



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.12.2024 Patentblatt 2024/50

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C23C 2/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **24200467.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21D 1/76; C21D 9/561; C23C 2/12; C21D 1/673

(22) Anmeldetag: **05.04.2018**

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

(62) Dokumentnummer(n) der früheren Anmeldung(en) nach Art. 76 EPÜ:
18726728.1 / 3 775 299

(71) Anmelder:
• **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)
• **thyssenkrupp AG**
45143 Essen (DE)

(72) Erfinder:
• **Linke, Bernd**
Duisburg (DE)
• **Köyer, Maria**
Dortmund (DE)
• **Ruthenberg, Manuela**
Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- & Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft mbB
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES MIT EINEM ÜBERZUG VERSEHENEN STAHLBAUTEILS AUS EINEM STAHLFLACHPRODUKT**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Stahlbauteils durch Warmumformen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichteten Stahlflachprodukts, ein durch Warmumformung eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichteten Stahlflachprodukts erzeugtes Stahlbauteil sowie ein Stahlflachprodukt für die Herstellung eines solchen Stahlbauteils. Das Verfahren umfasst mindestens die folgenden Schritte: a) Zurverfügungstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlflachprodukts; b) Erwärmen des beschichteten Stahlflachprodukts in einem Warmumformofen, dessen Ofenatmosphäre mindestens 16 Volumen-% Sauerstoff enthält und einen Taupunkt von -20 °C bis +15 °C aufweist; c) optionales Halten des beschichteten Stahlflachprodukts im Warmumformofen; d) Transport des erwärmten Stahlflachprodukts vom Erwärmungssofen zu einem Umformwerkzeug und Einlegen des Stahlflachprodukts in das Umformwerkzeug; e) Umformen und gleichzeitiges Abkühlen des Stahlflachprodukts im Umformwerkzeug. Das mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehene Stahlflachprodukt weist nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls nach dem optionalen Halten auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm auf, wobei auf der Aluminiumoxidschicht höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 vorhanden sind. Das nach dem Umformen erhaltende Stahlbauteil weist auf der Oberfläche des Kor-

rosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm auf, wobei auf der Aluminiumoxidschicht pro 1000 μm^2 höchstens 10 AlN-Stäbchen vorhanden sind.

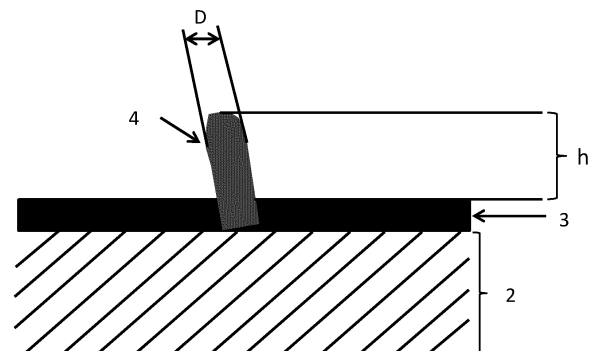


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Stahlbauteils durch Warmumformen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichteten Stahlflachprodukts. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein durch Warmumformung eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichteten Stahlflachprodukts erzeugten Stahlbauteils sowie ein Stahlflachprodukt für die Herstellung eines solchen Stahlbauteils.

[0002] Für Anwendungen im Automobilbau oder für andere industrielle Anwendungen werden Materialien mit einer guten Korrosionsbeständigkeit benötigt. Hierfür eignen sich unter anderem aus Stahl bestehende Produkte, die mit einem vor Korrosion schützenden Überzug versehen sind. Solche Überzüge bestehen beispielsweise aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen oder aus Zink oder Zinklegierungen und schützen das darunter befindliche Stahlsubstrat vor Korrosion zum einen aufgrund ihrer Wirkung als mechanische Barriere und zum anderen aufgrund ihrer kathodischen Schutzwirkung.

[0003] Wenn vorliegend von Stahlflachprodukten die Rede ist, so ist darunter beispielsweise ein Stahlband oder ein Stahlblech oder ein aus einem Stahlblech erzeugter Zuschnitt wie beispielsweise eine Platine zu verstehen. Unter Platinen werden Blechtafeln verstanden, die in der Regel komplexere Umrisse als die Stahlbänder oder Stahlbleche, aus denen sie hervorgehen, aufweisen.

[0004] Wenn vorliegend von einem mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichteten Stahlflachprodukt die Rede ist, so ist damit ein mindestens auf einer Seite mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug beschichtetes Stahlflachprodukt gemeint. Ein beschichtetes Stahlflachprodukt besteht demnach aus einem Stahlsubstrat, welches beispielsweise ein Stahlband oder ein Stahlblech oder ein aus einem Stahlblech erzeugter Zuschnitt wie beispielsweise eine Platine sein kann, und einem mindestens auf einer Seite des Stahlsubstrats vorhandenen Korrosionsschutzüberzug.

[0005] Bei der Warmumformung werden Stahlflachprodukte erwärmt und in einem Werkzeug abgekühlt. Prinzipiell werden zwei Arten von Warmumformung unterschieden. Bei der sogenannten direkten Warmumformung wird das umzuformende Stahlflachprodukt zunächst erwärmt und unmittelbar nach der Erwärmung in ein Umformwerkzeug eingelegt, in welchem es umgeformt und gleichzeitig abgekühlt wird. Bei der indirekten Warmumformung wird das umzuformende Stahlflachprodukt zunächst kalt in einem ersten Umformwerkzeug umgeformt, dann erwärmt und nach der Erwärmung in einem zweiten Formwerkzeug, in welchem es jedoch nur wenig oder gar nicht mehr umgeformt wird, abgekühlt. Die indirekte Warmumformung bietet gegenüber der direkten Warmumformung den Vorteil eines geringeren Werkzeugverschleißes bei Einsatz unbeschichteter Stahlflachprodukte. Der auf unbeschichteten Stahlflachprodukten während der Erwärmung entstehende Zunder reibt an den Oberflächen des Umformwerkzeugs, welches dadurch schneller verschleißt. Die Zunderbildung und damit der Werkzeugverschleiß kann durch Beschichten des Stahlflachprodukts mit einem Korrosionsschutzüberzug reduziert werden.

[0006] Aus WO 2008/053273 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils bekannt. Dabei wird die umzuformende, mit Aluminium oder einer Aluminiumlegierung beschichtete Platine mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 12 °C/s aufgeheizt, für 3 bis 13 Minuten bei Temperaturen von 880 - 940 °C gehalten, anschließend in ein Umformwerkzeug überführt, umgeformt und mit einer Geschwindigkeit von mindestens 30 °C/s abgekühlt. Nach der Umformung weist die Beschichtung des Bauteils einen mehrlagigen Schichtaufbau mit einer Interdiffusionsschicht, einer Zwischenschicht, einer intermetallischen Schicht und einer oberflächigen Schicht auf. Die Interdiffusionsschicht besteht aus 86-95% Fe, 4-10% Al und bis zu 5% Si. Die Zwischenschicht besteht aus 39-47% Fe, 53-61% Al und bis zu 2% Si. Die intermetallische Schicht besteht aus 62-67% Fe, 30-34% Al und 2-6% Si. Die oberflächige Schicht besteht aus 39-47% Fe, 53-61% Al und bis zu 2% Si. Das Bauteil soll eine gute Schweißbarkeit und Rissbeständigkeit aufweisen.

[0007] Allerdings stellt der Werkzeugverschleiß auch bei Einsatz beschichteter Stahlflachprodukte weiterhin ein die Wartungs- und Instandhaltungskosten erhöhendes Problem dar. Dies gilt insbesondere bei der Umformung von Stahlflachprodukten, welche mit einer aluminiumbasierten Korrosionsschutzschicht versehen sind.

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein den Verschleiß eines Umformwerkzeugs in der direkten Warmumformung minimierendes Verfahren zum Herstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils zur Verfügung zu stellen. Insbesondere liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenes und einen geringen Warmumformwerkzeugverschleiß verursachendes Stahlflachprodukt zur Herstellung eines Stahlbauteils sowie ein daraus hergestelltes Stahlbauteil zur Verfügung zu stellen.

[0009] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte und bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den auf Anspruch 1 rückbezogenen Ansprüchen angegeben. Hinsichtlich des Stahlflachprodukts ist die Aufgabe durch ein Stahlflachprodukt mit den in Anspruch 8 genannten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte und bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts sind in den auf Anspruch 8 rückbezogenen Ansprüchen angegeben. Hinsichtlich des Stahlbauteils ist die Aufgabe durch ein Stahlbauteil mit den in Anspruch 12 genannten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte

und bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Stahlbauteils sind in den auf Anspruch 12 rückbezogenen Ansprüchen angegeben.

[0010] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils umfasst mindestens die folgenden Verfahrensschritte:

- a) Zurverfügungstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlflachprodukts;
- b) Erwärmen des beschichteten Stahlflachprodukts in einem Warmumformofen, dessen Ofenatmosphäre mindestens 16 Volumen-% Sauerstoff enthält und einen Taupunkt von -20 °C bis +15 °C aufweist;
- c) optionales Halten des beschichteten Stahlflachprodukts im Warmumformofen;
- d) Transport des erwärmten Stahlflachprodukts vom Erwärmungssofen zu einem Umformwerkzeug und Einlegen des Stahlflachprodukts in das Umformwerkzeug;
- e) Umformen und gleichzeitiges Abkühlen des Stahlflachprodukts im Umformwerkzeug.

[0011] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren wird in Verfahrensschritt a) ein Stahlflachprodukt zur Verfügung gestellt, das mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehen ist. Bei dem für das Stahlsubstrat des Stahlflachprodukts verwendeten Stahl handelt es sich bevorzugt um einen Stahl, der aus 0,1-0,4 Gew.-% C, bevorzugt 0,15 - 0,3 Gew.-% C, besonders bevorzugt 0,19 - 0,25 Gew.-% C, 0,5 - 3,0 Gew.-% Mn, bevorzugt 0,9 - 1,6 Gew.-% Mn, 0,05 - 0,5 Gew.-% Si, bevorzugt 0,15 - 0,4 Gew.-% Si, 0,01 - 0,2 Gew.-% Al, bevorzugt 0,01 - 0,1 Gew.-% Al, 0,005 - 1,0 Gew.-% Cr, bevorzugt 0,1 - 0,4 Gew.-% Cr, 0,0005 - 0,01 Gew.-% B, 0,001 - 0,2 Gew.-% V, bevorzugt 0,001 - 0,010 Gew.-% V, besonders bevorzugt 0,002 - 0,006 Gew.-% V, 0,001 - 0,1 Gew.-% Ti, 0,001 - 0,1 Gew.-% Nb, optional 0,01 - 0,4 Gew.-% Ni, optional 0,01 - 0,8 Gew.-% Cu, optional 0,002 - 1,0 Gew.-% Mo, optional 0,001 - 1,0 Gew.-% W, bis zu 0,01 Gew.-% N, und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei bis zu 0,1 Gew.-% P und bis zu 0,05 Gew.-% S den unvermeidbaren Verunreinigungen zuzurechnen sind.

[0012] Typischerweise weisen für die vorliegende Erfindung besonders geeignete Stahlsubstrate eine Dicke von 0,4 bis 3 mm auf.

[0013] Wenn vorliegend Angaben zu Legierungsgehalten und Zusammensetzungen flüssiger oder fester Phasen gemacht werden, beziehen sich diese auf das Gewicht beziehungsweise die Masse, sofern nichts anderes ausdrücklich angegeben ist. Wenn vorliegend Angaben zu Atmosphärenzusammensetzungen gemacht werden, beziehen sich diese auf das Volumen, sofern nichts anderes ausdrücklich angegeben ist.

[0014] Der auf dem Stahlsubstrat vorhandene Korrosionsschutzüberzug besteht aus reinem Aluminium oder aus einer Aluminiumlegierung. Geeignete Aluminiumlegierungen bestehen dabei typischerweise aus 3 - 15 Gew.-% Si, bevorzugt 7 - 12 Gew.-% Si, besonders bevorzugt 9 - 10 Gew.-% Si sowie optional einem oder mehreren Elementen ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Eisen, anderen Übergangsmetallen als Eisen, Erdalkalimetallen oder Mischungen davon, in folgenden Gehalten: 2 - 3,5 Gew.-% Fe, 0,05 - 2 Gew.-% anderer Übergangsmetalle als Fe, bevorzugt 0,1 - 0,5 Gew.-% anderer Übergangsmetalle als Fe, besonders bevorzugt 0,15 - 0,4 Gew.-% anderer Übergangsmetalle als Fe, 0,05 - 2 Gew.-% Erdalkalimetalle, bevorzugt 0,1 - 0,5 Gew.-% Erdalkalimetalle, besonders bevorzugt 0,15 - 0,4 Gew.-% Erdalkalimetalle, und als Rest aus Aluminium und unvermeidbaren Verunreinigungen. Bei den Übergangsmetallen wird vorliegend zwischen Eisen und anderen Übergangsmetallen unterschieden, weil Eisen in höheren Gehalten vorhanden sein kann als andere Übergangsmetalle. Eisen, andere Übergangsmetalle und auch Elemente der Gruppe der Erdalkalimetalle führen zu einer dichten, dünnen und deckenden Oxidschicht, die das Eindringen von diffusilem Wasserstoff reduziert. Als besonders geeignet haben sich dabei die folgenden Erdalkali- bzw. Übergangsmetalle erwiesen: Mg, Ca, Sr, Ba, Zr und Ti.

[0015] Der Korrosionsschutzüberzug kann auf konventionelle Weise beispielsweise mittels eines Schmelztauchbeschichtungsprozesses auf das Stahlsubstrat aufgebracht sein. Weitere Applikationsmethoden, die das Auftragen einer Korrosionsschutzschicht ermöglichen, sind ebenfalls denkbar. Ein geeigneter Korrosionsschutzüberzug ist typischerweise höchstens 30 µm pro Seite dick, insbesondere 10 bis 30 µm je Seite dick.

[0016] In Verfahrensschritt b) wird das beschichtete Stahlflachprodukt für die Warmumformung, welche in Verfahrensschritt e) durchgeführt wird, erwärmt. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass der Verschleiß des Umformwerkzeugs von der Zusammensetzung der Atmosphäre des Erwärmungssofens beeinflusst wird. Der Erwärmungssofen wird auch als Warmumformofen bezeichnet, weil darin das beschichtete Stahlsubstrat vor dem Warmumformprozess und für den Warmumformprozess erwärmt wird. Ein bevorzugtes Beispiel für einen Warmumformofen ist ein Rollenherdofen. Ab einem Sauerstoffanteil von 6 Vol-% in der Ofenatmosphäre bildet sich auf dem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug eine Aluminiumoxidschicht aus. Bei Vorhandensein von Stickstoff bilden sich zusätzlich zur Aluminiumoxidschicht Aluminiumnitridteilchen (AlN) in Stäbchen- oder Nadelform an der Oberfläche des beschichteten Stahlflachprodukts aus. AlN weist im Allgemeinen eine sehr hohe Härte auf. Die Härte von AlN beträgt typischerweise etwa 1230 HV1. Wachsen diese AlN-Stäbchen oder -Nadeln über die Aluminiumoxidschicht hinaus, beschädigen sie die Oberfläche des Umformwerkzeugs während des Umformvorgangs und verursachen einen erhöhten Verschleiß des

Umformwerkzeugs. Ein besonders hoher Verschleiß kann bei Anteilen von bis zu 13 Vol.-% Sauerstoff beobachtet werden. Mit zunehmendem Sauerstoffgehalt verringert sich der Werkzeugverschleiß.

[0017] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass ab Sauerstoffgehalten in der Warmumformofenatmosphäre von mindestens 16 Vol.-% die Bildung der AlN-Stäbchen derart behindert ist, dass deutlich weniger über die Aluminiumoxidschicht hinausgewachsene AlN-Stäbchen vorliegen als bei Gehalten von weniger als 16 Vol.-% Sauerstoff. Das Erwärmen des beschichteten Stahlflachprodukts in Verfahrensschritt b) erfolgt deshalb in einem Warmumformofen, dessen Atmosphäre mindestens 16 Vol.-%, bevorzugt mindestens 18 Vol.-%, besonders bevorzugt mindestens 19 Vol.-% Sauerstoff enthält.

[0018] Bei Atmosphären mit mindestens 16 Vol.-% Sauerstoff bilden sich regelmäßig Aluminiumoxidschichten mit einer mittleren Dicke von 50 nm und mehr aus. Da die Dicke der Aluminiumoxidschicht über die Fläche, die die Aluminiumoxidschicht abdeckt, schwanken kann, wird vorliegend unter der mittleren Dicke der Aluminiumoxidschicht der arithmetische Mittelwert von mindestens dreien an verschiedenen Stellen der Aluminiumoxidschicht ermittelten Dickenwerten verstanden. Aluminiumoxidschichten mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm haben sich als günstig zur Verringerung des Werkzeugverschleißes erwiesen. Es wird angenommen, dass Aluminiumoxidschichten mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm glättend wirken. Das heißt, AlN-Stäbchen wachsen nicht über diese Schichtdicke hinaus. Des Weiteren haben sich Aluminiumoxidschichten von mindestens 50 nm mittlerer Dicke, bevorzugt mindestens 100 nm mittlerer Dicke, als günstig zur Verhinderung von Anbackungen des Werkzeugs am Formteil sowie zur Reduzierung von Riefenbildung am Werkzeug erwiesen, da die Aluminiumoxidschicht als Trennmittel zwischen dem Umformwerkzeug und der Oberfläche des umzuformenden Stahlflachprodukts wirkt und bei nicht ausreichend geglühten Stahlflachprodukten die Flüssigphasenbestandteile von der Werkzeugoberfläche trennt. Aluminiumbasierte Korrosionsschutzüberzüge, auf denen sich Aluminiumoxidschichten von mindestens 50 nm mittlerer Dicke gebildet haben, enthalten typischerweise $\text{Fe}(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$, $\tau_1 \text{Fe}_3(\text{Al},\text{Si})_5$, Fe_2Al_5 und $\text{Fe}_3(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$.

[0019] Als besonders effektiv zur Verringerung des Werkzeugverschleißes haben sich deckende Aluminiumoxidschichten erwiesen. Unter deckenden Aluminiumoxidschichten werden vorliegend Aluminiumoxidschichten verstanden, die die Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs vollständig bedecken. Bei Sauerstoffgehalten von weniger als 16 Vol.-% hingegen bilden sich Oxidschichten mit einer mittleren Dicke von weniger als 50 nm aus. Diese sind oftmals nicht deckend, was sich negativ auf den Werkzeugverschleiß auswirkt.

[0020] Prinzipiell wäre zur Verringerung der AlN-Bildung eine Ofenatmosphäre von bis zu 100 Vol.-% Sauerstoff möglich. Allerdings ist reiner Sauerstoff sehr explosiv. Aus Sicherheitsgründen beträgt der Sauerstoffgehalt der Ofenatmosphäre bevorzugt weniger als 50 Vol.-% und besonders bevorzugt höchstens 30 Vol.-%. Aus Kostengründen und zur Verbesserung der Schweißeignung und der Lackier- und Klebeeignung kann der Sauerstoffanteil der Ofenatmosphäre auf höchstens 25 Vol.-%, bevorzugt auf höchstens 20 Vol.-% beschränkt werden.

[0021] In einer bevorzugten Ausführung enthält die Atmosphäre des Warmumformofens neben Sauerstoff mindestens 50 Vol.-% Stickstoff, um die Explosivität der Ofenatmosphäre zu verringern. Entsprechend des erfindungsgemäßen Mindestanteils an Sauerstoff beträgt der Stickstoffanteil der Ofenatmosphäre bevorzugt weniger als 84 Vol.-%, besonders bevorzugt weniger als 82 Vol.-%, ganz besonders bevorzugt weniger als 81 Vol.-%. In dieser bevorzugten Ausführung ist es möglich, ein Verfahren zum Herstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils zur Verfügung zu stellen, bei welchem trotz Stickstoffs in der Ofenatmosphäre der Verschleiß des Umformwerkzeugs minimiert werden kann.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführung besteht die Atmosphäre des Warmumformofens aus mindestens 16 Vol.-% Sauerstoff, besonders bevorzugt mindestens 18 Vol.-% Sauerstoff, ganz besonders bevorzugt mindestens 19 Vol.-% Sauerstoff, und als Rest jeweils aus Stickstoff und unvermeidbaren Verunreinigungen.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführung können der Atmosphäre des Warmumformofens auch zusätzlich zu Sauerstoff und Stickstoff ein oder mehrere Edelgase in Anteilen von bis zu 1,5 Vol.-% zugegeben werden, sodass die Atmosphäre des Warmumformofens aus mindestens 16 Vol.-% Sauerstoff, besonders bevorzugt mindestens 18 Vol.-% Sauerstoff, ganz besonders bevorzugt mindestens 19 Vol.-% Sauerstoff, bis zu 1,5 Vol.-% eines oder mehrerer Edelgase, und als Rest jeweils aus Stickstoff und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführung können der Atmosphäre des Warmumformofens ein oder mehrere Edelgase zugegeben werden, ohne dass merkliche Anteile an Stickstoff zugegeben werden, sodass die Atmosphäre des Warmumformofens aus mindestens 16 Vol.-% Sauerstoff, besonders bevorzugt mindestens 18 Vol.-% Sauerstoff, ganz besonders bevorzugt mindestens 19 Vol.-% Sauerstoff, und als Rest jeweils aus Edelgasen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht.

[0025] In allen Ausführungsformen können Verunreinigungen der Ofenatmosphäre mit weiteren Gasen in Anteilen von bis zu 1,1 Vol.-% auftreten. Außerdem kann die Atmosphäre des Warmumformofens auch Wasserdampf mit einem Wassergehalt von 0,5 bis 15 g/m³ enthalten.

[0026] Aus Sicherheitsgründen werden Ofenatmosphären bevorzugt, deren Zusammensetzung nicht explosiv und nicht gesundheitsschädlich ist.

[0027] Um erfindungsgemäße Sauerstoffanteile im Warmumformofen zu gewährleisten, wird der Taupunkt TP der

Ofenatmosphäre auf Werte zwischen -20 °C und +15 °C, bevorzugt auf Werte zwischen -15 °C und +15 °C, eingestellt. Ein geringerer Taupunkt als -20 °C führt zu einem Absinken des Sauerstoffanteils im Warmumformofen, wohingegen höhere Werte als +15 °C zu einer verstärkten Wasserstoffaufnahme führen können.

[0028] In einer bevorzugten Ausführung kann eine weitere Verringerung des Werkzeugverschleißes aber auch eine Verbesserung der Schweißeignung sowie der Lackier- und Klebeeignung erreicht werden, wenn während des Erwärmens in Arbeitsschritt b) im Warmumformofen das Verhältnis des Volumenanteils von Stickstoff, V(N₂), zum Volumenanteil von Sauerstoff V(O₂) 3,80 bis 5,30 beträgt:

$$3,80 \leq V(N_2) / V(O_2) \leq 5,30$$

mit V(N₂) = Stickstoffvolumen im Warmumformofen in Vol.-%, V(O₂) = Sauerstoffvolumen im Warmumformofen in Vol.-%. Als besonders effektiv haben sich dabei Stickstoff-zu-Sauerstoff-Verhältnisse von 4,0 bis 5,2 erwiesen.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführung wird das Stahlflachprodukt in Arbeitsschritt b) in einem Warmumformofen mit Ofentemperaturen von 830 bis 950 °C auf eine Temperatur T₁, die zwischen 830 und 950 °C, bevorzugt zwischen 900 und 950 °C, beträgt, erwärmt. Die Erwärmung erfolgt bevorzugt in einem Durchlaufofen, besonders bevorzugt in einem Rollenherdofen. Die Ofentemperatur entspricht dabei der Temperatur, auf die das Stahlflachprodukt erwärmt werden soll. Typischerweise wird das Stahlflachprodukt mit Raumtemperatur in den Warmumformofeneingebracht. Als besonders günstig haben sich Verweilzeiten des Stahlflachprodukts im Warmumformofen von 2 bis 15 Minuten erwiesen.

[0030] Optional kann das Stahlflachprodukt in einem Arbeitsschritt c) im Warmumformofen nach Erreichen der Temperatur T₁ auf dieser Temperatur gehalten werden. Die Verweilzeit des Stahlflachprodukts im Warmumformofen beträgt in diesem Fall ebenfalls 2 bis 15 Minuten und umfasst dabei die Zeit für eine Erwärmung auf Ofentemperatur als auch die Zeit für das optionale Halten des Stahlflachprodukts auf Ofentemperatur. Die Ofenatmosphäre ist während des Haltens dieselbe wie in Arbeitsschritt b) während des Erwärmens.

[0031] Das in Verfahrensschritt b) nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls in Verfahrensschritt c) nach dem optionalen Halten erhaltene, mit einem Korrosionsschutzüberzug versehene Stahlflachprodukt weist auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm, bevorzugt mindestens 100 nm, auf. Geringere mittlere Dicken sind oftmals nicht deckend, was sich negativ auf den Werkzeugverschleiß auswirkt. Hinsichtlich des Einflusses der Aluminiumoxidschichtdicke auf den Werkzeugverschleiß ist die mittlere Dicke der Aluminiumoxidschicht nicht nach oben begrenzt. Aus betriebstechnischen Gründen werden typischerweise mittlere Dicken von höchstens 2300 nm erreicht. Häufig betragen die Oxidschichtdicken im Mittel nur bis zu 1500 nm. Sollen jedoch gezielt Stahlflachprodukte mit einer verbesserten Schweißeignung und einer verbesserten Lackier- und Klebeeignung erzeugt werden, so haben sich dünnere Aluminiumoxidschichten, welche eine mittlere Dicke von höchstens 150 nm aufweisen, als günstig erwiesen.

[0032] Auf der Aluminiumoxidschicht können nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls nach dem optionalen Halten AlN-Stäbchen vorliegen. Nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls nach dem optionalen Halten liegen auf der Oberfläche eines erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts vorliegenden Aluminiumoxidschicht pro 1000 µm² höchstens 10 AlN-Stäbchen vor. Eine größere Anzahl AlN-Stäbchen pro 1000 µm² wirkt sich negativ auf die Überarbeitungs- und Reinigungsintervalle innerhalb einer Umformkampagne aus. Unter einer Umformkampagne wird die Gesamtheit aller in einer Folge unter gleichen Warmumformbedingungen umzuformender Platinen verstanden. Eine Umformkampagne umfasst typischerweise bis zu 1500 Platinen. Das Umformen einer Platine im Umformwerkzeug wird auch als ein Hub bezeichnet. Während bei einer Dichte von 11 oder mehr AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche eine Überarbeitung und Reinigung der Warmumformwerkzeuge bereits nach 40 - 60 % durchgesetzter Bauteiloberfläche einer Umformkampagne erfolgen muss, muss bei einer Dichte von höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche eine Überarbeitung und Reinigung der Warmumformwerkzeuge hingegen erst nach über 60 % durchgesetzter Bauteiloberfläche einer Umformkampagne, insbesondere nach 70 - 80 % durchgesetzter Bauteiloberfläche einer Umformkampagne, erfolgen. Der Werkzeugverschleiß kann weiter reduziert werden auf eine Überarbeitung und Reinigung der Warmumformwerkzeuge nach über 80 % durchgesetzter Bauteiloberfläche einer Umformkampagne, wenn die Dichte der AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche auf höchstens 5 begrenzt ist. Ein besonders geringer Verschleiß kann bei einer Stäbchendichte von höchstens 2, insbesondere null AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche erreicht werden. Hier ist eine Überarbeitung und Reinigung der Warmumformwerkzeuge erst nach 100 % durchgesetzter Bauteiloberfläche erforderlich.

[0033] Vorliegend wird unter dem Begriff "durchgesetzte Bauteiloberfläche einer Umformkampagne" die Oberfläche der Platinen verstanden, die innerhalb einer Umformkampagne im Werkzeug insgesamt warmumgeformt wurden. Für Umformkampagnen mit beispielsweise 1000 Platinen bedeutet dies, dass eine Überarbeitung und Reinigung des Werkzeugs bei einer Dichte von 11 oder mehr AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche bereits nach 400-600 Hub, bei höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche erst nach über 600, insbesondere nach 700-800 Hub, bei höchstens 5 AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche erst nach über 800 Hub und bei höchstens 2 AlN-Stäbchen pro 1000 µm² Fläche erst

nach Abschluss der Umformkampagne erfolgen muss.

[0034] Das in Verfahrensschritt b) nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls in Verfahrensschritt c) nach dem optionalen Halten erhaltene Stahlflachprodukt weist einen Korrosionsschutzüberzug auf, dessen Dicke typischerweise 30 bis 130 g/m² bzw. 12 - 60 µm je Seite beträgt. Unterhalb der Aluminiumoxidschicht enthält der Korrosionsschutzüberzug typischerweise vier intermetallische Phasen: Fe(Al_{1-x}Si_x), τ1 Fe₃(Al, Si)₅, Fe₂Al₅ und Fe₃(Al_{1-x}Si_x).

[0035] In einer bevorzugten Ausführung kann der Werkzeugverschleiß weiter reduziert werden, wenn die AlN-Stäbchen um höchstens 6 µm, bevorzugt um höchstens 2 µm aus der Aluminiumoxidschicht herauswachsen, das heißt, dass sie höchstens um 6 µm, bevorzugt höchstens um 2 µm, besonders bevorzugt höchstens 1,0 µm aus der Aluminiumoxidschicht herausragen. Treten AlN-Stäbchen auf, so beträgt ihre Höhe h beziehungsweise die Länge, mit welcher die AlN-Stäbchen aus der Aluminiumoxidschicht herausragen, typischerweise 0,5 - 6 µm. Die Höhe h der AlN-Stäbchen bezieht sich dabei auf ihre aus der Aluminiumoxidschicht hinausragende Länge. Dabei wird unter der Höhe eines AlN-Stäbchens das senkrechte Lot der Spitze des AlN-Stäbchens auf die Oberfläche der Aluminiumoxidschicht verstanden.

[0036] In einer weiteren bevorzugten Ausführung weisen die AlN-Stäbchen einen Durchmesser D von höchstens 2 µm, bevorzugt von höchstens 1,1 µm auf, was sich ebenfalls günstig auf den Werkzeugverschleiß auswirkt. Typischerweise beträgt ihr Durchmesser 1 - 2 µm. Unter dem Durchmesser eines AlN-Stäbchens wird die auf halber Höhe des AlN-Stäbchens und parallel zur Oberfläche der Aluminiumoxidschicht verlaufende Breite des AlN-Stäbchens verstanden.

[0037] Die negativen Auswirkungen auf den Werkzeugverschleiß können besonders effektiv verringert werden, wenn die AlN-Stäbchen nach dem Erwärmen sowohl um höchstens 6 µm, bevorzugt um höchstens 2 µm, aus der Aluminiumoxidschicht herausragen, als auch höchstens 2 µm dick sind.

[0038] Das in Verfahrensschritt b) nach dem Erwärmen oder gegebenenfalls in Verfahrensschritt c) nach dem optionalen Halten erhaltene, mit einem Korrosionsschutzüberzug versehene Stahlflachprodukt wird in Verfahrensschritt d) vom Warmumformofen zu einem Umformwerkzeug transportiert und in dieses eingelegt. Der Transport vom Warmumformofen zum Umformwerkzeug und das Einlegen des Stahlflachprodukts in das Werkzeug erfolgt in an sich bekannter Weise. Als besonders günstig haben sich dabei Transferzeiten von 3 bis 15 s erwiesen. Unter der Transferzeit wird vorliegend die Zeitspanne zwischen dem Ofenaustrag bis zum Schließen des Werkzeugs verstanden.

[0039] In Verfahrensschritt e) wird das Stahlflachprodukt im Umformwerkzeug auf konventionelle Weise zu einem Bauteil umgeformt und dabei gleichzeitig abgekühlt. Das Abkühlen erfolgt ebenfalls auf konventionelle Weise. Das Umformen erfolgt dabei bevorzugt unmittelbar nach Einlegen des Stahlflachprodukts in das Werkzeug. Als besonders günstig haben sich Abkühlungs-geschwindigkeiten von 20 bis 1000 K/s, bevorzugt von 25 bis 500 K/s erwiesen. Insbesondere für ein Härten des Stahlflachprodukts haben sich diese Abkühlungs-geschwindigkeiten als geeignet erwiesen.

[0040] In einer bevorzugten Ausführung besteht das Verfahren zur Herstellung eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils nur aus den Verfahrensschritten a) bis e), das heißt es umfasst keine über die Verfahrensschritte a) bis e) hinausgehenden weiteren Verfahrensschritte.

[0041] Das durch das erfindungsgemäße Verfahren nach Durchführung des Arbeitsschritts e) erhaltende Stahlbauteil ist mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehen, insbesondere weist es einen aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug auf. Bei der Erwärmung in Arbeitsschritt b) und gegebenenfalls dem optionalen Halten in Verfahrensschritt c) kann es zur Diffusion von Eisenatomen aus dem Stahlsubstrat in den Korrosionsschutzüberzug kommen, wodurch die Dicke des Korrosionsschutzüberzugs zunehmen kann. Somit beträgt die Dicke des Korrosionsschutzüberzugs des Stahlbauteils nach der Warmumformung typischerweise 30 bis 130 g/m² bzw. 12 - 60 µm je Seite. Auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs weist das Stahlbauteil eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm, bevorzugt mindestens 100 nm, auf. Die mittlere Dicke der Aluminiumoxidschicht beträgt dabei höchstens 2300 nm, bevorzugt höchstens 1500 nm, besonders bevorzugt höchstens 150 nm. Aus der Aluminiumoxidschicht ragen pro 1000 µm² Fläche höchstens 10, bevorzugt höchstens 5, besonders bevorzugt höchstens 2, ganz besonders bevorzugt keine AlN-Stäbchen heraus. Damit sind auf der Aluminiumoxidschicht insbesondere höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 µm², bevorzugt höchstens 5, besonders bevorzugt höchstens 2, ganz besonders bevorzugt keine AlN-Stäbchen vorhanden.

[0042] In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind die aus der Aluminiumoxidschicht des Stahlbauteils herausragenden AlN-Stäbchen höchstens 6 µm, bevorzugt höchstens 2 µm, besonders bevorzugt höchstens 1,0 µm hoch und haben einen Durchmesser von höchstens 2 µm, bevorzugt von höchstens 1,1 µm. Unterhalb der Aluminiumoxidschicht weist der Korrosionsschutzüberzug typischerweise vier intermetallische Phasen auf: Fe(Al_{1-x}Si_x), τ1 Fe₃(Al, Si)₅, Fe₂Al₅ und Fe₃(Al_{1-x}Si_x).

[0043] Insbesondere kann ein erfindungsgemäßes Stahlbauteil durch ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 erzeugt werden. Insbesondere kann ein erfindungsgemäßes Stahlbauteil unter Verwendung eines Stahlflachprodukts gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11 erzeugt werden.

[0044] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen und Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1: Schematische Darstellung des Wachstums der AlN-Stäbchen und der Aluminiumoxidschicht

Fig. 2: Schematische Darstellung der Aluminiumoxidschicht und der AlN-Stäbchen zur Erläuterung der verwendeten Abkürzungen

[0045] In Figur 1 ist das Wachstum der AlN-Stäbchen schematisch dargestellt. Auf einem Stahlsubstrat 1 ist ein aluminiumbasierter Korrosionsschutzüberzug 2 aufgebracht. Zunächst bildet sich auf dem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug 2 eine dünne Aluminiumoxidschicht 3 aus (Fig. 1a)). Die Aluminiumoxidschicht ist sehr spröde. Während der Erwärmung des beschichteten Stahlflächprodukts dehnt sich unterhalb der Aluminiumoxidschicht der Korrosionsschutzüberzug auf und schmilzt mindestens teilweise auf. Durch die Volumenausdehnung reißt die spröde Aluminiumoxidschicht 3 an einigen Stellen auf. Bei Vorhandensein von Stickstoff können in den Lücken der Aluminiumoxidschicht 3 AlN-Nitride keimen, die zunächst zu kleinen AlN-Stäbchen 4 wachsen (Fig. 1b)). Die Stäbchen können wegen ihrer länglichen Form auch als AlN-Nadeln bezeichnet werden. Die AlN-Stäbchen 4 weisen typischerweise einen runden Querschnitt mit einem über die Länge betrachtet nahezu konstanten Durchmesser D (Fig. 2) auf. Die AlN-Stäbchen wachsen im weiteren Verlauf des Erwärmungsprozesses weiter in ihrer Länge und Breite, gleichzeitig nimmt die Dicke der Aluminiumoxidschicht zu (Fig. 1c) und Fig. 1d)). Am Ende des Erwärmungsprozesses ragen die AlN-Stäbchen mit einer Höhe h aus der Aluminiumoxidschicht heraus (Fig. 2).

[0046] Zur Erprobung wurden vier Umformkampagnen mit jeweils 1000 Platinen durchgeführt. Dazu wurden Stahlbänder mit den in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzungen zur Verfügung gestellt und auf konventionelle Weise mittels Schmelztauchbeschichten beidseits mit aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzügen mit den in Tabelle 2 angegebenen Zusammensetzungen beschichtet. Aus den beschichteten Stahlbändern wurden jeweils auf konventionelle Weise Platinen ausgestanzt und in einen Rollenherdofen zum Erwärmen eingesetzt. Die Platinen wurden mit den in Tabelle 3 angegebenen Bedingungen wärmebehandelt.

[0047] So wurden die Platinen in Warmumformöfen mit Ofenatmosphären mit Sauerstoffgehalten von 15 bis 20 Vol.-% und Taupunkten von -15 °C bis + 10 °C wärmebehandelt. Die Ofenatmosphären können prinzipiell auf verschiedene Weisen eingestellt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, den Warmumformofen vor dem Einleiten der erfindungsgemäßen Ofenatmosphäre zunächst abkühlen zu lassen, was typischerweise bis zu 20 h dauern kann, und ihn nach dem Einleiten der Ofenatmosphäre wieder aufzuheizen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die erfindungsgemäße Ofenatmosphäre in einen warmen Warmumformofen einzuleiten, was sich günstig auf eine Verringerung der Aufheizdauer auswirken kann. Eine weitere Möglichkeit, die zur weiteren Verkürzung der Aufheizzeiten beiträgt, besteht darin, die erfindungsgemäße Ofenatmosphäre vor dem Einleiten in den warmen Warmumformofen zu erwärmen. In den Versuchen 1 bis 4 wurden die Ofenatmosphären jeweils dadurch eingestellt, dass die jeweiligen Gase mittels Gasleitung in den Ofen zugeführt worden sind.

[0048] Die jeweils 1,5 mm dicken Platinen wurden auf Stahlflächprodukt-Temperaturen T1 von 925 °C (Versuch 1), 910 °C (Versuch 2, 4) und 930 °C (Versuch 3) erwärmt. Die Verweilzeiten t der Platinen im Warmumformofen, die die Zeit vom Aufheizen bis zum Verlassen des Ofens umfassen, betrugen zwischen 4 und 6 Minuten. Die erwärmten Platinen wurden jeweils aus dem Warmumformofen entnommen, beprobt und ein Teil der Platinen wurde zum Umformen innerhalb von 3 bis 10 s in eine Presse eingelegt, zu einem Bauteil umgeformt und anschließend erneut beprobt. Für jede Versuchsbedingung wurden mehrere Platinen gefertigt, bis der Verschleiß des Werkzeugs einen Abbruch zur Reinigung und gegebenenfalls Instandhaltung des Werkzeugs erforderlich machte. Zu jedem Versuch wurde jeweils am Beginn, nach 250 Hub und nach 500 Hub je eine Platine beziehungsweise ein umgeformtes Bauteil vor und nach dem Umformen beprobt. Die Beprobung der umgeformten Platinen erfolgte in Flachbereichen der Bauteile, in denen die Platinen keiner oder nur einer geringen Umformung ausgesetzt waren.

[0049] Die Anzahl pro Fläche, der Durchmesser und die Höhe der AlN-Stäbchen wurden an einem Rasterelektronenmikroskop bei einer Vergrößerung von $V = 2000\times$ an jeweils 3 Flachscliffen pro Platine mit einer Größe von jeweils $10 \times 15 \text{ mm}^2$ ermittelt. Es wurden jeweils 3 Flächen von 100 mm^2 Größe ausgemessen und die ermittelten Werte arithmetisch gemittelt. Die Dicke der Oxidschicht wurde je Platine an 3 Proben mit Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) ermittelt. Die Proben wurden mit n-Heptan entfettet, mit Propanol gespült und an Luft abgeblasen. Die Proben wurden jeweils auf einem Probenträger befestigt, in die Messkammer des Röntgenphotoelektronenspektroskops eingeschleust und im Hochvakuum untersucht. Der Kesseldruck betrug $< 5 \times 10^{-8} \text{ mbar}$. Als Beschussgas wurde Argon verwendet. Die Strahlung wurde als Al K α mit einer Beschussspannung von 2 oder 4 kV angeregt. An jeder Probe wurde mindestens eine Dickenmessung der Aluminiumoxidschicht durchgeführt. Die Ergebnisse der Dickenmessungen aller Proben einer Platine wurden jeweils arithmetisch gemittelt und werden vorliegend als mittlere Aluminiumoxidschichtdicke oder als mittlere Dicke bezeichnet. Zu jedem AlN-Stäbchen wurde eine Höhe ermittelt. Bei gegen die Oberfläche geneigten AlN-Stäbchen wurde das senkrechte Lot der AlN-Stäbchenspitze auf die Oberfläche als Höhe h vermessen. In halber Höhe der AlN-Stäbchen wurde jeweils ein Breitenwert gemessen, welcher als Durchmesser des AlN-Stäbchens bezeichnet wird. Bei gegen die Oberfläche geneigten AlN-Stäbchen wurde die Breite entlang eines parallel zur Oberfläche verlaufenden Schnitts vermessen.

[0050] Der Zustand der Umformwerkzeuge wurde jeweils optisch von fachkundigem Personal vor Ort begutachtet. Die sichtoptische Begutachtung der Umformwerkzeuge erfolgte nach jeweils 100 Hub.

[0051] In Versuch 1 wurden an den Proben, die vor und nach der Warmumformung entnommen wurden, sowohl vor als auch nach der Warmumformung jeweils maximal 2 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 mit einer Höhe von höchstens 0,7 μm und einem Durchmesser von höchstens 1,1 μm ermittelt. Die Oxidschicht wies vor und nach der Warmumformung jeweils eine mittlere Dicke von 120 nm auf. Unter den Bedingungen des Versuchs 1 konnten 700 Hub durchgeführt werden, bis eine Reinigung des Umformwerkzeugs erforderlich wurde. Das Umformwerkzeug wies nur minimale Riefen auf, sodass keine vorzeitige Überarbeitung erforderlich war.

[0052] In Versuch 2 wurden an den Proben, die vor und nach der Warmumformung entnommen wurden, sowohl vor als auch der Warmumformung keine AlN-Stäbchen gefunden, nach der Warmumformung jeweils maximal 2 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 mit einer Höhe von höchstens 0,5 μm und einem Durchmesser von höchstens 1 μm ermittelt. Die Oxidschicht wies vor der Warmumformung eine mittlere Dicke von 103 nm und nach der Warmumformung eine mittlere Dicke von 135 nm auf. Unter den Bedingungen des Versuchs 2 konnten 1000 Hub durchgeführt werden, bis eine Reinigung des Umformwerkzeugs erforderlich wurde. Das Umformwerkzeug wies ebenfalls nur minimale Riefen auf, sodass auch in diesem Fall keine vorzeitige Überarbeitung erforderlich war.

[0053] In Versuch 3 enthielt die Ofenatmosphäre nicht erfindungsgemäß nur 15 Vol.-% Sauerstoff. Es wurden an den Proben, die vor und nach der Warmumformung entnommen wurden, vor und nach der Warmumformung jeweils im Mittel 13 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 gemessen. Die Höhe der AlN-Stäbchen betrug zwischen 3 und 5,5 μm , der Durchmesser betrug zwischen 1,5 μm und 2 μm . Die Oxidschicht wies nach der Warmumformung eine mittlere Dicke von 45 nm auf. Unter den Bedingungen des Versuchs 3 kam es zu einer massiven Staubbildung im Werkzeug und einer abrasiven Beschädigung der Radien, sodass das Werkzeug nach 500 Hub gereinigt und die Radien bereits nach 1000 Hub überarbeitet werden mussten.

[0054] In Versuch 4 enthielt die Ofenatmosphäre 21 Vol.-% Sauerstoff, 78 % Stickstoff, Rest Edelgase und unvermeidbare Verunreinigungen. Es wurden an den Proben, die vor und nach der Warmumformung entnommen wurden, jeweils maximal 1 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 mit einer Höhe von höchstens 0,6 μm und einem Durchmesser von höchstens 1,1 μm ermittelt. Die Oxidschicht wies eine mittlere Dicke von 2100 nm auf. Unter den Bedingungen des Versuchs 1 konnten 800 Hub durchgeführt werden, bis eine Reinigung des Umformwerkzeugs erforderlich wurde. Das Umformwerkzeug wies nur minimale Riefen auf, sodass keine vorzeitige Überarbeitung erforderlich war. Allerdings führte die erhöhte Oxidschichtbildung zu einer Verschlechterung der Schweißbeignung, Lackier- und Klebeignung.

Tabelle 1. Angaben jeweils in Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen

Stahl	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti	B	Andere
A	0,09	0,33	0,9	0,025	0,020	0,010	0,08	0,010	0,004	-
B	0,22	0,35	1,35	0,022	0,008	0,010	-	0,03	0,004	Cr+Mo 0,4
C	0,37	0,3	1,2	0,022	0,007	0,013	-	0,11	0,003	Cr+Mo 0,38

Tabelle 2. Angaben jeweils in Gew.-%, Rest Aluminium

Überzug	Si	Fe	unvermeidbare Verunreinigungen
K1	9	2,5	1
K2	10	3,5	1
K3	8,5	3	1

Tabelle 3. Angaben jeweils in Gew.-%, Rest Aluminium

Versuch	Stahl	Überzug	Überzugsdicke vor dem Erwärmen [g/m ² je Seite]	T1 [°C]	TP [°C]	Ofenatmosphäre	t [min]
1	A	K1	70	925	-5	18 Vol.-% O ₂ , 1 Vol.-% Edelgase, Rest N ₂	5
2	B	K2	40	910	+10	20 Vol.-% O ₂ , 0,8 Vol.-% Edelgase, Rest N ₂	6

(fortgesetzt)

Versuch	Stahl	Überzug	Überzugsdicke vor dem Erwärmen [g/m ² je Seite]	T1 [°C]	TP [°C]	Ofenatmosphäre	t [min]
3	C	K3	75	930	-15	15 Vol.-% O ₂ , 0,8 Vol.-% Edelgase, Rest N ₂	4
4	B	K1	70	925	-5	21 Vol.-% O ₂ , 0,8 Vol.-% Edelgase, Rest N ₂	5

[0055] Gegenstand der Erfindung sind ferner die in den nachstehenden Sätzen beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung:

1. Verfahren zur Herstellung eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlbauteils umfassend die folgenden Verfahrensschritte:

- a) Zurverfügungstellen eines mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenen Stahlflachprodukts;
- b) Erwärmen des beschichteten Stahlflachprodukts in einem Warmumformofen, dessen Ofenatmosphäre mindestens 16 Volumen-% Sauerstoff enthält und einen Taupunkt von -20 °C bis +15 °C aufweist;
- c) optionales Halten des beschichteten Stahlflachprodukts im Warmumformofen;
- d) Transport des erwärmten Stahlflachprodukts in ein Umformwerkzeug;
- e) Umformen und gleichzeitiges Abkühlen des Stahlflachprodukts im Umformwerkzeug.

2. Verfahren gemäß Satz 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** der für das Stahlsubstrat des Stahlflachprodukts verwendete Stahl aus 0,1 - 0,4 Gew.-% C, 0,5 - 3,0 Gew.-% Mn, 0,05 - 0,5 Gew.-% Si, 0,01-0,2 Gew.-% Al, 0,005 - 1,0 Gew.-% Cr, 0,0005 - 0,01 Gew.-% B, 0,001 - 0,2 Gew.-% V, 0,001 - 0,1 Gew.-% Ti, 0,001 - 0,1 Gew.-% Nb, optional 0,01 - 0,4 Gew.-% Ni, optional 0,01 - 0,8 Gew.-% Cu, optional 0,002 - 1,0 Gew.-% Mo, optional 0,001 - 1,0 Gew.-% W, bis zu 0,01 Gew.-% N, und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei bis zu 0,1 Gew.-% P und bis zu 0,05 Gew.-% S den unvermeidbaren Verunreinigungen zuzurechnen sind.

3. Verfahren gemäß Satz 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** der auf dem Stahlsubstrat vorhandene Korrosionsschutzüberzug aus 3 - 15 Gew.-% Si sowie optional einem oder mehreren Elementen ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Eisen, anderen Übergangsmetallen als Eisen, Erdalkalimetallen und Mischungen davon, in folgenden Gehalten: 2 - 3,5 Gew.-% Fe, 0,05 - 2 Gew.-% anderer Übergangsmetalle als Fe, 0,05 - 2 Gew.-% Erdalkalimetalle, und als Rest aus Aluminium und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht.

4. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Sätze **dadurch gekennzeichnet, dass** die Atmosphäre des Warmumformofens aus mindestens 16 Vol.-% Sauerstoff, bis zu 1,5 Vol.-% eines oder mehreren Edelgasen, und als Rest jeweils aus Stickstoff und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht.

5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Sätze **dadurch gekennzeichnet, dass** im Warmumformofen das Verhältnis des Volumenanteils von Stickstoff zum Volumenanteil von Sauerstoff zwischen 3,80 und 5,30 beträgt.

6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Sätze **dadurch gekennzeichnet, dass** das beschichtete Stahlflachprodukt auf eine Temperatur zwischen 830 und 950 °C erwärmt wird.

7. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Sätze **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verweilzeit des Stahlflachprodukts im Warmumformofen 2 bis 15 Minuten beträgt.

8. Mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenes Stahlflachprodukt **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm aufweist, wobei auf der Aluminiumoxidschicht höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 vorhanden sind.

9. Stahlflachprodukt gemäß Satz 8 dadurch gekennzeichnet, dass die Aluminiumoxidschicht eine mittlere Dicke von höchstens 2300 nm aufweist.

10. Stahlflachprodukt gemäß Satz 8 oder 9 dadurch gekennzeichnet, dass die AlN-Stäbchen um höchstens 6 μm aus der Aluminiumoxidschicht herausragen.

11. Stahlflachprodukt gemäß einem der Sätze 8 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass die AlN-Stäbchen einen Durchmesser von höchstens 2 μm aufweisen.

12. Mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenes Stahlbauteil dadurch gekennzeichnet, dass es auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm aufweist, wobei auf der Aluminiumoxidschicht höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 vorhanden sind.

13. Stahlbauteil gemäß Satz 12 dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Dicke der Aluminiumoxidschicht höchstens 2300 nm beträgt.

14. Stahlbauteil gemäß Satz 12 oder 13 dadurch gekennzeichnet, dass es durch ein Verfahren gemäß einem der Sätze 1 bis 7 erzeugt ist.

15. Stahlbauteil gemäß einem der Sätze 12 bis 14 dadurch gekennzeichnet, dass es unter Verwendung eines Stahlflachprodukts gemäß einem der Sätze 8 bis 11 erzeugt ist.

Patentansprüche

1. Mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenes Stahlflachprodukt, wobei der für das Stahlsubstrat des Stahlflachprodukts verwendete Stahl aus 0,1 - 0,4 Gew.-% C, 0,5 - 3,0 Gew.-% Mn, 0,05 - 0,5 Gew.-% Si, 0,01 - 0,2 Gew.-% Al, 0,005 - 1,0 Gew.-% Cr, 0,0005 - 0,01 Gew.-% B, 0,001 - 0,2 Gew.-% V, 0,001 - 0,1 Gew.-% Ti, 0,001 - 0,1 Gew.-% Nb, optional 0,01 - 0,4 Gew.-% Ni, optional 0,01 - 0,8 Gew.-% Cu, optional 0,002 - 1,0 Gew.-% Mo, optional 0,001 - 1,0 Gew.-% W, bis zu 0,01 Gew.-% N, und als Rest aus Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht, wobei bis zu 0,1 Gew.-% P und bis zu 0,05 Gew.-% S den unvermeidbaren Verunreinigungen zuzurechnen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stahlflachprodukt auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm aufweist, wobei auf der Aluminiumoxidschicht höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 vorhanden sind.

2. Stahlflachprodukt gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumoxidschicht eine mittlere Dicke von höchstens 2300 nm aufweist.

3. Stahlflachprodukt gemäß Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumoxidschicht eine mittlere Dicke von höchstens 150 nm aufweist.

4. Stahlflachprodukt gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** die AlN-Stäbchen um höchstens 6 μm aus der Aluminiumoxidschicht herausragen.

5. Stahlflachprodukt gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** die AlN-Stäbchen einen Durchmesser von höchstens 2 μm aufweisen.

6. Stahlflachprodukt gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des Korrosionsschutzüberzugs 12-60 μm je Seite beträgt.

7. Stahlflachprodukt gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Korrosionsschutzüberzug unterhalb der Aluminiumoxidschicht vier intermetallische Phasen: $\text{Fe}(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$, τ_1 $\text{Fe}_3(\text{Al},\text{Si})_5$, Fe_2Al_5 und $\text{Fe}_3(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$ enthält.

8. Mit einem aluminiumbasierten Korrosionsschutzüberzug versehenes Stahlbauteil **dadurch gekennzeichnet, dass** es auf der Oberfläche des Korrosionsschutzüberzugs eine Aluminiumoxidschicht mit einer mittleren Dicke von mindestens 50 nm aufweist, wobei auf der Aluminiumoxidschicht höchstens 10 AlN-Stäbchen pro 1000 μm^2 vor-

handen sind.

9. Stahlbauteil gemäß Anspruch 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittlere Dicke der Aluminiumoxidschicht höchstens 2300 nm beträgt.
10. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aluminiumoxidschicht eine mittlere Dicke von höchstens 150 nm aufweist.
11. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des Korrosionsschutzüberzugs 12-60 μm je Seite beträgt.
12. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Korrosionsschutzüberzug unterhalb der Aluminiumoxidschicht vier intermetallische Phasen: $\text{Fe}(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$, τ_1 $\text{Fe}_3(\text{Al},\text{Si})_5$, Fe_2Al_5 und $\text{Fe}_3(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$ enthält.
13. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 bis 12 **dadurch gekennzeichnet, dass** die AlN-Stäbchen um höchstens 6 μm aus der Aluminiumoxidschicht herausragen.
14. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 bis 13 **dadurch gekennzeichnet, dass** die AlN-Stäbchen einen Durchmesser von höchstens 2 μm aufweisen.
15. Stahlbauteil gemäß einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus der Aluminiumoxidschicht des Stahlbauteils herausragenden AlN-Stäbchen höchstens 2 μm hoch sind und einen Durchmesser von höchstens 1,1 μm haben.

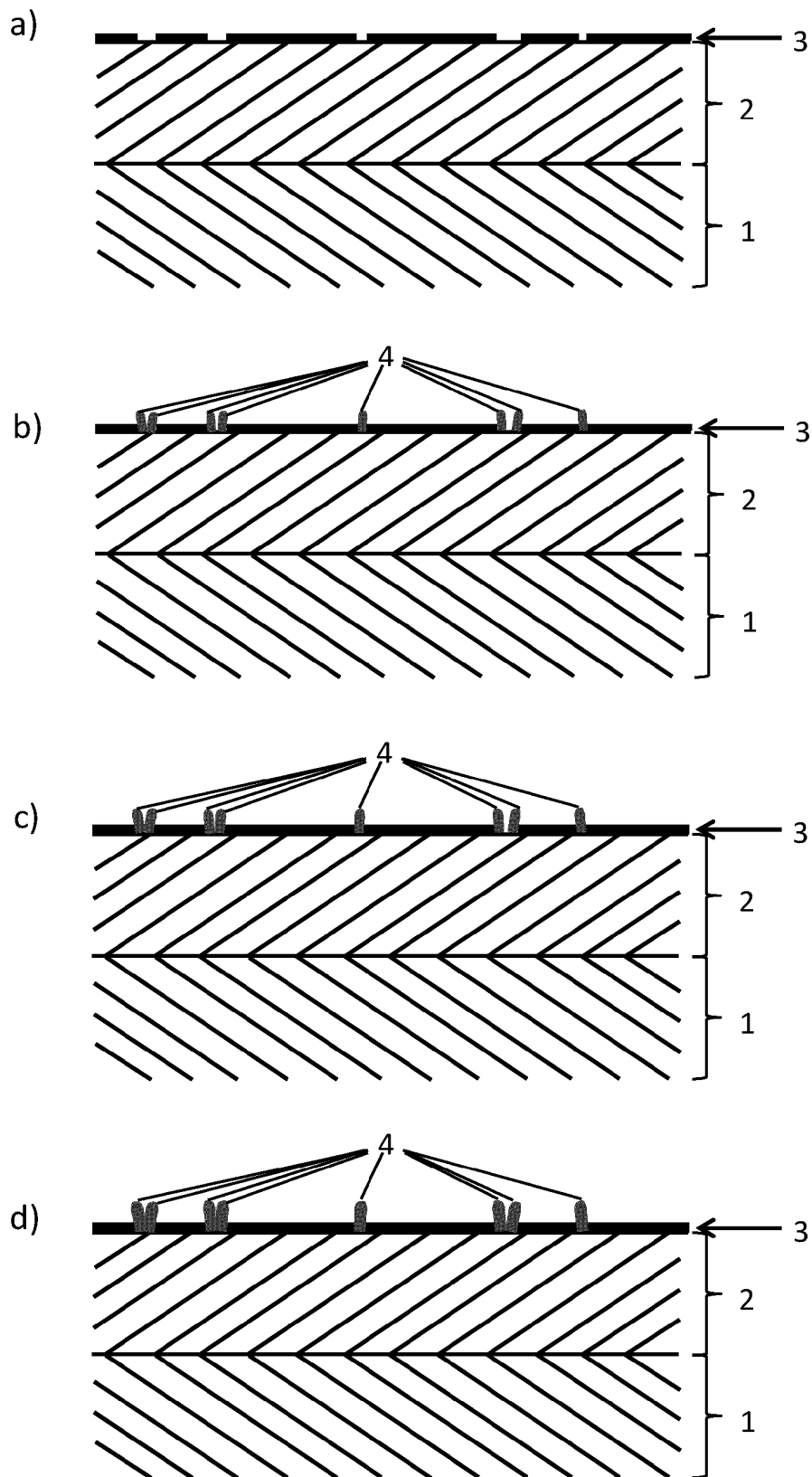


Fig. 1

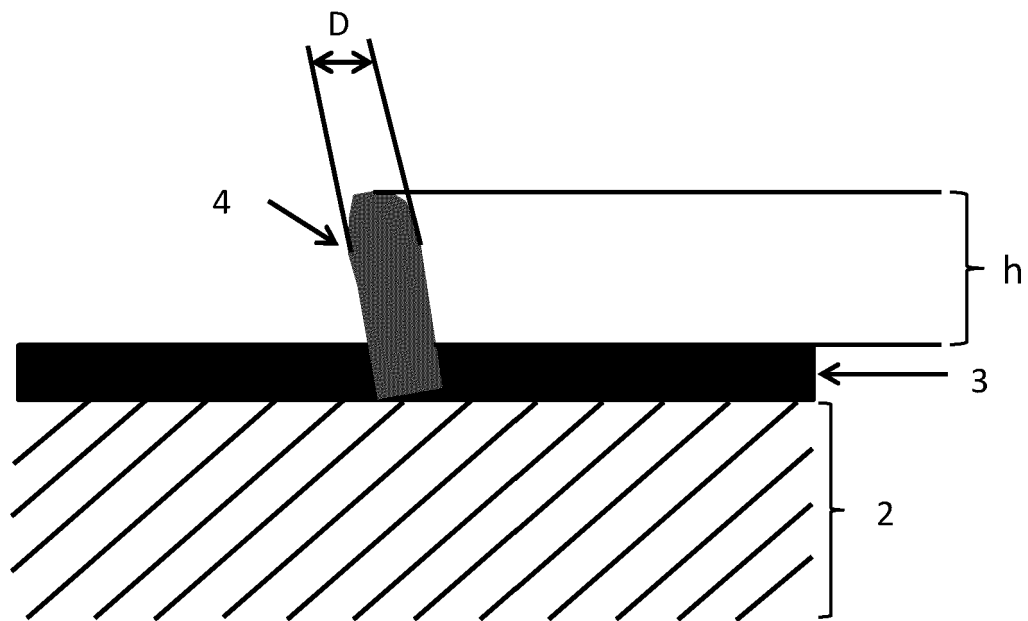


Fig. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2008053273 A1 [0006]