B – 930 °C, 6 min / Punkt C – 880 °C, 13 min / Punkt D – 880 °C, 4 min. Bei einer 1,5 – 3 mm dicken Platine sollen dagegen Temperaturen und Glühdauern gewählt werden, die in dem Temperatur-Glühdauer-Koordinatensystem in einem durch die Eckpunkte E – 940 °C, 4 min / F - 940 °C, 8 min / G - 900 °C, 6,5 min / H - 900 °C, 13 min bestimmten Feld angeordnet sind. Die so erwärmten Platinen werden zu einem Stahlbauteil warmumgeformt, aus dem Umformwerkzeug entnommen und von der Warmumformtemperatur auf 400 °C mit einer Abkühlrate von mindestens 50 °C/s abgekühlt. Auf dem so erhaltenen Bauteil ist eine Al-basierte Schutzschicht vorhanden, die sich durch einen vierschichtigen Aufbau auszeichnet, nämlich einer Legierungsschicht, die auf dem Stahlsubstrat des Bauteils aufliegt und bei dem in der EP 2 086 755 B1 berichteten Ausführungsbeispiel, in Masse-%, zu 90 % aus Fe, 7 % aus Al und 3 % Si

besteht, einer Zwischenlage, die auf der Legierungsschicht aufliegt und bei dem in der EP 2 086 755 B1 berichteten Ausführungsbeispiel aus, in Masse-%, 43 % Fe, 57 % Al und 1 % Si besteht, einer intermetallischen Schicht, die auf der Zwischenlage aufliegt und bei dem in der EP 2 086 755 B1 berichteten Ausführungsbeispiel aus, in Masse-%, 65 % Fe, 31 % Al und 4 % Si besteht, sowie einer Oberflächenschicht, die den äußeren Abschluss der metallischen Schutzschicht bildet und zu, in Masse-%, 45 % aus Fe, 54 % aus Al und 1 % aus Si besteht.

Aus der CN 102 851 629 B ist ein anderes Verfahren zum Schmelztauchbeschichten von Stahlblechen bekannt, die für eine Warmpressformgebung bestimmt sind. Bei diesem bekannten Verfahren wird das Blech vor seiner Umformung mit einem vor Korrosion schützenden Überzug auf Al-Basis schmelztauchbeschichtet. Der Überzug enthält 0,1 – 0,3 Masse-% Seltene Erden, 1,3 – 3,8 Masse-% Si und als Rest Aluminium. Vor der Schmelztauchbeschichtung wird das jeweilige Stahlblech zunächst unter einer aus einem brennbaren Gas, wie Kohlegas, und Luft mit einem Mischungskoeffizienten von 0,8 – 1,2 gebildeten oxidierenden Atmosphäre bei Temperaturen von 600 – 700 °C und einem Taupunkt von -10 °C bis 30 °C geglüht. Anschließend durchläuft das Stahlband einen zweiten Glühschritt bei einer Glüh Temperatur von 800 – 850 °C unter einer reduzierenden Atmosphäre mit einem H<sub>2</sub>-Gehalt von 20 – 50 Vol.-%, Rest N und einem Taupunkt von -20 °C bis -60 °C.

Darüber hinaus ist aus der EP 2 993 248 A1 ein Stahlflachprodukt bekannt, das für die Warmumformung zu einem Stahlbauteil vorgesehen ist. Das Stahlsubstrat des Stahlflachprodukts besteht aus einem Stahl, der 0,1 – 3 Masse-% Mn und bis zu 0,01 Masse-% B aufweist. Auf das Stahlsubstrat ist ein Schutzüberzug auf Basis von Al aufgetragen, bei dem es sich typischerweise um einen AlSi-Überzug handelt, der neben Al 3 - 15 Masse-% Si enthält. Neben oder alternativ zu dem Si-Gehalt können in dem Al-basierten Schutzüberzug weitere Legierungsbestandteile, wie bis zu 5 Masse-%

Fe, enthalten sein. Als zusätzlichen Legierungsbestandteil enthält der Al-Schutzüberzug in Summe 0,005 - 0,7 Masse-% mindestens eines Erdalkali- oder Übergangsmetalls. Durch diesen zusätzlichen Legierungsbestandteil wird die Wasserstoffaufnahme bei der für ein Warmumformen erforderlichen Erwärmung minimiert, wobei sich die Zugabe von Mg oder Ca als für diese Zwecke besonders geeignet herausgestellt hat.

Auch in der EP 2 982 772 A1 sind Beispiele für die konventionelle Vorgehensweise beim Warmpressformen erläutert.

Zielrichtung der voranstehend erläuterten, aus dem Stand der Technik bekannten Entwicklungen ist neben einer Optimierung des Schutzes vor Korrosion die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit, mit der der Warmumformprozess ohne Einbußen hinsichtlich der Stabilität und Störungsresistenz durchgeführt werden kann.

Ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein optimal gegen Korrosion durch einen metallischen Schutzüberzug auf Al-Basis geschütztes, durch Warmumformen eines Stahlflachprodukts hergestelltes Stahlbauteil anzugeben, das sich besonders praxisgerecht herstellen lässt.

Ein diese Aufgabe lösendes Bauteil weist gemäß der Erfindung mindestens die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale auf.

Darüber hinaus sollte ein Verfahren angegeben werden, mit dem sich optimal gegen korrosive Angriffe geschützte Stahlbauteile durch Warmumformen in verkürzten Prozesszeiten herstellen lassen.

Ein diese Aufgabe lösendes Verfahren weist gemäß der Erfindung mindestens die in Anspruch 9 angegebenen Merkmale auf.

Es versteht sich dabei von selbst, dass ein Fachmann bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und seiner hier erläuterten Varianten und Ausbaumöglichkeiten diejenigen vorliegend nicht explizit erwähnten Arbeitsschritte ergänzt, von denen er aufgrund seiner praktischen Erfahrung weiß, dass sie bei der Durchführung solcher Verfahren regelmäßig angewendet werden.

Schließlich sollte auch noch ein Stahl Flachprodukt angegeben werden, das sich optimal zur Erzeugung eines Stahlbauteils durch Warmumformen eignet.

Ein diese Aufgabe lösendes Stahlbauteil weist erfindungsgemäß mindestens die in Anspruch 16 angegebenen Merkmale auf.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden wie der allgemeine Erfindungsgedanke nachfolgend im Einzelnen erläutert.

Gemäß der Erfindung umfasst ein durch Warmumformen eines Stahl Flachprodukts hergestelltes Stahlbauteil,

- ein Stahlsubstrat, das aus, in Masse-%,

0,10 - 0,4 % C, 0,05 - 0,5 % Si, 0,5 - 3,0 % Mn, 0,01 - 0,2 % Al, optional bis zu 1,0 % Cr, insbesondere 0,005 - 1,0 % Cr, optional bis zu 0,2 % V, insbesondere 0,001 - 0,2 % V, < 0,1 % P, < 0,05 % S, < 0,021 % N sowie jeweils optional aus einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei für die jeweils optional vorhandenen Gehalte an "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" gilt:

B: 0,0005 - 0,01 %, Ti: 0,001 - 0,1 %, Nb: 0,001 - 0,1 %, Ni: 0,01 - 0,4 %, Cu: 0,01 - 0,8 %, Mo: 0,002 - 1,0 %, W: 0,001 - 1,0 %,

und

- einen auf dem Stahlsubstrat ausgebildeten metallischen Schutzüberzug auf Basis von Aluminium mit Gehalten an Si, Fe und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg sowie sonstigen Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 3 Masse-% beschränkt sind, wobei der metallische Schutzüberzug aus drei ausgeprägten Schichten besteht, nämlich
  - einer auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht, welche 35 - 90 Masse-% Fe und höchstens 3 Masse-% Si enthält,
  - einer auf der Legierungsschicht liegenden Al-Basissschicht, welche 35 - 55 Masse-% Fe und weniger als 3 Masse-% Si enthält,

und

- einer auf der Al-Basissschicht liegenden, den äußeren Abschluss des metallischen Schutzüberzug bildenden Oxidschicht, welche zu mehr als 80 Masse-% aus Oxiden besteht, wobei der Hauptanteil der Oxide Aluminiumoxid ist und in der Oxidschicht zusätzlich optional Hydroxide und / oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden sind und wobei der nicht von den Oxiden und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Silizium, Aluminium und Magnesium besteht.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines warmumgeformten Stahlbauteils, das mit einem metallischen Schutzüberzug versehen ist, der aus Gehalten an Si, Al, Fe und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg sowie sonstigen Bestandteilen besteht, deren Gehalte in Summe auf höchstens 3 Masse-% beschränkt sind, umfasst folgende Arbeitsschritte:

- a) Bereitstellen eines kaltgewalzten, 0,6 - 3 mm dicken Stahlflachprodukts, das aus, in Masse-%,

C: 0,10 - 0,4 %,

Si: 0,05 - 0,5 %,

Mn: 0,5 - 3,0 %

Al: 0,01 - 0,2 %

optional Cr: bis zu 1,0 %, insbesondere 0,005 - 1,0 %

optional V: bis zu 0,2 %, insbesondere 0,001 - 0,2 %

P: < 0,1 %

S: < 0,05 %

N: < 0,021 %

sowie jeweils optional einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" mit der Maßgabe, dass der optional vorhandene B-Gehalt 0,0005 - 0,01 %, der optional vorhandene Ti-Gehalt 0,001 - 0,1 %, der optional vorhandene Nb-Gehalt 0,001 - 0,1 %, der optional vorhandene Ni-Gehalt 0,01 - 0,4 %, der optional vorhandene Cu-Gehalt 0,01 - 0,8 %, der optional vorhandene Mo-Gehalt 0,002 - 1,0 % und der optional vorhandene W-Gehalt 0,001 - 1,0 % beträgt, und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis zu 3% unvermeidbaren Verunreinigungen

besteht,

- b) Erwärmen des Stahlflachprodukts auf eine Schmelzbad-Eintrittstemperatur BET von 600 – 740 °C, wobei die Erwärmung
- einen ersten Glühschritt, bei dem das Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht und einen Taupunkt von -15 °C bis +60 °C aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 20 - 90 K/s auf eine Glühtemperatur GT1 von 550 - 750 °C erwärmt und bei der Glühtemperatur GT1 über eine Dauer von 10 s bis 360 s gehalten wird,
  - einen zweiten Glühschritt, bei dem das auf die Glühtemperatur GT1 erwärmte Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht und einen Taupunkt von -50 °C bis +5 °C aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 0,5 - 30 K/s,

insbesondere 0,5 – 10 K/s, auf eine Glühtemperatur GT2 erwärmt, die höher ist als die Glühtemperatur GT1 und 700 - 850 °C beträgt, und über eine Dauer von 10 s bis 360 s bei der Glühtemperatur GT2 gehalten wird,

und

- einen Abkühlschritt umfasst, bei dem das Stahlflachprodukt von der Glühtemperatur GT2 mit einer Abkühlrate von 0,5 K/s bis 40 K/s auf die Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET abgekühlt wird,
- c) Durchleiten des auf die Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET abgekühlten Stahlflachprodukts durch ein auf 680 - 720 °C temperiertes Schmelzenbad, das aus, in Masse-%,
  - Si: 0,05 - 3 %
  - Fe: 0,1 - 6 %,
  - optional Mg: ≤ 0,7 %und als Rest aus Al und in Summe höchstens 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht,
- d) Einstellen einer Dicke von 10 - 30 µm des auf dem Stahlflachprodukt im Schmelzenbad applizierten metallischen Schutzüberzugs durch Abstreifen von überschüssiger Schmelze von dem aus dem Schmelzenbad austretenden Stahlflachprodukt mittels eines Abstreifgases,
- e) Erwärmen einer aus dem Stahlflachprodukt abgeteilten Platine, in einem Ofen über eine Ofenverweilzeit OVZ von 60 s bis 180 s auf eine 820 - 1000 °C betragende Warmumformtemperatur WUT,
- f) Warmumformen der auf die Warmumformtemperatur erwärmten Platine zu dem Stahlbauteil;
- g) Abkühlen des erhaltenen Stahlbauteils mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10 K/s bis 100 K/s.

Das Stahlsubstrat eines erfindungsgemäßen Stahlbauteils und eines im Arbeitsschritt a) eines erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellten Stahlflachprodukts besteht aus einer für MnB-Stähle typischen Zusammensetzung.

Auf dem so zusammengesetzten Stahlsubstrat wird durch in konventioneller Weise durchgeführtes Schmelztauchbeschichten ein metallischer Schutzüberzug erzeugt, der zu mehr als 92 Masse-% aus Aluminium besteht und Gehalte an Si, Fe und optional Mg aufweist. Hierzu wird beim erfindungsgemäßen Verfahren das Stahlflachprodukt durch ein Schmelzenbad geleitet, dessen Zusammensetzung des beim Austritt aus dem Schmelzenbad auf dem Stahlflachprodukt vorhandenen metallischen Schutzüberzugs entspricht. Erst im Arbeitsschritt e) des erfindungsgemäßen Verfahrens, das heißt bei der Erwärmung auf die jeweilige Warmumformtemperatur und dem anschließenden Halten über die jeweilige Erwärmungsdauer bei der Warmumformtemperatur, stellt sich dann aus dem zuvor konventionell aufgetragenen Al-basierten Überzug der für ein erfindungsgemäßes Stahlbauteil charakteristische dreischichtige Aufbau des Schutzüberzugs des Stahlbauteils ein.

Im erfindungsgemäß im Arbeitsschritt c) auf das Stahlflachprodukt aufgebrauchten Schutzüberzug ist Silizium („Si“) vorhanden, um die Eisendiffusion in den Aluminiumüberzug einzustellen. Allerdings ist der Si-Gehalt auf höchstens 3 Masse-%, insbesondere weniger als 2 Masse-% oder weniger als 1,5 Masse-% beschränkt. Auf diese Weise wird erreicht, dass sich schon in der im Arbeitsschritt c) aufgetragenen Schutzschicht eine an dem Stahlsubstrat des Stahlflachprodukts anliegende eisenreiche Legierungsschicht bildet, die sich im Mittel über 1 – 100 % der Gesamtdicke der Schutzschicht erstrecken kann, wobei sie typischerweise eine Dicke aufweist, die im Mittel mindestens 10 %, insbesondere mehr als 35 % der Gesamtdicke des nach dem Arbeitsschritt c) auf dem Stahlflachprodukt erhaltenen Schutzüberzugs entspricht. Legierungsschichten mit einer Dicke von mindestens 10 % der Gesamtdicke des Überzugs lassen sich dabei bei Si-Gehalten von weniger als 2 Masse-% betriebssicher erzielen, wogegen sich Legierungsschichten mit einer Dicke von im Mittel mindestens 35 % der

Gesamtdicke des Überzugs bei Si-Gehalten des Schmelzenbades und des Überzugs von weniger als 1,5 Masse-% gewährleisten lassen. Besonders sicher lässt sich die Ausbildung einer Legierungsschicht, deren Dicke im Mittel regelmäßig mehr als 35 % der Gesamtdicke des nach dem Arbeitsschritt c) und vor dem Arbeitsschritt e) auf dem Stahlflachprodukt vorhandenen Schutzüberzugs entspricht, bei Si-Gehalten des Schmelzenbads und damit einhergehend des auf dem Stahlflachprodukt erzeugten Überzugs von 0,05 - Masse-% sicherstellen. Die sich aufgrund des geringen Si-Gehalts einstellenden hohen Eisengehalte im Schutzüberzug sind die Voraussetzung dafür, dass die Erwärmung auf die Warmumformtemperatur WUT in gegenüber dem Stand der Technik deutlich verkürzten Ofenverweilzeiten durchgeführt werden kann.

Um die Ausbildung der erfindungsgemäß angestrebten, hohe Eisen-Gehalte aufweisenden Legierungsschicht zu unterstützen, ist im erfindungsgemäß für den Auftrag des metallischen Schutzüberzugs vorgesehenen Schmelzenbad Eisen („Fe“) in Gehalten von 0,1 % bis 6 Masse-%, insbesondere von mindestens 2,5 Masse-%, enthalten. Oberhalb von 6 Masse-% liegende Fe-Gehalte würden den Schmelzpunkt des Schmelzenbades so stark erhöhen, so dass ein erfindungsgemäß zusammengesetzter Überzug nicht mehr wirtschaftlich durch konventionelles Schmelztauchbeschichten appliziert werden könnte.

Magnesium („Mg“) kann optional in Gehalten von bis zu 0,7 Masse-% im Schmelzenbad enthalten sein, um die Oxidschichtbildung maßgeblich zu beeinflussen und damit die Diffusion von Wasserstoff in das Stahlsubstrat zu minimieren. Allerdings können Mg- und Fe-Atome sich im metallischen Gitter gegenseitig ersetzen. Da es somit aufgrund ihrer ähnlichen Atomradien zu einer Konkurrenz zwischen Mg und Fe kommen könnte, werden erfindungsgemäß allenfalls geringe Zugaben an Mg von maximal 0,7 Masse-% zugelassen. Höhere Mg-Gehalte würden aufgrund der damit einhergehenden veränderten Diffusionsprozesse der angestrebten schnellen Aufheizung bei der Erwärmung auf die Warmumformtemperatur WUT im Arbeitsschritt e) des erfindungsgemäßen Verfahrens zuwiderlaufen. Daher ist der Mg-Gehalt des Schmelzenbads und damit

einhergehend des auf einem erfindungsgemäß bereitgestellten Stahlflachprodukt erzeugten Schutzüberzugs bevorzugt auf weniger als 0,5 Masse-% beschränkt, wobei sich die Vorteile der Anwesenheit von Mg ohne negative Auswirkungen auf die Dauer der Erwärmung im Arbeitsschritt e) bei Mg-Gehalten von 0,1 - 0,4 Masse-% besonders sicher nutzen lassen.

Vor dem Eintritt in das Schmelzenbad wird das jeweils schmelztauchzubeschichtende Stahlflachprodukt im Arbeitsschritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens zwei Stufen auf eine Schmelzbad-Eintrittstemperatur BET von 600 – 740 °C, insbesondere höchstens 730 °C oder höchstens 720 °C, erwärmt, wobei sich Badeintrittstemperaturen BET von mindestens 620 °C, insbesondere mindestens 670 °C, besonderes bewährt haben. In der ersten Stufe der Erwärmung wird das jeweilige Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht und einen Taupunkt von -15 °C bis +60 °C aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 20 - 90 K/s auf eine Glühtemperatur GT1 von 550 - 750 °C, insbesondere 600 – 700 °C, erwärmt und bei der Glühtemperatur GT1 über eine Dauer von 10 s bis 360 s gehalten, um das Gefüge einzustellen.

An diesen ersten Glühschritt schließt sich ein zweiter Glühschritt an, bei dem das auf die Glühtemperatur GT1 erwärmte Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die ebenfalls aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, jedoch einen Taupunkt von -50 °C bis +5 °C, insbesondere -40 °C bis -15 °C, aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 0,5 - 30 K/s, insbesondere 0,5 – 10 K/s auf eine Glühtemperatur GT2 erwärmt, die höher ist als die Glühtemperatur GT1 und 700 - 850 °C, insbesondere 710 – 790 °C, beträgt, und bei der Glühtemperatur GT2 über eine Dauer von 10 s bis 360 s gehalten wird, um das Gefüge einzustellen.

Im Anschluss an den zweiten Glühschritt wird das Stahlflachprodukt in einem Abkühlschritt von der Glühtemperatur GT2 auf die jeweilige Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET abgekühlt. Die Abkühlrate beträgt dabei 0,5 K/s bis 40 K/s, um das Stahlband auf die notwendige Bandedtauchtemperatur zu bringen.

Das so wärmebehandelte, auf die jeweilige Badeintrittstemperatur BET erwärmte Stahlflachprodukt wird in konventioneller Weise durch ein Schmelzenbad geleitet, dessen Temperatur 680 – 720 °C beträgt.

Die Dicke des auf dem aus dem Schmelzenbad austretenden Stahlflachprodukt vorhandenen Al-basierten Schutzüberzugs wird in ebenso konventioneller Weise durch Abstreifen von überschüssigem Beschichtungsmaterial auf eine Dicke von 10 - 30 µm, insbesondere 12 - 25 µm, je Seite des Stahlflachprodukts eingestellt. Für das Abstreifen wird eine konventionelle Abstreifdüse eingesetzt, aus der erfindungsgemäß als Abstreifmedium beispielsweise Druckluft, die typischerweise einen O<sub>2</sub>-Gehalt von 15 - 23 Vol.-% und einen N<sub>2</sub>-Gehalt von 76 – 85 Vol.-% aufweist, wobei der nicht durch O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> eingenommene Rest aus Kohlenstoffdioxid, Edelgasen, Wasser und sonstigen in Umgebungsluft üblicherweise vorhandenen Bestandteilen besteht, oder Stickstoff-Gas ausgebracht wird, dessen N<sub>2</sub>-Gehalt mehr als 90 Vol. % bei einem Taupunkt von weniger als +15 °C beträgt.

Ein erfindungsgemäßes Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Stahlbauteils durch Warmumformen umfasst dementsprechend ein Stahlsubstrat, das aus, in Masse-%, 0,10 - 0,4 % C, 0,05 - 0,5 % Si, 0,5 - 3,0 % Mn, 0,01 - 0,2 % Al, optional bis zu 1,0 % Cr, insbesondere 0,005 – 1,0 % Cr, optional bis zu 0,2 % V, insbesondere 0,001 – 0,2 % V, < 0,1 % P, < 0,05 % S, < 0,021 % N sowie jeweils optional aus einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei für die jeweils optional vorhandenen Gehalte an "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" gilt: B: 0,0005 - 0,01 %, Ti: 0,001 - 0,1 %, Nb: 0,001 - 0,1 %, Ni: 0,01 - 0,4 %, Cu: 0,01 - 0,8 %, Mo: 0,002 - 1,0

%, W: 0,001 - 1,0 %, und eine auf dem Stahlsubstrat aufliegende Schutzschicht auf Al-Basis. Erfindungsgemäß umfasst dabei die Al-basierte Schutzschicht drei Schichten und zwar eine auf dem Stahlsubstrat liegende Legierungsschicht, welche aus 35 – 60 Masse-% Fe, weniger als 3 Masse-% Si, optional bis zu 0,7 Masse-% Mg, insbesondere bis zu 0,6 Masse-% Mg, und als Rest aus Al und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalte in Summe 3 Masse-% betragen können, eine auf der Legierungsschicht liegende und an diese angeschlossene Al-Basissschicht, die aus weniger als 35 Masse-% Fe, weniger als 3 Masse-% Si, optional weniger als 0,7 Masse-% Mg und als Rest aus Al und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalte in Summe höchstens 3 Masse-% betragen können, und eine auf der Al-Basissschicht liegende und an diese angeschlossene, den äußeren Abschluss der metallischen Schutzschicht bildende Oxidschicht, in der optional bis weniger als 0,7 Masse-% Mg und bis zu 3 Masse-% sonstige Bestandteile vorhanden sind und die als Rest aus Al besteht, wobei das Al der Oxidschicht sowie, sofern vorhanden, das Mg der Oxidschicht jeweils in oxidischer oder hydroxidischer Form vorliegen.

Ein solcherart erfindungsgemäß beschaffenes Stahlflachprodukt liegt bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als Zwischenprodukt nach der in erfindungsgemäßer Weise absolvierten Schmelztauchbeschichtung, d.h. nach dem Arbeitsschritt d) und vor dem Arbeitsschritt e), vor.

Von dem so durch Schmelztauchbeschichten mit dem Schutzüberzug versehenen Stahlflachprodukt wird in konventioneller Weise eine Platine abgeteilt, deren Abmessungen so gewählt sind, dass sich daraus durch den anschließenden Warmumformprozess in einem Stück das jeweilige Stahlbauteil warmformen lässt.

Die Platine wird dann in einem Ofen über eine Ofenverweilzeit OVZ von 60 s bis 180 s auf eine 820 - 1000 °C betragende Warmumformtemperatur WUT erwärmt.

Das Erwärmen der Platine auf die oben genannte Temperatur erfolgt dabei vorzugsweise mit einer Aufheizrate von 1 bis 200 °C/s, insbesondere höchstens 30 °C/s, wobei sich

Aufheizraten von 3 - 20 °C/s in der Praxis besonders bewährt haben. Das Aufheizen kann dabei mit einer einheitlichen Aufheizrate bis zur jeweiligen Warmumformtemperatur WUT erfolgen. Es kann jedoch auch zweckmäßig sein, die Erwärmung in mindestens zwei aufeinander folgenden Stufen vorzunehmen, wobei in der ersten Stufe die Erwärmung mit einer mittleren Aufheizrate von 3 - 50 °C/s, insbesondere 6 - 20 °C/s oder 8 - 16 °C/s, und in der zweiten Stufe die Erwärmung mit einer Aufheizrate von 1 - 10 °C/s, insbesondere 2 - 5 °C/s vorgenommen wird. Auf diese Weise wird eine homogene Eisenanreicherung bei optimaler Wirtschaftlichkeit erreicht.

Bei der Erwärmung auf die Warmumformtemperatur WUT erfolgt die Diffusion von Eisen in den aluminiumbasierten Schutzüberzug der Platine genauso schnell wie die mit der Erwärmung einhergehende Umbildung des Gefüges des Stahlsubstrats in den austenitischen Zustand. So stellt sich auf der Platine schon innerhalb kurzer Erwärmungsdauer ein mit Eisen durchlegierter Schutzüberzug ein, bei dem in der Legierungsschicht und in der Al-Basissschicht jeweils mindestens 35 Masse-% Fe vorhanden sind.

Die Einlegierung von Fe in die Al-Basissschicht ist hier von entscheidender Bedeutung, da sich im großtechnischen Prozess der Warmumformung nur solche aluminiumbasierten Überzüge als verarbeitbar gelten, bei denen an der unterhalb der Oxidschicht liegenden Grenze der Al-Basissschicht reines Aluminium allenfalls in Gehalten von weniger als < 5 Masse-% vorliegt. Höhere Gehalte an reinem Aluminium würden die Gefahr mit sich bringen, dass beim Einlegen der jeweils warmumzuformenden, auf die Warmumformtemperatur erwärmten Platine in das Warmumformwerkzeug größere Mengen an Al noch schmelzflüssig auf der Oberfläche der Platine vorliegen würden, wodurch es im Warmumformwerkzeug zu unerwünschten, den Prozess der Umformung störenden Anbackungen und Anhaftungen von Überzugsmaterial kommen könnte.

Da der Prozess der Eindiffusion des Eisens in den Schutzüberzug synchron zur Austenitisierung des Stahlsubstrats abläuft, ist beim erfindungsgemäßen Verfahren die Ofenverweilzeit nicht mehr durch den Diffusionsprozess des Eisens

in den Überzug bestimmt. Die erfindungsgemäß vorgenommene Reduzierung des Si-Gehalts führt somit gegenüber der konventionellen Fertigungsweise zu einer deutlichen Verkürzung der Aufenthaltsdauer im Ofen, die eine erfindungsgemäß beschichtete Platine für die Erwärmung auf die Warmumformtemperatur und die damit einhergehende Ausbildung eines optimal wirksamen metallischen Schutzüberzugs auf Al-Basis benötigt. Dies erlaubt es, nicht nur bei Verwendung von konventionellen Öfen (Rollenherdöfen) die Prozesszeiten zu verkürzen, sondern auch Erwärmungstechnologien, wie Induktion, Konduktion oder Plattenerwärmung, anzuwenden, mit denen die jeweils verarbeitete Platine innerhalb weiter verkürzter Zeiten auf die jeweilige Warmumformtemperatur durcherwärmt werden können, ohne dass es dabei zu einem Aufschmelzen des im Schutzüberzug vorhandenen Aluminiums kommt.

Indem die Ofenverweilzeit OVZ auf höchstens 120 s beschränkt wird, lässt sich auf dem erfindungsgemäß hergestellten Stahlbauteil ein Al-basierter Schutzüberzug herstellen, in dessen Legierungsschicht 35 – 60 Masse-% Fe und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg bei gleichzeitig weit unter 3 Masse-% liegenden Si-Gehalten vorliegen.

Dabei liegen die im Schutzüberzug vorhandenen Si-Gehalte gleichmäßig verteilt über die Al-Basissschicht und die Legierungsschicht vor. Typischerweise liegt der Si-Gehalt der Legierungsschicht bei 0,5 Masse-%, wobei Si-Gehalte von mindestens 0,05 Masse-% in der Legierungsschicht regelmäßig anzutreffen sind. Gleichzeitig sind in der Al-Basissschicht typischerweise höchstens 3 Masse-% vorhanden, wobei in der Praxis Si-Gehalte der Al-Basissschicht von 0,5 bis 1,5 Masse-% erwartet werden können.

Überraschend hat sich herausgestellt, dass längere Ofenverweilzeiten OVZ keinen Einfluss auf die Zusammensetzung der zwischen der Oxidschicht und der auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht vorhandenen Al-basierten Schicht des erfindungsgemäß erzeugten Schutzüberzugs haben. Für die erfindungsgemäßen

Zwecke besonders geeignet sind daher Ofenverweilzeiten OVZ von weniger als 180 s, insbesondere höchstens 120 s oder höchstens 110 s.

Soll jedoch bei einem Si-Gehalt der Legierungsschicht von 0,7 - 3 Masse-% und einem optional vorhandenen Mg-Gehalt der Legierungsschicht von bis zu 0,2 Masse-% Mg, insbesondere von mindestens 0,05 Masse-% Mg, der Fe-Gehalt der Legierungsschicht auf 55 - 90 Masse-% erhöht werden, so kann dies durch eine mehr als 110 s, insbesondere mehr als 120 s, dauernde Ofenverweilzeit OVZ erreicht werden, wobei auch hier die Einlegierung des Eisens in die Legierungsschicht innerhalb gegenüber dem Stand der Technik verkürzter, typischerweise weniger als 180 s betragenden Ofenverweilzeiten abgeschlossen ist.

Im Arbeitsschritt f) wird die auf die Warmumformtemperatur WUT durcherwärmte Platine in konventioneller Weise in einem ebenso konventionellen Warmumformwerkzeug zu dem Stahlbauteil warmumgeformt.

Anschließend wird das erhaltene Stahlbauteil, wie im Stand der Technik ebenso üblich, mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10 - 360 K/s abgekühlt, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften des Bauteils zu erhalten.

Den voranstehenden Erläuterungen entsprechend eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Stahlbauteils.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 das Resultat einer GDOES-Tiefenmessung eines erfindungsgemäß legierten Schutzüberzugs auf Al-Basis eines in erfindungsgemäßer Weise erzeugten Stahlbauteils, wobei die Ofenverweilzeit, über die die Platine,

aus der das Stahlbauteil warmumgeformt worden ist, auf eine Warmumformtemperatur WUT von 920 °C erwärmt worden ist, 90 s betragen hat;

Fig. 2 das Resultat einer GDOES-Tiefenmessung des erfindungsgemäß legierten Schutzüberzugs auf Al-Basis eines in erfindungsgemäßer Weise erzeugten Stahlbauteils, wobei die Ofenverweilzeit, über die die Platine, aus der das Stahlbauteil warmumgeformt worden ist, auf die Warmumformtemperatur WUT von 920 °C erwärmt worden ist, 90 s betragen hat;

Fig. 3 eine gemäß DIN EN ISO 3887 erstellte lichtmikroskopische Aufnahme eines Querschliffs eines in erfindungsgemäßer Weise durch Schmelztauchbeschichten applizierten, Al-basierten Überzugs vor der Erwärmung auf die Warmumformtemperatur WUT in 1000-facher Vergrößerung.

In den Figuren 1 und 2 sind die Gehalte an Fe, Zn, Al, C und O jeweils bezogen auf 100 Masse-% dargestellt, wogegen die Gehalte an Mg, Mn und Si bezogen auf 10 Masse-% wiedergegeben sind.

Die Fig. 1 verdeutlicht, dass sich bei einem metallischen Schutzüberzug mit 2 % Silizium, 0,5 % Magnesium, 2,8 % Fe und Rest Aluminium sowie bis zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen die Legierungsschicht und die Al-basierte Schicht bei einer Erwärmung auf die Warmumformtemperatur WUT von 920 °C über eine Ofenverweilzeit OVZ von bis zu 110 s zunächst eine klar abgrenzbare Legierungsschicht entwickelt. So liegt der Übergang zwischen der Legierungsschicht der metallischen Schutzschicht und dem Stahlsubstrat des Stahlbauteils gemessen ausgehend von der freien Oberfläche der Schutzbeschichtung bei etwa 20 µm. Die auf dem Stahlsubstrat liegende Legierungsschicht erstreckt sich über eine Dicke von ca. 6 µm und über eine Tiefe von 14 – 20 µm, gemessen von der freien Oberfläche des

Schutzüberzugs aus. Auf der Legierungsschicht liegt eine Al-basierte Schicht, die sich über eine Tiefe von etwa 0,5 µm bis 14 µm, gemessen von der freien Oberfläche des Schutzüberzugs aus, erstreckt und dementsprechend etwa 13,5 µm dick ist. Die oberen 0,5 µm der Dicke des Schutzüberzugs werden von der Oxidschicht eingenommen, die auf der Al-basierten Schicht liegt. Die Oxidschicht besteht aus Aluminiumoxiden und -hydroxiden, aus Magnesiumoxiden und -hydroxiden sowie Mischungen aus diesen Oxiden und Hydroxiden.

Fig. 2 zeigt den Zustand, der sich nach einer Ofenverweilzeit OVZ von mehr als 110 s, jedoch weniger als 180 s, einstellt. Sowohl im in Fig. 1, als auch im in Fig. 2 dargestellten Zustand sind die Überzugsschichten durchlegiert mit Eisen und dementsprechend als fertiggestellt anzusehen.

Zur Erprobung der Erfindung sind fünf kaltgewalzte Stahlbänder mit einer Dicke von jeweils 1,5 mm bereitgestellt worden, deren Stahlsubstrate aus den gemäß Tabelle 1 legierten Stählen A – E bestanden.

Auf den so bereitgestellten Stahlbändern ist jeweils einer der metallischen Schutzüberzüge Z1 – Z4 durch Schmelztauchbeschichten aufgebracht worden, deren nach dem Schmelztauchbeschichten, jedoch vor der Erwärmung für die Warmumformung vorliegende Zusammensetzung in Tabelle 2 angegeben ist. Hierbei ist wie folgt vorgegangen worden: Ein Kaltband wird in einem ersten Glühschritt auf 670 °C für 20 sec erwärmt mit einer Aufheizrate von 60 K/s. Die dort vorliegende Atmosphäre besteht aus 95 % Stickstoff, bis zu 5 % Wasserstoff, Taupunkt +40°C und unvermeidbaren Verunreinigungen. Das Band wird direkt in die zweite Glühzone gebracht und dort mit 20 K/s auf 770 °C erwärmt und für 50 sec bei der Temperatur gehalten. Die Atmosphäre ändert sich nur hinsichtlich des Taupunktes der auf -40 °C abgesenkt wird. Danach erfolgt eine Abkühlung des Bandes auf 700 °C mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10 K/s. Mit einer Bandtemperatur von 700 °C taucht das Band in die flüssige Schmelze ein. Schmelzbadtemperatur entspricht ebenfalls 700 °C. Die

Schmelze setzt sich wie folgt zusammen 1,5 Massen% Silizium, 2,8 Massen% Eisen und 0,5 Massen% Magnesium, Rest Aluminium und in diesem Beispiel bis zu 1 % unvermeidbare Verunreinigungen.

Zehn Proben V1 – V10 der so jeweils mit einem der Schutzüberzüge Z1 – Z4 mit einem Auflagengewicht AG schmelztauchbeschichteten Stahlbänder A – E sind in einem für diese Zwecke im Stand der Technik üblicherweise eingesetzten Ofen über eine Ofenverweildauer OVZ auf eine Warmumformtemperatur WUT erwärmt, anschließend in konventioneller Weise zu einem Stahlbauteil umgeformt und schließlich mit einer Abkühlrate von 20 K/s auf Raumtemperatur abgekühlt worden.

Der Stahl, aus dem das Stahlsubstrat der jeweiligen Probe V1 – V10 bestand, der jeweils auf dem Stahlsubstrat aufgebrauchte Überzug, das Auflagengewicht AG, die jeweilige Warmumformtemperatur WUT und die jeweilige Ofenverweilzeit OVZ sind in Tabelle 3 angegeben. An den so erhaltenen Stahlbauteilen ist durch lichtmikroskopische Untersuchung in der oben beschriebenen Art und Weise der Anteil %DL der Dicke der Legierungsschicht an der Gesamtdicke des Überzugs sowie der Schichtaufbau des Überzugs ermittelt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Schließlich sind mittels GDOES-Analyse in der oben ebenfalls beschriebenen Weise die Zusammensetzungen der Al-Basissschicht und der Legierungsschicht der auf den aus den Proben V1 – V10 erzeugten Stahlbauteilen vorhandenen Schutzüberzüge ermittelt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Dabei sind für Al, Si und Fe jeweils die maximal und die minimal vorhandenen Gehalte angegeben, soweit ermittelt bzw. feststellbar.

Fig. 3 zeigt den typischen Aufbau einer Schutzschicht, die auf einem erfindungsgemäßen Stahlflächprodukt vorhanden ist, das als Zwischenprodukt

nach der in erfindungsgemäßer Weise durchgeführten Schmelztauchbeschichtung (Arbeitsschritt d)) vorliegt und in besonderer Weise für die in erfindungsgemäßer Weise erfolgende Warmumformung zu einem Stahlbauteil geeignet ist.

Zur Erzeugung der Stahl Flachprodukt-Probe, deren Schutzschichtaufbau in Fig. 3 dargestellt ist, ist ein in konventioneller Weise erzeugtes, 1,5 mm dickes und aus dem Stahl C bestehendes kaltgewalztes Stahlband mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 50 K/s unter einer zu mindestens 95 Vol.-% aus Stickstoff und als Rest aus bis zu 5 Vol.-% Wasserstoff sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen bestehenden Glühatmosfera auf eine Glühtemperatur GT1 von 625 °C erwärmt und bei der Glühtemperatur GT1 über eine Dauer von 120 s gehalten worden. Der Taupunkt der Glühatmosfera, unter der dieser erste Glühschritt stattfand, betrug +30 °C.

Im direkten Anschluss an den ersten Glühschritt ist das auf die Glühtemperatur GT1 erwärmte Stahl Flachprodukt mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 9 K/s auf eine Glühtemperatur GT2 erwärmt worden, die 780 °C betrug. Bei der Glühtemperatur GT2 ist das so erwärmte Stahlband über eine Glühdauer von 180 s gehalten worden. Dieser zweite Glühschritt erfolgte unter einer Glühatmosfera, die nur hinsichtlich ihres für den zweiten Glühschritt nun -35 °C betragenden Taupunkts gegenüber der Atmosphäre des ersten Glühschritts verändert worden ist.

Nach Ende dieser Glühdauer ist das kaltgewalzte Stahlband mit einer Abkühlrate von 25 K/s auf eine Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET von 680 °C abgekühlt worden.

Das so abgekühlte kaltgewalzte Stahlband ist durch ein auf 680 °C temperiertes Schmelzenbad geleitet worden, das aus 0,2 Masse-% Si und 0,3 Masse-% Mg, 1,5 Masse-% Fe sowie als Rest aus Al und in Summe höchstens 3 Masse-% unvermeidbaren Verunreinigungen bestand.

Zum Abschluss der Erzeugung des Zwischenprodukts ist die Dicke des im Schmelzenbad auf dem Stahlflachprodukt applizierten metallischen Schutzüberzugs durch in konventioneller Weise erfolgendes Abstreifen mittels eines Abstreifgases auf 20 µm eingestellt worden.

Anhand von Fig. 3 ist auch ersichtlich, wie zur Bestimmung der Legierungsschichtdicke Schliffbilder verwendet werden können. Die Schichtdicken werden lichtmikroskopisch bestimmt. Dazu werden Querschliffe poliert und mit 3 % Nitallösung geätzt. Unter dem Lichtmikroskop erscheint die auf dem Stahlsubstrat liegende Legierungsschicht bei Hellfeldbetrachtung und einer 1000-fachen Vergrößerung eindeutig dunkler als die darauf liegende Al-Basissschicht, die wiederum ebenso eindeutig von der den äußeren Abschluss des Schutzüberzugs bildenden, als dunkle dünne Lage zu erkennende Oxidschicht unterschieden werden kann.

Die Erfindung stellt somit optimal gegen Korrosion geschützte, jeweils durch Warmumformen eines Stahlflachprodukts hergestellte Stahlbauteile sowie ein Verfahren und ein Stahlflachprodukt zur Verfügung, die die praxisgerechte Herstellung eines solchen Stahlbauteils ermöglichen. Ein erfindungsgemäßes Stahlbauteil umfasst dabei

- ein Stahlsubstrat, das aus 0,10 - 0,4 Masse-% C, 0,05 - 0,5 Masse-% Si, 0,5 - 3,0 Masse-% Mn, 0,01 - 0,2 Masse-% Al, optional bis zu 1,0 Masse-% Cr, insbesondere 0,005 - 1,0 Masse-% Cr, optional bis zu 0,2 Masse-% V, insbesondere 0,001 - 0,2 Masse-% V, < 0,1 Masse-% P, < 0,05 Masse-% S, < 0,021 Masse-% N sowie jeweils optional einem oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" mit der Maßgabe, dass der Gehalt an B 0,0005 - 0,01-Masse-%, der Gehalt an Ti 0,001 - 0,1 Masse-%, der Gehalt an Nb 0,001 - 0,1 Masse-%, der Gehalt an Ni 0,01 - 0,4 Masse-%, der Gehalt an Cu 0,01 - 0,8 Masse-%, der Gehalt an Mo 0,002 - 1,0 Masse-%, der Gehalt an W 0,001 - 1,0 Masse-% beträgt, und als Rest aus Fe und in Summe  $\leq 3$  Masse-% Verunreinigungen besteht, sowie

- einen auf dem Stahlsubstrat ausgebildeten metallischen Schutzüberzug, der aus Si, Fe, optional  $\leq 0,6$  Masse-% Mg und als Rest aus Al sowie  $\leq 2$  Masse-% sonstigen Bestandteilen zusammengesetzt ist und der aus einer auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht, die 35 - 90 Masse-% Fe und  $\leq 3$  Masse-% Si enthält, einer auf der Legierungsschicht liegenden Al-Basisschicht, die 35 - 55 Masse-% Fe und  $< 3$  Masse-% Si enthält, und einer auf der Al-Basisschicht liegenden, den äußeren Abschluss des metallischen Schutzüberzugs bildenden Oxidschicht besteht, die zu  $> 80$  Masse-% aus Oxiden besteht, wobei der Hauptanteil der Oxide Aluminiumoxid ist und in der Oxidschicht zusätzlich optional Hydroxide und / oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden sind und wobei der nicht von den Oxiden und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Si, Al und/oder Mg in metallischer Form besteht (aller Masse-%-Angaben in Masse-Masse-%).

Stahl	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	B	Cr	V
A	0,21	0,25	1,12	0,015	0,002	0,03	-	0,02	0,003	0,0055	0,001
B	0,07	0,08	0,85	0,02	0,005	0,04	0,022	0,005	-	0,006	0,0015
C	0,22	0,24	1,2	0,011	0,001	0,025	-	0,04	0,004	0,005	0,001
D	0,37	0,3	1,25	0,005	0,001	0,04	-	0,03	0,003	0,0058	0,0018
E	0,24	0,27	1,3	0,017	0,002	0,04	-	0,02	0,004	0,005	0,001

Gehaltsangaben in Masse-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 1

Überzug vor der Warmumformung	Mg	Si	Fe	Erfindungsgemäß?
Z1	0,3	0,06	3,3	JA
Z2	0,5	2	2,8	JA
Z3	0,1	5	3,5	NEIN
Z4	0	0,1	2,5	JA

Angaben in Masse-%, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen

Tabelle 2

Probe Nr.	Stahl	Überzug	AG [ $\mu\text{m}$ ]	WUT [ $^{\circ}\text{C}$ ]	OVZ [s]	Erfindungs-gemäß
V1	A	Z4	20	920	90	JA
V2	A	Z3	20	920	240	NEIN
V3	C	Z4	10	920	100	JA
V4	C	Z1	25	920	110	JA
V5	C	Z3	20	920	260	NEIN
V6	E	Z4	20	920	85	JA
V7	E	Z2	20	920	115	JA
V8	B	Z2	20	950	110	JA
V9	D	Z2	10	840	80	JA
V10	D	Z1	25	950	115	JA

Tabelle 3

Probe Nr.	%DL [%-Anteil an der Gesamtdicke des Überzugs]	Schichtaufbau *)
V1	75	Ox-Al-Leg – Stahlsubstrat
V2	10	Ox-Al-Leg – Stahlsubstrat
V3	70	Ox-Al-Leg - Stahlsubstrat
V4	40	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V5	8	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V6	80	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V7	35	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V8	37	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V9	40	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat
V10	50	Ox-Al- Leg – Stahlsubstrat

\*) „Ox“ = „Oxidschicht“; „Al“ = Al-Basissschicht; „Leg“ = Legierungsschicht

Tabelle 4

Probe Nr.	Teilschicht Al-Basis („Al“)				Teilschicht Legierungsschicht („Leg“)			
	Al	Si	Mg	Fe	Al	Si	Mg	Fe
V1	97-60	--	--	2-40	60-0	--	--	40-99
V2	95-65	<1,8	<0,1	2-35	65-0	<1,8	--	35-99
V3	97-60	--	--	2-38	60-0	--	--	38-99
V4	96-66	--	<0,1	2-33	66-0	--	--	33-99
V5	97-68	<1,6	<0,05	2-33	68-0	<1,8	--	33-99
V6	97-60	--	--	2-38	60-0	--	--	38-99
V7	95-60	<1,8	<0,1	5-36	60-0	<1,8	--	36-98
V8	95-60	<1,8	<0,1	5-36	60-0	<1,8	--	36-98
V9	95-60	<1,8	<0,1	5-36	60-0	<1,8	--	36-98
V10	96-66	--	<0,05	2-33	66-0	--	--	33-99

Tabelle 5

## PATENTANSPRÜCHE

1. Durch Warmumformen eines Stahlflachprodukts hergestelltes Stahlbauteil,
  - mit einem Stahlsubstrat, das aus, in Masse-%, 0,10 - 0,4 % C, 0,05 - 0,5 % Si, 0,5 - 3,0 % Mn, 0,01 - 0,2 % Al, optional bis zu 1,0 % Cr, –optional bis zu 0,2 % V, < 0,1 % P, < 0,05 % S, < 0,021 % N sowie jeweils optional aus einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei für die jeweils optional vorhandenen Gehalte an "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" gilt: B: 0,0005 - 0,01 %, Ti: 0,001 - 0,1 %, Nb: 0,001 - 0,1 %, Ni: 0,01 - 0,4 %, Cu: 0,01 - 0,8 %, Mo: 0,002 - 1,0 %, W: 0,001 - 1,0 %, und
  - mit einem auf dem Stahlsubstrat ausgebildeten metallischen Schutzüberzug auf Basis von Aluminium mit Gehalten an Si, Fe und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg sowie sonstigen Bestandteilen, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2 Masse-% beschränkt sind, wobei der metallische Schutzüberzug aus drei ausgeprägten Schichten besteht, nämlich
    - einer auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht, welche 35 - 90 Masse-% Fe und höchstens 3 Masse-% Si enthält,
    - einer auf der Legierungsschicht liegenden Al-Basissschicht, welche 35 - 55 Masse-% Fe und weniger als 3 Masse-% Si enthält,und

- einer auf der Al-Basissschicht liegenden, den äußeren Abschluss des metallischen Schutzüberzugs bildenden Oxidschicht, welche zu mehr als 80 Masse-% aus Oxiden besteht, wobei der Hauptanteil der Oxide Aluminiumoxid ist und in der Oxidschicht zusätzlich optional Hydroxide und / oder Magnesiumoxid alleine oder als Mischung vorhanden sind und wobei der nicht von den Oxiden und optional vorhandenen Hydroxiden eingenommene Rest der Oxidschicht aus Silizium, Aluminium und/oder Magnesium in metallischer Form besteht
2. Stahlbauteil nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s in der Legierungsschicht 35 – 60 Masse-% Fe, und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg vorhanden sind.
  3. Stahlbauteil nach Anspruch 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s der Si-Gehalt der Legierungsschicht geringer 3 Masse-% beträgt.
  4. Stahlbauteil nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s der Fe-Gehalt der Legierungsschicht 55 - 90 Masse-%, der Si-Gehalt der Legierungsschicht 0,7 - 3 Masse-% und der optional vorhandene Mg-Gehalt der Legierungsschicht bis zu 0,3 Masse-% beträgt.
  5. Stahlbauteil nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s der Si-Gehalt der Legierungsschicht mindestens doppelt so hoch ist wie der Si-Gehalt in der Al-Basissschicht.
  6. Stahlbauteil nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s der Si-Gehalt der Al-Basissschicht höchstens 3 Masse-% beträgt.

7. Stahlbauteil nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Mg-Gehalt des metallischen Schutzüberzugs mindestens 0,1 Masse-% beträgt, dass der Mg-Gehalt verteilt über dem an die freie Außenseite der Oxidschicht angrenzenden oberen Drittel der Dicke des metallischen Schutzüberzugs vorliegt und dass mehr als 50 % des Mg-Gehalts in der Oxidschicht gebunden sind.
8. Stahlbauteil nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des metallischen Schutzüberzugs 10 - 30  $\mu\text{m}$  beträgt.
9. Verfahren zur Herstellung eines warmumgeformten Stahlbauteils, das mit einem metallischen Schutzüberzug versehen ist, der aus Gehalten an Si, Al, Fe und optional bis zu 0,6 Masse-% Mg sowie sonstigen Bestandteilen besteht, deren Gehalte in Summe auf höchstens 2 Masse-% beschränkt sind, umfassend folgende Arbeitsschritte:
  - a) Bereitstellen eines kaltgewalzten, 0,6 - 3 mm dicken Stahlflachprodukts, das aus, in Masse-%,
    - C: 0,10 - 0,4 %,
    - Si: 0,05 - 0,5 %,
    - Mn: 0,5 - 3,0 %
    - Al: 0,01 - 0,2 %
    - optional Cr: bis zu 1,0 %
    - optional V: bis zu 0,2 %
    - P: < 0,1 %
    - S: < 0,05 %
    - N: < 0,021 %

sowie jeweils optional einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" mit der Maßgabe, dass der optional vorhandene B-Gehalt 0,0005 - 0,01 %, der optional vorhandene Ti-Gehalt 0,001 - 0,1 %, der optional vorhandene Nb-Gehalt 0,001 - 0,1 %, der optional vorhandene Ni-Gehalt 0,01 - 0,4 %, der optional vorhandene Cu-Gehalt 0,01 - 0,8 %, der optional vorhandene Mo-Gehalt 0,002 - 1,0 % und der optional vorhandene W-Gehalt 0,001 - 1,0 % beträgt,  
und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht,

- b) Erwärmen des Stahlflachprodukts auf eine Schmelzbad-Eintrittstemperatur BET von 600 – 740 °C, wobei die Erwärmung
- einen ersten Glühschritt, bei dem das Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht und einen Taupunkt von -15 °C bis +60 °C aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 20 - 90 K/s auf eine Glühtemperatur GT1 von 550 - 750 °C erwärmt und bei der Glühtemperatur GT1 über eine Dauer von 10 s bis 360 s gehalten wird,
  - einen zweiten Glühschritt, bei dem das auf die Glühtemperatur GT1 erwärmte Stahlflachprodukt unter einer Glühatmosfera, die aus mindestens 90 Vol.-% N<sub>2</sub> und als Rest aus H<sub>2</sub> sowie technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht und einen Taupunkt von -50 °C bis +5 °C aufweist, mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von 0,5 - 30 K/s auf eine Glühtemperatur GT2 erwärmt, die höher ist als die Glühtemperatur GT1 und 700 - 850 °C beträgt, und über eine Dauer von 10 s bis 360 s bei der Glühtemperatur GT2 gehalten wird,

und

- einen Abkühlschritt umfasst, bei dem das Stahlflachprodukt von der Glühtemperatur GT2 mit einer Abkühlrate 0,5 K/s bis 40 K/s auf die Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET abgekühlt wird,

c) Durchleiten des auf die Schmelzenbad-Eintrittstemperatur BET abgekühlten Stahlflachprodukts durch ein auf 680 - 720 °C temperiertes Schmelzenbad, das aus, in Masse-%,

Si: 0,05 - 3 %

Fe: 0,1 - 6 %,

optional Mg:  $\leq 0,7$  %

und als Rest aus Al und in Summe höchstens 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht,

d) Einstellen einer Dicke von 10 - 30  $\mu\text{m}$  des auf dem Stahlflachprodukt im Schmelzenbad applizierten metallischen Schutzüberzugs durch Abstreifen von überschüssiger Schmelze von dem aus dem Schmelzenbad austretenden Stahlflachprodukt mittels eines Abstreifgases,

e) Erwärmen einer aus dem Stahlflachprodukt abgeteilten Platine, in einem Ofen über eine Ofenverweilzeit OVZ von 60 s bis 180 s auf eine 820 - 1000 °C betragende Warmumformtemperatur WUT

f) Warmumformen der auf die Warmumformtemperatur erwärmten Platine,

g) Abkühlen des erhaltenen Stahlbauteils mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10 K/s bis 100 K/s.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ofenverweilzeit OVZ höchstens 120 s beträgt.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ofenverweilzeit OVZ mehr als 120 s beträgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ofenverweilzeit OVZ mindestens 90 s beträgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 12, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Arbeitsschritt d) und vor dem Arbeitsschritt e) auf dem Stahlsubstrat ein metallischer Schutzüberzug vorhanden ist, der aus einer auf dem Stahlsubstrat liegenden Legierungsschicht, welche aus 35 - 60 Masse-% Fe, weniger als 3 Masse-% Si, optional bis zu 0,6 Masse-% Mg und als Rest aus Al und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalt in Summe 3 Masse-% betragen kann, aus einer Al-Basissschicht, die aus weniger als 35 Masse-% Fe, weniger als 3 Masse-% Si, optional weniger als 0,7 Masse-% Mg und als Rest aus Al und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalte in Summe höchstens 3 Masse-% betragen, und aus einer auf der Al-Basissschicht liegenden, den äußeren Abschluss des metallischen Schutzüberzugs bildenden Oxidschicht, deren Gehalt an Al 90-99 Masse-% beträgt, wobei in der Oxidschicht optional weniger als 0,7 Masse-% Mg und bis zu 3 Masse-% sonstige Bestandteile vorhanden sind.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 – 13, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Glühtemperatur GT1 im Arbeitsschritt  
b) GT1 600 - 700 °C und die Glühtemperatur GT2 710 - 790 °C beträgt.
15. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 hergestellt durch ein  
gemäß einem der Ansprüche 9 – 14 ausgebildetes Verfahren.
16. Stahlblech zur Herstellung eines Stahlbauteils durch Warmumformen,  
wobei das Stahlblech ein Stahlsubstrat, das aus, in Masse-%, 0,10 - 0,4 %  
C, 0,05 - 0,5 % Si, 0,5 - 3,0 % Mn, 0,01 - 0,2 % Al, optional bis zu 1,0 % Cr,  
optional bis zu 0,2 % V, < 0,1 % P, < 0,05 % S, < 0,021 % N sowie jeweils  
optional aus einem Element oder mehreren Elementen aus der Gruppe "B,  
Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" und als Rest aus Eisen und in Summe höchstens bis  
zu 3 % unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei für die jeweils  
optional vorhandenen Gehalte an "B, Ti, Nb, Ni, Cu, Mo, W" gilt: B: 0,0005 -  
0,01 %, Ti: 0,001 - 0,1 %, Nb: 0,001 - 0,1 %, Ni: 0,01 - 0,4 %, Cu: 0,01 - 0,8  
%, Mo: 0,002 - 1,0 %, W: 0,001 - 1,0 %, und eine auf dem Stahlsubstrat  
aufliegende Schutzschicht auf Al-Basis umfasst, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Schutzschicht folgende drei  
Schichten umfasst:
- eine auf dem Stahlsubstrat liegende und an diese angeschlossene  
Legierungsschicht, welche aus, in Masse-%, 35 - 60 % Fe, weniger als  
3 % Si, optional bis weniger als 0,7 % Mg und als Rest aus Al und  
unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalte in Summe  
höchstens 3 % betragen,
  - eine auf der Legierungsschicht liegende und an diese angeschlossene  
Al-Basissschicht, die aus, in Masse-%, weniger als 35 % Fe, weniger als  
3 % Si, optional weniger als 0,7 % Mg und als Rest aus Al und

unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, deren Gehalte in Summe höchstens 3 % betragen, und

- eine auf der Al-Basissschicht liegende und an diese angeschlossene Oxidschicht, die den äußeren Abschluss der metallischen Schutzschicht bildet und aus, in Masse-%, optional bis zu weniger als 0,7 % in oxidischer oder hydroxidischer Form vorliegendem Mg und als Rest aus Al in oxidischer oder hydroxidischer Form sowie bis zu 3 Masse-% sonstigen Bestandteilen besteht.

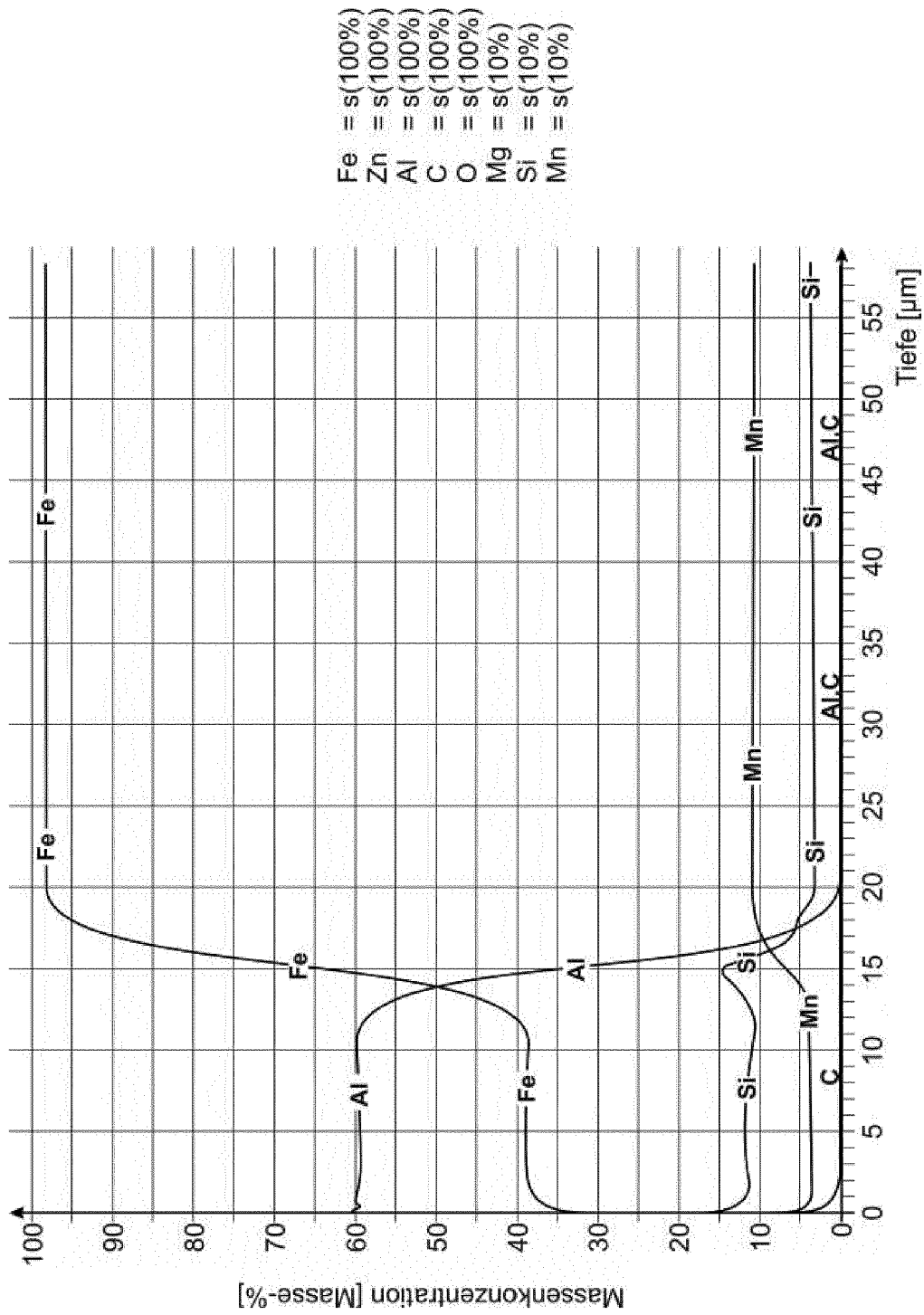


Fig. 1

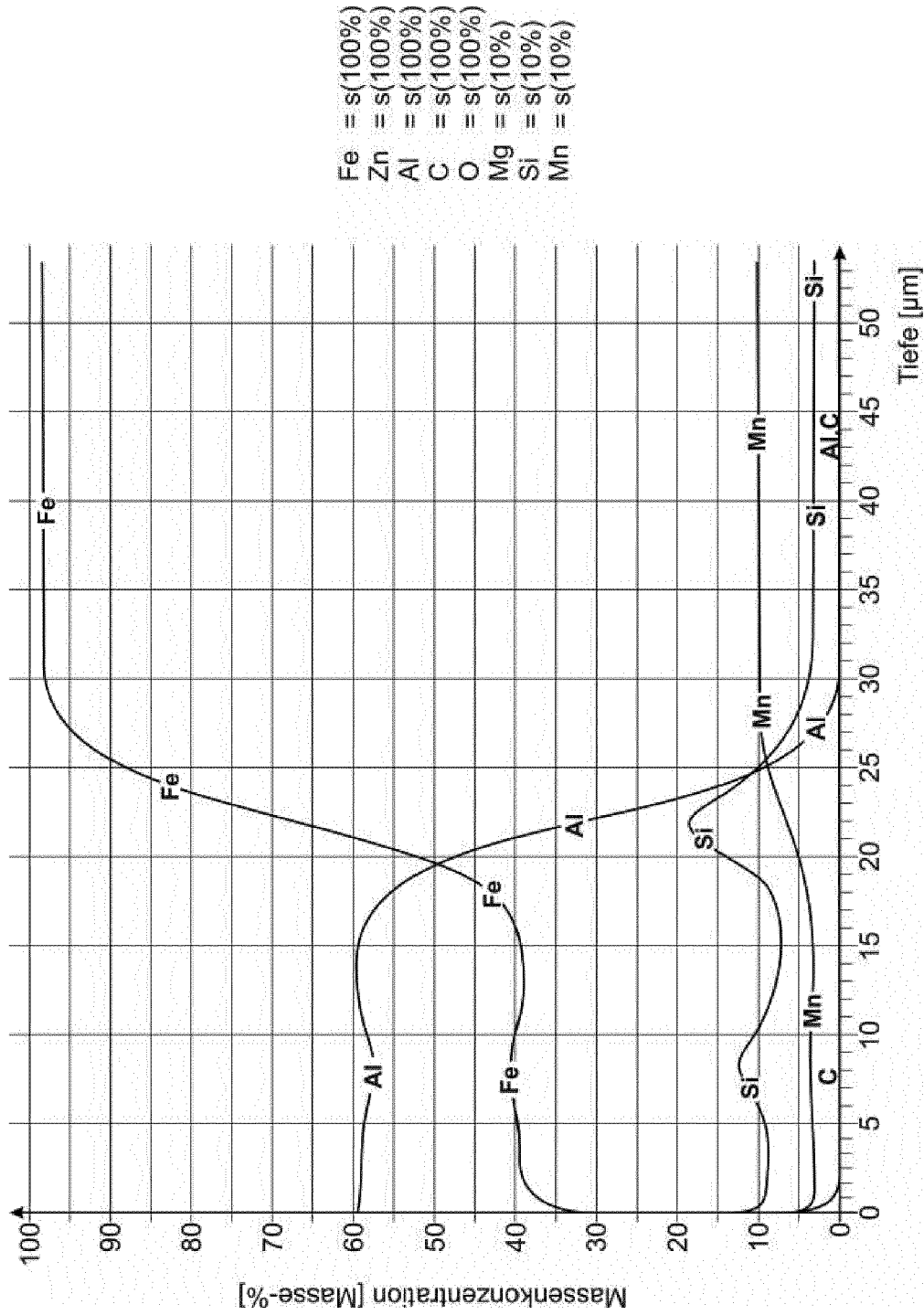


Fig. 2

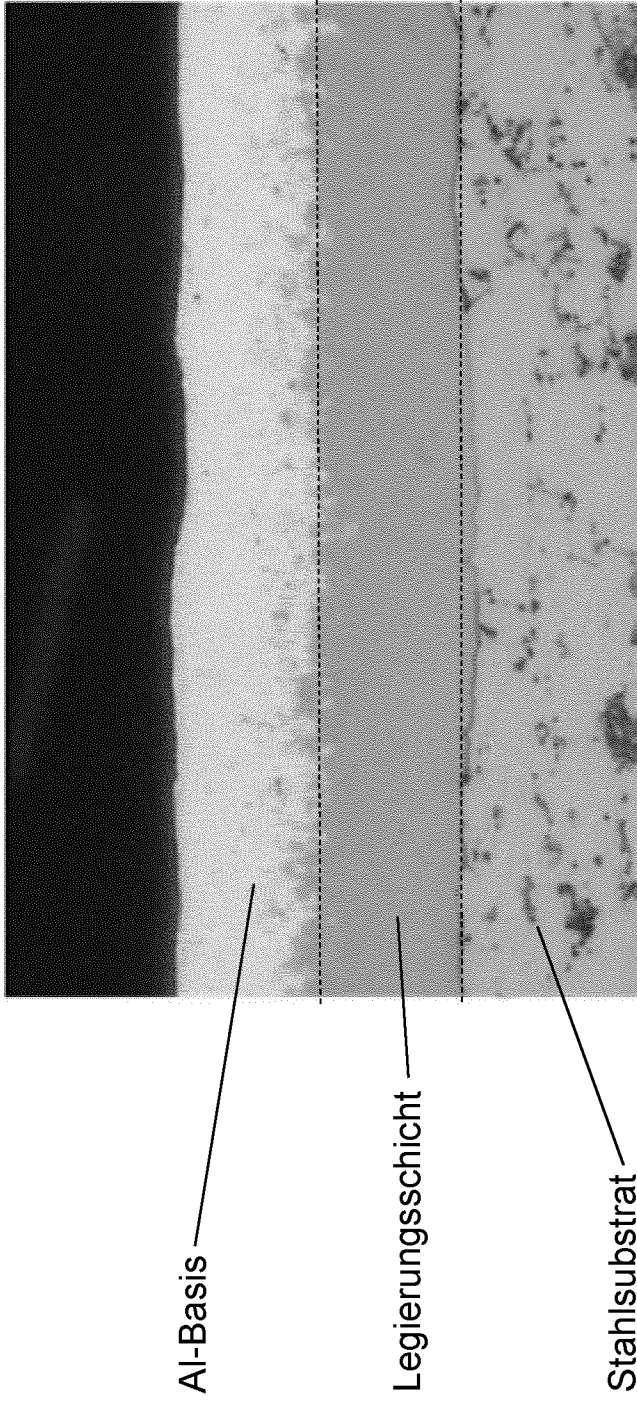


Fig. 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/073630

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>C21D 1/673</i> (2006.01)i; <i>C21D 1/74</i> (2006.01)i; <i>C21D 1/76</i> (2006.01)i; <i>C21D 8/02</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/14</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/26</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/28</i> (2006.01)i; <i>C22C 38/32</i> (2006.01)i; <i>C23C 2/02</i> (2006.01)i; <i>C23C 2/12</i> (2006.01)i; <i>C23C 2/14</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C21D; C23C; C22C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102851629 B (ANGANG STEEL CO LTD) 02 September 2015 (2015-09-02)	16
Y	paragraphs [0012] - [0061]; claims 1,2; examples 1-3	1-15
Y	EP 2982772 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP [JP]) 10 February 2016 (2016-02-10)	1-15
A	claims 1-20; figure 8; tables 1-1,1-2,2-1,2-2	16
Y	DE 102014109943 B3 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 05 November 2015 (2015-11-05)	1-15
A	paragraphs [0018], [0025] - [0028], [0031], [0039], [0046]; claims 1-18; table 1	16
A	DE 102017210201 A1 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 20 December 2018 (2018-12-20)	1-16
	claims 1-13; tables 1,2	
A	EP 3396010 A1 (POSCO [KR]) 31 October 2018 (2018-10-31)	1-16
	claims 1-18; figures 1,2; tables 1-11	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>15 December 2021</b>		Date of mailing of the international search report <b>04 January 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Catana, Cosmin</b>  Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SUEHIRO M ET AL. "Properties of aluminium-coated steels for hot forming" <i>NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT OVERSEAS, NIPPON STEEL CO., TOKYO, JP</i> , No. 88, 01 July 2003 (2003-07-01), pages 16-21 ISSN: 0300-306X, XP002393305 abstract; figures 1-21; tables 1-3	1-16
A	WINDMANN M ET AL. "Formation of intermetallic phases in Al-coated hot-stamped 22MnB5 sheets in terms of coating thickness and Si content" <i>SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY</i> , Vol. 246, 11 March 2014 (2014-03-11), pages 17-25 DOI: 10.1016/J.SURFCOAT.2014.02.056 ISSN: 0257-8972, XP028839531 abstract; figures 1-9	1-16

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2021/073630**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	102851629	B	02 September 2015	NONE	
EP	2982772	A1	10 February 2016	BR 112015024777 A2	18 July 2017
				CA 2908356 A1	09 October 2014
				CN 105074038 A	18 November 2015
				EP 2982772 A1	10 February 2016
				EP 3456855 A1	20 March 2019
				ES 2712379 T3	13 May 2019
				JP 6225988 B2	08 November 2017
				JP WO2014162984 A1	16 February 2017
				KR 20150121163 A	28 October 2015
				PL 2982772 T3	29 March 2019
				RU 2015141478 A	11 May 2017
				TW 201443249 A	16 November 2014
				US 2016060722 A1	03 March 2016
				US 2020109458 A1	09 April 2020
				WO 2014162984 A1	09 October 2014
DE	102014109943	B3	05 November 2015	CA 2952757 A1	21 January 2016
				CN 107002213 A	01 August 2017
				DE 102014109943 B3	05 November 2015
				EP 3169734 A1	24 May 2017
				ES 2710700 T3	26 April 2019
				JP 2017528595 A	28 September 2017
				KR 20170036700 A	03 April 2017
				PL 3169734 T3	31 May 2019
				TR 201902032 T4	21 March 2019
				US 2017198152 A1	13 July 2017
				WO 2016008714 A1	21 January 2016
DE	102017210201	A1	20 December 2018	CN 109136775 A	04 January 2019
				DE 102017210201 A1	20 December 2018
				EP 3642371 A1	29 April 2020
				WO 2018234102 A1	27 December 2018
EP	3396010	A1	31 October 2018	CN 108474096 A	31 August 2018
				EP 3396010 A1	31 October 2018
				ES 2770101 T3	30 June 2020
				JP 6704995 B2	03 June 2020
				JP 2019506523 A	07 March 2019
				KR 101696121 B1	13 January 2017
				US 2019003029 A1	03 January 2019
				WO 2017111525 A1	29 June 2017

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2021/073630

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES					
INV.	C21D1/673	C21D1/74	C21D1/76	C21D8/02	C22C38/14
	C22C38/26	C22C38/28	C22C38/32	C23C2/02	C23C2/12
	C23C2/14				
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC					
B. RECHERCHIERTE GEBIETE					
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) <b>C21D C23C C22C</b>					
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen					
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) <b>EPO-Internal, WPI Data</b>					
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN					
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile				Betr. Anspruch Nr.
<b>X</b>	<b>CN 102 851 629 B (ANGANG STEEL CO LTD)</b>				<b>16</b>
	<b>2. September 2015 (2015-09-02)</b>				
<b>Y</b>	<b>Absätze [0012] - [0061]; Ansprüche 1,2;</b>				<b>1-15</b>
	<b>Beispiele 1-3</b>				
	-----				
<b>Y</b>	<b>EP 2 982 772 A1 (NIPPON STEEL &amp; SUMITOMO METAL CORP [JP])</b>				<b>1-15</b>
	<b>10. Februar 2016 (2016-02-10)</b>				
<b>A</b>	<b>Ansprüche 1-20; Abbildung 8; Tabellen</b>				<b>16</b>
	<b>1-1,1-2,2-1,2-2</b>				
	-----				
<b>Y</b>	<b>DE 10 2014 109943 B3 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE])</b>				<b>1-15</b>
	<b>5. November 2015 (2015-11-05)</b>				
<b>A</b>	<b>Absätze [0018], [0025] - [0028], [0031], [0039], [0046]; Ansprüche 1-18; Tabelle 1</b>				<b>16</b>
	-----				
	-/--				
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie					
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist			"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche			Absendedatum des internationalen Recherchenberichts		
<b>15. Dezember 2021</b>			<b>04/01/2022</b>		
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Catana, Cosmin</b>		

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 10 2017 210201 A1 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE])  20. Dezember 2018 (2018-12-20)  Ansprüche 1-13; Tabellen 1,2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-16
A	<p>EP 3 396 010 A1 (POSCO [KR])  31. Oktober 2018 (2018-10-31)  Ansprüche 1-18; Abbildungen 1,2; Tabellen 1-11</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-16
A	<p>SUEHIRO M ET AL: "Properties of aluminium-coated steels for hot forming", NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT OVERSEAS, NIPPON STEEL CO., TOKYO, JP, Nr. 88, 1. Juli 2003 (2003-07-01), Seiten 16-21, XP002393305, ISSN: 0300-306X  Zusammenfassung; Abbildungen 1-21; Tabellen 1-3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-16
A	<p>WINDMANN M ET AL: "Formation of intermetallic phases in Al-coated hot-stamped 22MnB5 sheets in terms of coating thickness and Si content", SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY, Bd. 246, 11. März 2014 (2014-03-11), Seiten 17-25, XP028839531, ISSN: 0257-8972, DOI: 10.1016/J.SURFCOAT.2014.02.056  Zusammenfassung; Abbildungen 1-9</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-16

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP2021/073630**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>CN 102851629</b>	<b>B</b>	<b>02-09-2015</b>	<b>KEINE</b>
-----			
<b>EP 2982772</b>	<b>A1</b>	<b>10-02-2016</b>	<b>BR 112015024777 A2</b>
			<b>18-07-2017</b>
			<b>CA 2908356 A1</b>
			<b>09-10-2014</b>
			<b>CN 105074038 A</b>
			<b>18-11-2015</b>
			<b>EP 2982772 A1</b>
			<b>10-02-2016</b>
			<b>EP 3456855 A1</b>
			<b>20-03-2019</b>
			<b>ES 2712379 T3</b>
			<b>13-05-2019</b>
			<b>JP 6225988 B2</b>
			<b>08-11-2017</b>
			<b>JP WO2014162984 A1</b>
			<b>16-02-2017</b>
			<b>KR 20150121163 A</b>
			<b>28-10-2015</b>
			<b>PL 2982772 T3</b>
			<b>29-03-2019</b>
			<b>RU 2015141478 A</b>
			<b>11-05-2017</b>
			<b>TW 201443249 A</b>
			<b>16-11-2014</b>
			<b>US 2016060722 A1</b>
			<b>03-03-2016</b>
			<b>US 2020109458 A1</b>
			<b>09-04-2020</b>
			<b>WO 2014162984 A1</b>
			<b>09-10-2014</b>
-----			
<b>DE 102014109943 B3</b>	<b>B3</b>	<b>05-11-2015</b>	<b>CA 2952757 A1</b>
			<b>21-01-2016</b>
			<b>CN 107002213 A</b>
			<b>01-08-2017</b>
			<b>DE 102014109943 B3</b>
			<b>05-11-2015</b>
			<b>EP 3169734 A1</b>
			<b>24-05-2017</b>
			<b>ES 2710700 T3</b>
			<b>26-04-2019</b>
			<b>JP 2017528595 A</b>
			<b>28-09-2017</b>
			<b>KR 20170036700 A</b>
			<b>03-04-2017</b>
			<b>PL 3169734 T3</b>
			<b>31-05-2019</b>
			<b>TR 201902032 T4</b>
			<b>21-03-2019</b>
			<b>US 2017198152 A1</b>
			<b>13-07-2017</b>
			<b>WO 2016008714 A1</b>
			<b>21-01-2016</b>
-----			
<b>DE 102017210201 A1</b>	<b>A1</b>	<b>20-12-2018</b>	<b>CN 109136775 A</b>
			<b>04-01-2019</b>
			<b>DE 102017210201 A1</b>
			<b>20-12-2018</b>
			<b>EP 3642371 A1</b>
			<b>29-04-2020</b>
			<b>WO 2018234102 A1</b>
			<b>27-12-2018</b>
-----			
<b>EP 3396010</b>	<b>A1</b>	<b>31-10-2018</b>	<b>CN 108474096 A</b>
			<b>31-08-2018</b>
			<b>EP 3396010 A1</b>
			<b>31-10-2018</b>
			<b>ES 2770101 T3</b>
			<b>30-06-2020</b>
			<b>JP 6704995 B2</b>
			<b>03-06-2020</b>
			<b>JP 2019506523 A</b>
			<b>07-03-2019</b>
			<b>KR 101696121 B1</b>
			<b>13-01-2017</b>
			<b>US 2019003029 A1</b>
			<b>03-01-2019</b>
			<b>WO 2017111525 A1</b>
			<b>29-06-2017</b>
-----			