



(11)

EP 3 204 530 B2

(12)

NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:
09.10.2024 Patentblatt 2024/41

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:
09.01.2019 Patentblatt 2019/02

(21) Anmeldenummer: **15762569.0**

(22) Anmeldetag: **09.09.2015**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C23C 2/02 ^(2006.01) **C21D 8/04** ^(2006.01)
C21D 9/46 ^(2006.01) **C22C 38/00** ^(2006.01)
C22C 38/02 ^(2006.01) **C22C 38/04** ^(2006.01)
C22C 38/06 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21D 8/0436; C21D 8/0442; C21D 8/0473;
C21D 9/46; C22C 38/001; C22C 38/004;
C22C 38/008; C22C 38/02; C22C 38/04;
C22C 38/06; C22C 38/14; C22C 38/42;
C22C 38/44; C22C 38/46; C22C 38/48; (Forts.)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/070577

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2016/055227 (14.04.2016 Gazette 2016/15)

(54) **KALTGEWALZTES UND REKRISTALLISIEREND GEGLÜHTES STAHLFLACHPRODUKT UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG**

COLD ROLLED STEEL SHEET AND RECRYSTALLISATION-ANNEALED STEEL FLAT PRODUCT AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

PRODUIT PLAT EN ACIER LAMINÉ À FROID ET REKRISTALLISANT, AINSI QUE SON PROCÉDÉ DE FABRICATION

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

(30) Priorität: **09.10.2014 EP 14188314**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.08.2017 Patentblatt 2017/33

(73) Patentinhaber:
• **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)
• **thyssenkrupp AG**
45143 Essen (DE)

(72) Erfinder:
• **BLUMENAU, Marc**
44287 Dortmund (DE)
• **STEINEBRUNNER, Jörg**
47178 Duisburg (DE)
• **ZOCHER, Udo**
59379 Selm (DE)

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

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 111 081 EP-A1- 2 508 629
EP-A1- 2 700 731 EP-A2- 0 484 960
EP-B1- 0 391 658 WO-A1-2009/034250
WO-A1-2014/037545 DE-A1- 102012 017 703
DE-A1- 19 701 443 DE-C1- 19 622 164
DE-T2- 69 408 739 JP-A- H08 337 842
RU-C1- 2 366 730 US-A- 5 954 896

- **FRANK BEIER ET AL: "From skin pass to paint - evaluation of measurements of sheet metal waviness and roughness throughout the processing chain", SCT 2014, 15 June 2014 (2014-06-15) - 19 June 2014 (2014-06-19), pages 183 - 190**
- **programme de SCT 2014, la conference pendant laquelle D1 a ete rendu accessible au public**
- **norme EN 10130 publiee en 2006**

EP 3 204 530 B2

- Gerstein, Gregory et al., « Characterization of the microstructure evolution in IF-Steel and AA6016 during plane- strain tension and simple shear », Materials 2015, 8, 285-301, 03 septembre 2014
 - Fronhoffs, Cornelius et al., « Steel for highest paint appearance quality in automotive application », SCT 2014, 15 juin 2014
 - thyssenkrupp, « ThyssenKrupp Steel Europe presents innovative finishes for top class paintwork », TKS, 05 novembre 2013
 - BERANGER, Gerard et al., "LE LIVRE DE L'ACIER" TECHNIQUE & DOCUMENTATION, 1994, extrait sur le recuit en continu
 - Pradhan, R. et al., « Continuous annealing line of Sollac Ste Agathe », Development in the Annealing of Sheet Steels, 1992
 - Pradhan, R. et al., "Development of the strip temperature control technique for a continous annealing line", Developmen tin the Annealing of Sheet Steels, 1992
 - Blumeneau, Marc et al., "Modernization of the continuous annealing line of ThyssenKrupp Steel Europe in Dortmund" Steel 2012
 - Irie, T. et al., "Development of deep drawable and bake hardenable high strength steel sheet by continuous annealing of extra low-carbon steels with Nb or Ti and P", The Metallurgical Society of AIME, 1982
 - COPPIN, Patrick et al., "Atmospheres de traitement thermique "Techniques de l'ingenieur, 10 mars 2000
 - Translation of JPH08337842
 - Ritterbach, Benedikt et al., "Qualitatregelkreis zur Erzeugung definierter Feinblechrauheiten mit verschiedenen Texturiervverfahren", VDI VERLAG, 1999
 - Salzgitter Flachstahl GmbH, "Versandanzeige: 85008437", 14.07.2014
 - Salzgitter Flachstahl GmbH, "Versandanzeige: 85069434", 18.08.2014
 - Salzgitter Flachstahl GmbH, "Messblatt Nr. 1269376", 12.07.2014
 - DIN Deutsches Institut fur Normung e.V., "DIN EN 10152-Elektrolytisch verzinkte kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus Stahl zum Kaltumformen" Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2009, Tabelle 1; Seite 5, Abschnitt 4.1
 - Salzgitter Flachstahl GmbH, "TC-Prufkarte Schmelze-Nr.64187", 29.03.2014
 - Institut fur Eisenhüttenkunde, "Werkstoffkunde Stahl fur Studium und Praxis" Mainz: Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag, Aachen, 2004, Ed. 2 ISBN: 3-89653-820-9, Seite 128
 - Stahlinstitut VDEh , "Stahlfibel" Dusseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 2007 ISBN: 978-3-514-00741-3, Seite 120, Spalten 2 und 3
 - Zimnik, Ritterbach, Mull, Walter, Benedikt, Karl et al., "Pretex -Ein neues Verfahren zur Erzeugung textuherter Feinbleche fur hochste Anspruche" Stahl und Eisen, Vol. 3, 16 Marz 1998, Seiten 78 und 79
 - Salzgitter Flachstahl GmbH, "Qualitätsprotokoll DressierstraBe 3, Nr. 0047783/001", 24.06.2014
 - Stahleisen-Berichte, "Spurenelemente in Stahlen" Dusseldorf: Verlag Stahleisen mbH, 1985 ISBN: 3-514-00324-6
 - Dressierschrieb
 - Walzenprotokoll fur Walzennummer 9246
 - Walzenprotokoll fur Walzennummer 9235
 - Wikipedia, "Strain hardening exponent"
 - Clausmeyer, Till et al., "Phenomenological modeling of anisotropy induced by evolution of the dislocation structure on the macroscopic and microscopic scale" Int J Master Form, 2011
 - Larour, Patrick et al., "Influence of strain rate, temperature, plastic strain, and microstructure on the strain rate sensitivity of automotive sheet steels" steel research, 2012
 - Fachbuch "Werkstoffe 1 - Legierungsbildung Stahl und Eisen" von Dipl. Ing. Joseph Flimm, 1950
- (52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
C22C 38/50; C22C 38/54; C21D 2211/005

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines kaltgewalzten und rekristallisierend geglühten Stahlflachprodukts mit einer ferritischen Gefügestruktur.

[0002] Stahlflachprodukte dieser Art werden insbesondere im Bereich des Automobilkarosseriebaus eingesetzt, wo besonders hohe Anforderungen an die Verformbarkeit und die optische Erscheinung der aus solchen Stahlflachprodukten geformten Bauteile gestellt werden.

[0003] Wenn hier von Stahlflachprodukten die Rede ist, so handelt es sich dabei um Walzprodukte, wie Stahlbänder oder -bleche sowie daraus gewonnene Zuschnitte und Platinen.

[0004] Soweit nachfolgend Angaben zu Gehalten von Legierungen gemacht werden, beziehen diese sich immer auf das Gewicht, soweit nicht anders angegeben. Dagegen beziehen sich Angaben zur Zusammensetzung von Atmosphären immer auf das betrachtete Volumen, solange nicht anders angegeben.

[0005] Für den Karosseriebau oder vergleichbare Anwendungen bestimmte Stahlflachprodukte werden typischerweise mit einer Oberflächenstruktur versehen, die sich durch eine definierte Rauheit und eine ebenso definierte Spitzenverteilung auszeichnet, um den hinsichtlich der Umformbarkeit und Oberflächenanmutung (Lackierbarkeit und Lackglanz) bestehenden kundenspezifischen Anforderungen gerecht zu werden. Ein typisches Beispiel für entsprechende Vorgaben aus dem Bereich der Automobilindustrie ist eine arithmetische Mittenrauheit (im Folgenden kurz "Rauheit" genannt) Ra von 1,1 - 1,6 μm bei einer Spitzenanzahl RPC von mindestens 60 1/cm. Die Rauheit Ra und die Spitzenzahl RPC werden dabei gemäß Stahleisenprüfblatt SEP 1940 mittels eines Tastschnittgeräts nach ISO 3274 bestimmt.

[0006] Ein weiteres Kriterium zur Bestimmung der für eine optimale Lackierbarkeit und einen optimalen Lackglanz zu erreichenden Oberflächenbeschaffenheit stellt der sogenannte "Welligkeitskennwert Wsa(1 - 5)", im Folgenden kurz "Wsa" genannt, dar, der gemäß Stahl-Eisen-Prüfblatt SEP 1941:2012-05 nach 5 % plastischer Dehnung im Marciniak-Tiefungsversuch ermittelt wird. Typische Anforderungen liegen bei Wsa-Werten von 0,35 μm bis 0,40 μm . Besonders guter Lackglanz stellt sich bei Wsa-Werten von $\leq 0,35 \mu\text{m}$, insbesondere $< 0,30 \mu\text{m}$, ein. Um derart niedrige Wsa-Werte zu erzielen, werden Spitzenanzahlen RPC von mindestens 75 1/cm und Rauheiten Ra von 0,9 - 1,4 μm gefordert.

[0007] Die Einstellung der Werkstoffkennwerte Ra und RPC erfolgt bei der Erzeugung von kaltgewalzten Stahlflachprodukten typischerweise durch Dressieren nach dem rekristallisierenden Glühen, das die Stahlflachprodukte nach dem Kaltwalzen durchlaufen, um ihre optimale Verformbarkeit zu gewährleisten.

[0008] Unter "Dressieren" ist hierbei ein nach dem rekristallisierenden Glühen absolviertes An- bzw. Nachwalzen zu verstehen, bei dem das Stahlflachprodukt einer geringen Verformung von ca. 0,2 - 2,0 % unterzogen wird, die hier als "Dressiergrad" bezeichnet wird. Der Dressiergrad wird dabei durch einen Vergleich der Umfangsgeschwindigkeiten der Umlenkrollen, die mit Wegerfassungsgebern versehen sind, vor und hinter dem Walzgerüst bestimmt, in dem das Stahlflachprodukt dressiergewalzt wird. Aus der Wegdifferenz der Umlenkrollen (Weg Einlauf s1, Weg Auslauf s2) folgt der Dressiergrad D als $D = [(s2-s1)/s1] \cdot 100$.

[0009] Die kombinierte Anforderung "hohe Spitzenzahl RPC" und "hohe Rauheit Ra" stellt eine komplexe Fertigungsaufgabe dar, die grundsätzlich gilt. Dies ergibt sich daraus, dass eine zur Erzielung von hohen Ra-Werten erforderliche hohe Walzenrauheit grundsätzlich eine geringe Spitzenzahl RPC nach sich zieht, da die zunehmende Oberflächenzerklüftung (= Rauheit) der Walze den Abstand von Wellenberg zu Wellenberg auf der Walzenoberfläche auseinander treibt und somit die Anzahl der am Stahlflachprodukt abbildbaren Spitzen verringert. Erschwerend kommt der Umstand hinzu, dass bereits beim trockenen Dressieren beim Übertrag der auf der Walzenoberfläche vorhandenen Spitzen auf das jeweils gewalzte Stahlflachprodukt ein Spitzenübertragungsverlust von ca. 20 % zu Buche schlägt.

[0010] Hinzu kommt die Regel, dass im Fall, dass der Dressiergrad D zu hoch gewählt ist, die Rauheit Ra zu hoch wird. Wird hingegen der Dressiergrad D zu niedrig angesetzt, könnte es insbesondere bei breiten Bandabmessungen zu nicht ausdressierten Bandrändern kommen. Dort sind dann die erzielten Ra- und RPC-Werte zu niedrig.

[0011] Der Dressiergrad D kann auch in Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften des Stahlsubstrats nicht beliebig variiert werden. Ein zu niedriger Dressiergrad D wirkt einer ausgeprägten Streckgrenze nur unzureichend entgegen. Durch einen zu hohen Dressiergrad D kann dagegen die Festigkeit des Stahlsubstrates aufgrund zu intensiver Kaltverfestigung nicht-korrigierbar hoch ausfallen.

[0012] Die Herausforderungen an das Dressierwalzen verschärfen sich, je weicher, breiter und dünner das zu erzeugende Stahlflachprodukt ist. Unter "weich" wird hier ein Stahl verstanden, der im rekristallisierten Zustand und nach dem Dressierwalzen eine Dehngrenze Rp0,2 von höchstens 180 N/mm² und eine Zugfestigkeit Rm von höchstens 340 N/mm² besitzt. Dies hat in der Praxis zur Folge, dass sich derzeit Stahlflachprodukte der hier in Rede stehenden Art mit automobiltypischen Abmessungen nur mit großem Aufwand mit der gewünschten Betriebssicherheit erzeugen lassen. Besonders kritisch erweisen sich dabei Stähle mit einer Dehngrenze Rp0,2 von max. 150 MPa und einer Zugfestigkeit Rm von höchstens 310 MPa.

[0013] Es sind verschiedene Vorschläge bekannt, diesen Aufwand in der Praxis beherrschbar zu machen und Stahlflachprodukte zu produzieren, die optimale Voraussetzungen für eine Lackierung mit auch strengsten Anforderungen genügendem Glanzbild schaffen sollen.

[0014] Ein Beispiel hierfür ist das aus der EP 0 234 698 B1 bekannte Verfahren zur Herstellung eines zum Anstreichen geeigneten Stahlblechs. Dieses Verfahren sieht vor, dass in die Oberfläche einer Dressierwalze mittels eines Energiestrahls ein regelmäßiges Muster von Vertiefungen erzeugt wird. Das zu bearbeitende Stahlflachprodukt wird mittels zweier Arbeitswalzen dressiergewalzt, von denen mindestens eine in der voranstehend angegebenen Weise bearbeitet ist. Die über das Dressierwalzen erzielte Querschnittsverminderung soll dabei nicht weniger als 0,3 % betragen, um das Muster von der Arbeitswalze auf die Oberfläche des Stahlblechs zu übertragen. Auf diese Weise soll ein Stahlblech erhalten werden, das eine durchschnittliche Oberflächenrauheit Ra innerhalb des Bereichs von 0,3 bis 3,0 µm und eine die Oberflächenrauheit bildende mikroskopische Form aufweist, die aus trapezförmigen Erhebungsbereichen mit einer planen oberen Fläche, nutähnlichen Vertiefungsbereichen, die derart ausgebildet sind, dass sie einen Erhebungsbereich vollständig oder teilweise umgeben, und planen Mittelbereichen besteht, die derart zwischen den Erhebungsbereichen außerhalb der Vertiefungsbereiche ausgebildet sind, dass sie höher als der Boden der Vertiefungsbereiche und tiefer oder von gleicher Höhe sind als die oberen Flächen der Erhebungsbereiche. Gleichzeitig sollen die Erhebungen und Vertiefungen bestimmte geometrische Abhängigkeiten unter anderem vom Durchmesser der in die Dressierarbeitswalze eingeformten Vertiefungen aufweisen.

[0015] Ein vergleichbarer Vorschlag ist in der DE 36 86 816 T2 gemacht worden. Auch dort ist vorgeschlagen worden, in die Oberfläche eines kaltgewalzten Stahlflachprodukts ein gleichmäßiges Oberflächenrauheitsmuster einzubringen, das zu einer Oberflächenrauheit Ra von 0,3 - 2,0 µm führt.

[0016] Aus der WO 2011/162135 A1 sind schließlich ein dünnes kaltgewalztes Stahlblech und ein Verfahren zu dessen Herstellung bekannt. Das Stahlblech besteht dabei aus einem Stahl mit in Gew.-%, 0,10 % oder weniger C, 0,05 % oder weniger Si, 0,1 - 1,0 % Mn, 0,05 % oder weniger P, 0,02 % oder weniger S, 0,02 - 0,10 % Al, weniger als 0,005 % N und als Rest aus Fe und unvermeidbaren Verunreinigungen. Das so beschaffene Stahlblech wird einer Glühbehandlung unterzogen, bei der es für mindestens 30 s bei einer Glühtemperatur von 730 - 850 °C geglüht und anschließend auf eine höchstens 600 °C betragende Temperatur mit einer Abkühlrate von mindestens 5 °C/s abgekühlt wird. Das danach erhaltene kaltgewalzte geglühte Stahlflachprodukt weist ein hauptsächlich aus Ferrit bestehendes Gefüge auf, das einen durchschnittlichen Kristallkorndurchmesser von 5 - 30 µm besitzt. Abschließend wird das Stahlflachprodukt unter Verwendung einer Walze dressiergewalzt, deren Oberflächenrauigkeit Ra höchstens 2 µm beträgt. Das über das Dressierwalzen erzielte Streckverhältnis wird dabei in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Kristallkorndurchmesser des dünnen kaltgewalzten geglühten Blechs eingestellt.

[0017] Aus der EP 2 508 629 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung eines nicht-kornorientierten Stahls bekannt, der 0,1-1% Si, 0,005-1,0% Al, höchstens 0,004 % C, 0,10-1,50% Mn, höchstens 0,2% P, höchstens 0,05% S, höchstens 0,002 % N, höchstens 0,006 % Nb+V+Ti und als Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen enthält.

[0018] Aus der DE 197 01 443 A1 sind ein Blech oder Band, welches eine Streckgrenze $R_{p0,2} > 200 \text{ N/mm}^2$ aufweist, und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bleches oder Bandes bekannt.

[0019] Aus der EP 0 484 960 A2 sind ein kaltgewalztes Stahlband, welches einen r-Wert in 45°-Richtung von mindestens 1,90 aufweist, und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen bekannt.

[0020] Aus EP 1 111 081 A1 sind ein mit Nb legierter ultra-low carbon Stahl, der nahezu keine Niobkarbide enthält, und ein Verfahren zu seiner Herstellung bekannt.

[0021] Aus EP 2 700 731 A1 sind ein mit Bor legiertes Stahlblech, welches ein Bor-Stickstoff-Verhältnis $B/N = (B(\text{mass\%})/10,81)/(N(\text{mass\%})/14,01)$ von kleiner oder gleich 3,0 aufweist, und ein Verfahren zu seiner Herstellung bekannt.

[0022] Aus DE 196 22 164 C1 ist ein Verfahren zur Erzeugung eines kaltgewalzten Stahlblechs oder -bandes, welches 0,01-0,08% C aufweist, bekannt.

[0023] Aus DE 102012017703A1 sind ein Flachprodukt aus einem Metallwerkstoff, welches eine Oberflächenstruktur mit einer arithmetischen Mittenrauheit von 0,3-3,6 µm und einer Spitzenzahl von 45-180 1/cm aufweist, und ein Verfahren zu seiner Herstellung bekannt.

[0024] Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlflachprodukts anzugeben.

[0025] Ein Verfahren, das die betriebssichere Erzeugung eines Stahlflachprodukts erlaubt, ist in Anspruch 1 angegeben.

[0026] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nachfolgend wie der allgemeine Erfindungsgedanke im Einzelnen erläutert.

[0027] Ein kaltgewalztes und rekristallisierend geglühtes durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbares Stahlflachprodukt mit einer ferritischen Gefügestruktur besteht demnach aus einem Stahl mit folgender Zusammensetzung (in Gew.-%):

C: 0,0001 - 0,003 %,
Si: 0,001 - 0,025 %,
Mn: 0,05 - 0,20 %,

P: 0,001 - 0,015 %,
Al: 0,02 - 0,055 %,
Ti: 0,01 - 0,1 %,

5 **[0028]** Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, wobei der Stahl zusätzlich folgende optionale Legierungselemente enthalten kann:

Cr: 0,001 - 0,05 %,
V: bis zu 0,005 %, 10
Mo: bis zu 0,015 %, 10
N: 0,001 - 0,004 %, 10

wobei zu den unvermeidbaren Verunreinigungen B, Cu, Nb, Ni, Sb, Sn und S zählen, deren Anteil in Summe höchstens 0,2 Gew.-% ist, wobei im Fall der Anwesenheit von Nb, B oder Sb für diese Verunreinigungen gilt: Sb-Gehalt höchstens 0,001 Gew.-%, Nb-Gehalt höchstens 0,002 Gew.-% und B-Gehalt höchstens 0,0005 Gew.-%, und weist 15

- eine Dehngrenze Rp0,2 von bis zu 180 MPa,
- eine Zugfestigkeit Rm von bis zu 340 MPa,
- 20 - eine Bruchdehnung A80 von mindestens 40 %,
- einen n-Wert von mindestens 0,23
- sowie an mindestens einer seiner Oberflächen
- eine arithmetische Mittenrauheit Ra von 0,8 - 1,6 µm und
- eine Spitzenzahl R_{Pc} von mindestens 75 1/cm auf.

25 **[0029]** Dabei sind die die Mittenrauheit Ra und die Spitzenzahl R_{Pc} bedingenden, in die Oberfläche eingeformten Vertiefungen und Spitzen stochastisch verteilt.

[0030] Ein durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbares Stahlflachprodukt besteht somit aus einem weichen Stahl, der eine Dehngrenze Rp0,2 von bis zu 180 MPa, insbesondere von weniger als 150 MPa, eine Zugfestigkeit Rm von bis zu 340 MPa, insbesondere von weniger als 310 MPa, besitzt und dabei mit einer Bruchdehnung A80 von 30 mindestens 40 % eine hohe Dehnung und einen hohen n-Wert von mindestens 0,23 besitzt. Mit dieser Eigenschaftskombination ist er für eine Umformung, insbesondere für ein Tiefziehen, optimal geeignet.

[0031] Gleichzeitig weist ein durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbares Stahlflachprodukt eine durch eine arithmetische Mittenrauheit Ra von 0,8 - 1,6 µm und eine Spitzenzahl R_{Pc} von mindestens 75 1/cm gekennzeichnete Oberflächenbeschaffenheit auf, die ihm eine hervorragende Eignung für eine Lackierung mit optimiertem Lackglanz verleiht. So erreichen erfindungsgemäße Oberflächenstrukturen sicher Wsa-Werte von höchstens 0,40 µm, typischerweise höchstens 0,35 µm, insbesondere kleiner als 0,30 µm, und zwar insbesondere auch dann, wenn die durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukte in einem für automobiltechnische Anwendungen typischen Abmessungsspektrum mit Dicken von bis zu 1,0 mm und Breiten von mindestens 1000 mm vorliegen. 35

[0032] Ein durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbare Stahlflachprodukt weist seine besondere Eignung für die Umformung und Lackierung im unbeschichteten oder mit einer metallischen Schutzschicht belegten Zustand auf. 40

[0033] Im Fall, dass eine solche metallische Beschichtung vorgesehen ist, sollte sie durch elektrolytisches Beschichten aufgetragen werden. Durch Anwendung bekannter elektrolytischer Verfahren wird sichergestellt, dass da die Oberflächenstruktur des erfindungsgemäß dressierten Stahlbandes an der Oberfläche des mit der metallischen Beschichtung belegten Stahlflachprodukts erhalten bleibt. Als metallische Schutzschicht eignet sich dabei insbesondere eine elektrolytisch aufgetragene Schicht auf Basis von Zink. 45

[0034] Alternativ oder ergänzend zu einer metallischen Schutzbeschichtung der voranstehend genannten Art kann das durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbare Stahlflachprodukt auch mit einer anorganischen oder einer organischen Beschichtung beschichtet werden. Mit anorganischer Beschichtung ist eine für Bandprozesse typische Passivschicht, z. B. als Phosphatierung oder Chromatierung gemeint. Mit organischer Beschichtung ist eine für Bandprozesse typische Dickschichtpassivierung, z. B. auf Basis Cr(III)-haltiger Verbindungen gemeint. Dabei können an sich ebenfalls bekannte Beschichtungsmittel zur Anwendung kommen, die üblicherweise eingesetzt werden, um die Lackhaftung, das Reibverhalten im Umformwerkzeug und desgleichen zu verbessern. 50

[0035] Die auf der erfindungsgemäß beschaffenen Oberfläche eines durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukts ausgebildete Oberflächentextur ist durch eine stochastische Verteilung der Vertiefungen und Spitzen gekennzeichnet die den erfindungsgemäßen Rauheitswert Ra und die erfindungsgemäße Spitzenzahl R_{Pc} bestimmen. 55

[0036] Stochastische Oberflächentexturen, wie sie erfindungsgemäß vorgeschrieben sind, sind unregelmäßige Ober-

flächentexturen, die gekennzeichnet sind durch eine unregelmäßige statistische Verteilung der Gestaltungsmerkmale wie z. B. Vertiefungen, die untereinander wiederum in Abstand, Form und Größe variieren können. Deterministische Oberflächentexturen sind dagegen regelmäßige Oberflächentexturen, die durch eine regelmäßige Verteilung gleichartiger Gestaltungsmerkmale gekennzeichnet sind.

[0037] Eine stochastische Oberflächentexturierung ist erfindungsgemäß angestrebt, um im geölten bzw. gefetteten Zustand das Reibverhalten zwischen Stahloberfläche und Werkzeug während Umformprozessen zu optimieren. In einem werkzeuggebundenen Umformprozess, insbesondere beim Tief- oder Streckziehen, zeichnet sich eine stochastische Oberflächenstruktur dadurch aus, dass bei hohen Druckbeanspruchungen der Schmierstoff über Mikrokanäle, welche sich zwischen den Bergen und Tälern der Oberflächentextur auftun, aus der Beanspruchungszone abfließen kann. Gegenüber den stärker isolierten Schmiertaschen einer deterministischen Oberflächentexturierung erlaubt dieses feingliedrigere Netz von Mikrokanälen eine gleichmäßigere Verteilung des Schmierstoffes über die gesamte Oberfläche, an der es im Umformprozess zu einem Kontakt zwischen Werkzeug und Stahlflachprodukt kommt. Des Weiteren gewährleistet eine stochastische Grundstruktur Verlaufs- und Haftungseigenschaften für organische oder metallische Beschichtungen, die erforderlichenfalls zusätzlich auf das durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbare Stahlflachprodukt aufgebracht werden können.

[0038] Der Rauheitswert Ra sollte bei der erfindungsgemäßen Oberfläche eines wie zuvor Stahlflachprodukts nicht kleiner als $0,8\text{ }\mu\text{m}$ sein, da die Oberfläche andernfalls zu glatt ist. Der Rauheitswert Ra sollte aber auch nicht größer als $1,6\text{ }\mu\text{m}$ sein, weil die Oberfläche dann zu rau ist, um optimierte Umformeigenschaften zu erzielen. Um die Vorteile der Erfindung betriebssicher nutzen zu können, können Rauheitswerte Ra von $0,9 - 1,4\text{ }\mu\text{m}$ vorgesehen werden.

[0039] Die Spitzenzahl R_{Pc} sollte nicht kleiner als 75 pro cm sein, weil sich dies negativ auf den Wsa-Wert auswirken würde. Indem die Spitzenzahl auf mindestens 75 1/cm festgelegt ist, ist sichergestellt, dass der Wsa-Wert eines durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukts nicht über $0,40\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere nicht über $0,35\text{ }\mu\text{m}$ steigt und eine Lackierung einen optimalen Lackglanz erzielt. Höhere Spitzenzahlen führen zu weiter verbesserten Wsa-Werten der erfindungsgemäß beschaffenen Oberfläche eines durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukts. Auf diese Weise lassen sich die Wsa-Werte durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbarer Stahlflachprodukte von kleiner als $0,30\text{ }\mu\text{m}$ erzielen. Wsa-Werte von höchstens $0,40\text{ }\mu\text{m}$ werden betriebssicher erreicht, wenn die Spitzenzahl R_{Pc} für die erfindungsgemäß beschaffene Oberfläche auf mindestens 75 pro cm festgelegt wird. Wsa-Werte von höchstens $0,35\text{ }\mu\text{m}$ stellen sich ein, wenn die Spitzenzahl R_{Pc} für die erfindungsgemäß beschaffene Stahlflachprodukt-Oberfläche auf mindestens 80 pro cm festgelegt wird. Wsa-Werte von weniger als $0,30\text{ }\mu\text{m}$ lassen sich schließlich dadurch gewährleisten, dass für die Spitzenzahl R_{Pc} ein Mindestwert von 90 pro cm festgelegt wird.

[0040] Ein durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbares Stahlflachprodukt enthält als Pflichtlegierungselemente C, Si, Mn, P, Al und Ti mit folgender Maßgabe: Der C-Gehalt des durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukts beträgt 0,0001 - 0,003 Gew.-%. C ist unvermeidbar in der Stahlschmelze enthalten, so dass C-Gehalte von mindestens 0,0001 Gew.-% stets in einem erfindungsgemäßen Stahl feststellbar sind. Ein C-Gehalt oberhalb von 0,003 Gew.-% verschlechtert jedoch das angestrebte Umformvermögen durch einen zu starken Verfestigungsbeitrag des Kohlenstoffs. Dies kann dadurch sicher verhindert werden, dass der C-Gehalt auf 0,002 Gew.-% oder weniger abgesenkt wird.

[0041] Si ist in einem wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,001 - 0,025 Gew.-% vorhanden. Auch Si ist unvermeidbar in der Stahlschmelze enthalten. Ein Si-Anteil oberhalb der erfindungsgemäßen Grenze von 0,025 Gew.-% verschlechtert jedoch das Umformvermögen durch einen zu starken Verfestigungsbeitrag. Um negative Einflüsse der Anwesenheit von Si zu vermeiden, kann der Si-Gehalt eines wie zuvor Stahlflachprodukts auf höchstens 0,015 Gew.-% beschränkt werden.

[0042] Mn ist in einem wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,05 - 0,20 Gew.-% vorhanden. Mn-Gehalte, die in diesem Bereich liegen, tragen optimal zum Umformvermögen eines wie zuvor Stahlflachprodukts bei. Bei außerhalb des erfindungsgemäß vorgegebenen Bereichs liegenden Mn-Gehalten kommt es zu einem zu geringen oder zu hohen Betrag durch Mischkristallverfestigung. Ein optimaler Einfluss der Anwesenheit von Mn im wie zuvor Stahlflachprodukt kann dadurch gesichert werden, dass der Mn-Gehalt auf höchstens 0,15 Gew.-% beschränkt wird.

[0043] P ist in einem wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,001 - 0,015 Gew.-% vorgesehen. Auch P ist unvermeidbar in der Stahlschmelze enthalten und liefert einen Beitrag zur Mischkristallverfestigung. Ein P-Anteil oberhalb der erfindungsgemäßen Grenze verschlechtert jedoch das angestrebte Umformvermögen und zeigt negative Auswirkungen auf das angestrebte Lackierergebnis. Um die positiven Einflüsse der Anwesenheit von P durch Mischkristallverfestigung zu nutzen und gleichzeitig negative Einflüsse sicher auszuschließen, kann der P-Gehalt auf höchstens 0,012 Gew.-% beschränkt werden.

[0044] Al ist in einem wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,02 - 0,055 Gew.-% vorhanden. Al dient bei der Stahlerzeugung zur Beruhigung der Stahlschmelze und muss daher innerhalb der erfindungsgemäßen Grenzen zulegiert werden. Ein Al-Anteil oberhalb der erfindungsgemäß vorgesehenen Obergrenze des Al-Gehalts verschlechtert jedoch das angestrebte Umformvermögen. Optimal nutzen lässt sich der positive Einfluss von Al in der Legierung eines wie zuvor Stahlflachprodukts dadurch, dass der Al-Gehalt auf höchstens 0,03 Gew.-% beschränkt wird.

[0045] Ti ist in einem wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von 0,01 - 0,1 Gew.-% vorhanden. Ti dient zur Abbindung interstitieller Legierungselemente und trägt so zur Ausscheidungsverfestigung bei. Bei einem Ti-Gehalt von weniger als 0,01 Gew.-% liegen interstitielle Legierungselemente weiterhin gelöst im Kristallgitter vor, was sich negativ auf das angestrebte Umformvermögen auswirkt. Durch oberhalb von 0,1 Gew.-% liegende Ti-Gehalte wird das Umformvermögen nicht zusätzlich verbessert. Die positiven Einflüsse der Anwesenheit von Ti lassen sich dann mit hoher Sicherheit nutzen, wenn der Ti-Gehalt 0,05 - 0,09 Gew.-% beträgt.

[0046] Neben den voranstehend genannten, in einem durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukt stets vorhandenen Legierungselementen kann ein durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbares Stahlflachprodukt wahlweise zusätzlich folgende Legierungselemente enthalten, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen oder einzustellen:

Cr kann in Gehalten von 0,001 - 0,05 Gew.-% einem durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukt zugegeben werden, so dass sich die Anwesenheit von Cr bei derart geringen Gehalten positiv auf die mechanischen Eigenschaften des durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbaren Stahlflachprodukts, insbesondere dessen Dehngrenze und Zugfestigkeit, auswirkt. Ein Cr-Anteil oberhalb des erfindungsgemäß vorgesehenen Bereichs verschlechtert jedoch das angestrebte Umformvermögen.

[0047] In gleicher Weise kann V optional der Stahlschmelze zulegiert sein, um ebenfalls zur Abbindung interstitieller Legierungselemente und damit zu einer Ausscheidungsverfestigung beizutragen. Hierzu kann V im wie zuvor Stahlflachprodukt in Gehalten von bis zu 0,005 Gew.-% vorhanden sein.

[0048] Mo kann optional in Gehalten von bis zu 0,015 Gew.-% im wie zuvor Stahlflachprodukt vorhanden sein, um zur Mischkristallverfestigung zu dienen. Ein Mo-Anteil oberhalb der erfindungsgemäßen Grenze verschlechtert das angestrebte Umformvermögen jedoch.

[0049] Grundsätzlich sind Gehalte an N im wie zuvor Stahlflachprodukt den technisch unvermeidbaren Verunreinigungen zuzurechnen. In Gehalten von 0,001 - 0,004 Gew.-% kann N aber durch TiN-Bildung zusätzlich einer Ausscheidungsverfestigung dienen. Ist der Anteil an N größer als 0,004 Gew.-%, besteht die Gefahr, dass Stickstoff gelöst im Kristallgitter vorliegt und eine ausgeprägte Streckgrenze verursacht, die eine schlechte Tiefziehverformbarkeit bedingt. Daher ist der optional vorgesehene N-Gehalt optimalerweise auf höchstens 0,003 Gew.-% begrenzt, um die angestrebten Umformeigenschaften zu sichern.

[0050] Neben den voranstehend genannten Legierungselementen und Eisen als Hauptbestandteil eines erfindungsgemäßen Stahls können technisch unvermeidbare Verunreinigungen im wie zuvor Stahlflachprodukt vorhanden sein. Hierzu zählen B, Cu, Nb, Ni, Sb, Sn und S, deren Anteil in Summe höchstens 0,2 Gew.-% ist, wobei im Fall der Anwesenheit von Nb, B oder Sb für diese Verunreinigungen folgende spezielle Maßgaben gelten: Sb-Gehalt höchstens 0,001 Gew.-%, Nb-Gehalt höchstens 0,002 Gew.-% und B-Gehalt höchstens 0,0005 Gew.-%.

[0051] Stahlflachprodukte lassen sich beispielsweise durch die erfindungsgemäße Art und Weise der Herstellung betriebssicher erzeugen.

[0052] Das erfindungsgemäße Verfahren beschreibt Patentanspruch 1.

[0053] Im Arbeitsschritt b) des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die für die Wärmebehandlung des Stahlflachprodukts vorgesehenen jeweiligen Teilschritte in einem Durchlaufofen absolviert. Der Wärmebehandlungsprozess erfolgt als im kontinuierlichen Durchlauf absolvierte Glühung, weil sich auf diese Weise die einzelnen Teilschritte der Wärmebehandlung homogen aneinander fügen. Aus dem unterbrechungsfreien Ablauf resultiert eine deutlich geringere Streuung der mechanischen Eigenschaften des Stahlflachprodukts über dessen Länge und Breite.

[0054] In dem für die kontinuierlich ablaufende Wärmebehandlung in der Praxis vorgesehenen Durchlaufofen können einzelne Abschnitte in an sich bekannter Weise beispielsweise nach Art eines DFF- (Direct Fired Furnace), eines DFI- (Direct Flame Impingement) oder eines NOF- (Non Oxidizing Furnace) Ofens direkt oder beispielsweise nach Art eines RTF- (Radiant Tube Furnace) Ofens indirekt beheizt sein.

[0055] Das Abkühlen des Stahlflachprodukts auf die Überalterungsstarttemperatur T2 sowie das Schlusskühlen des Stahlflachprodukts auf Raumtemperatur können in konventioneller Weise durch Aufblasen von Gas, z. B. N₂, H₂ oder einem Gemisch daraus, durch Aufgeben von Wasser, Nebel oder durch eine Abkühlung über Kontakt zu Kühlrollen durchgeführt werden, wobei jede dieser Maßnahmen auch in Kombination mit einer oder mehreren der anderen Kühlmaßnahmen durchgeführt werden kann.

[0056] Für das rekristallisierende Glühen ist eine Haltetemperatur T1 vorgesehen, die im Temperaturbereich von 750 - 860 °C liegt. Bei unterhalb von 750 °C liegenden Glühtemperaturen kann die vollständige Rekristallisation des Gefüges des Stahlflachprodukts nicht mehr sicher erreicht werden. Bei Temperaturen von mehr als 860 °C besteht hingegen die Gefahr von Grobkornbildung. Beides würde sich negativ auf die Umformeigenschaften auswirken. Optimale Ergebnisse der rekristallisierenden Glühung werden erhalten, wenn die Temperatur T1 800 - 850 °C beträgt.

[0057] Die Dauer t₁, über die das Stahlflachprodukt beim rekristallisierenden Glühen auf der Haltetemperatur T1 gehalten wird, beträgt 30 - 90 Sekunden, um optimale Umformeigenschaften des erfindungsgemäß erzeugten Stahlflachprodukts zu sichern. Würde t₁ weniger als 30 Sekunden betragen, so könnte eine vollständige Rekristallisation des Gefüges nicht mehr betriebssicher erreicht werden. Bei einer Haltezeit t₁, die länger als 90 Sekunden ist, würde wiederum

die Gefahr von Grobkornbildung bestehen.

[0058] Nach dem Halten auf der Haltetemperatur T1 wird das Stahlflachprodukt mit einer Abkühlgeschwindigkeit CR1 von 2 - 100 °C/s auf die Überalterungsstarttemperatur T2 abgekühlt. Die Abkühlgeschwindigkeit CR1 ist dabei so gewählt, dass ein Stahlflachprodukt mit optimalen Umformeigenschaften erhalten wird. Eine Mindestabkühlgeschwindigkeit CR1 von 2 °C/s ist erforderlich, um eine Grobkornbildung zu vermeiden. Liegt dagegen die Abkühlgeschwindigkeit CR1 oberhalb von 100 °C/s würde sich zu feines Korn bilden, was ebenfalls der angestrebten guten Umformbarkeit entgegenstehen würde.

[0059] Die Überalterungsstarttemperatur T2 beträgt mindestens 400 °C, weil bei darunter liegenden Temperaturen die für die Abkühlung auf die Überalterungsstarttemperatur T2 erforderliche Kühlleistung hoch, die Werkstoffeigenschaften jedoch nicht mehr zusätzlich positiv beeinflusst würden. Läge die Überalterungsstarttemperatur T2 dagegen oberhalb von 600 °C, so würde die Rekristallisation nicht nachhaltig genug abgebrochen und es würde die Gefahr von Grobkornbildung bestehen. Mit einer 400 - 600 °C, insbesondere 400 - 550 °C, betragenden Überalterungsstarttemperatur T2 lassen sich optimierte Umformeigenschaften erzielen.

[0060] Ausgehend von der Überalterungsstarttemperatur wird das Stahlflachprodukt über eine Dauer t2 von 30 - 400 Sekunden einer Überalterungsbehandlung unterzogen, bei der es mit einer Abkühlgeschwindigkeit CR2 von 0,5 - 12 °C/s auf die Überalterungsendtemperatur T3 abgekühlt wird. Würde die Zeit t2 weniger als 30 Sekunden betragen, so wäre die Zeit zu kurz, in der sich die interstitiellen Legierungsatome per Diffusion im rekristallisierten Gefüge des Stahlflachprodukts gleichmäßig verteilen können. Dies würde sich negativ auf die Umformeigenschaften auswirken. Eine Überalterungsbehandlung, die länger als 400 Sekunden dauert, würde keinen zusätzlichen positiven Effekt erzielen. Eine Abkühlgeschwindigkeit CR2 von mindestens 0,5 °C/s wird eingestellt, um die Überalterungsbehandlung innerhalb einer praxisgerechten Zeit abzuschließen. Würde dagegen eine oberhalb von 12 °C/s liegende Abkühlgeschwindigkeit CR2 eingestellt, so wäre die Dauer t2 der Überalterungsbehandlung zu kurz. Es würde dann zu wenig Zeit für die Diffusion der interstitiellen Legierungselemente zur Verfügung stehen, wodurch wiederum die Umformeigenschaften verschlechtert würden.

[0061] Die Endtemperatur T3 der Überalterungsbehandlung liegt erfindungsgemäß bei 250 - 350 °C. Läge die Überalterungsendtemperatur T3 über 350 °C, so würde das Stahlflachprodukt zu heiß in die Schlusskühlung übergeleitet, was sich negativ auf die Oberflächenqualität und somit die Lackiereigenschaften des wie zuvor Stahlflachprodukts auswirken würde. Eine unterhalb von 250 °C liegende Überalterungsendtemperatur T3 würde hingegen keinen zusätzlichen positiven Effekt haben.

[0062] Die Teilarbeitsschritte des Arbeitsschritts b) werden unter einer Schutzgas-Glühatmosphäre durchgeführt, die einen Wasserstoff-Gehalt von 1 - 7 Vol.-% besitzt und im Übrigen aus Stickstoff und technisch unvermeidbaren Verunreinigungen besteht. Bei einem H2-Anteil von weniger als 1,0 Vol.-% bestünde die Gefahr von Oxidbildung auf der Oberfläche des Stahlflachprodukts, wodurch sich seine Oberflächenqualität und somit seine Lackiereigenschaften verschlechtern würden. Ein H2-Gehalt der Glühatmosphäre oberhalb von 7,0 Vol.-% würde hingegen keinen zusätzlichen positiven Effekt bringen und wäre auch aus Sicht der Betriebssicherheit problematisch.

[0063] Der Taupunkt der Glühatmosphäre liegt erfindungsgemäß bei -10 °C bis -60 °C. Läge der Taupunkt der Glühatmosphäre oberhalb von -10 °C, so bestünde ebenfalls die Gefahr von hinsichtlich der angestrebten Oberflächen unerwünschter Oxidbildung auf der Oberfläche des Stahlflachprodukts. Ein Taupunkt unterhalb von -60 °C wäre nur mit großem Aufwand im groß-technischen Maßstab zu realisieren und würde auch keinen zusätzlichen positiven Effekt haben. Optimale Betriebsbedingungen ergeben sich, wenn der Taupunkt der Glühatmosphäre -15 °C bis -50 °C beträgt.

[0064] Die nach Ende der Überalterungsbehandlung einsetzende Abkühlung des Stahlflachprodukts läuft unter der schon erläuterten Schutzgasatmosphäre ab. Dabei ist eine Abkühlrate CR3 von 1,5 - 5,0 °C/s vorgesehen. Diese Abkühlrate CR3 ist so gewählt, dass auf wirtschaftliche Weise eine Verschlechterung der Oberflächenbeschaffenheit durch Oxidbildung vermieden wird, zu der es bei einer zu langsamen Abkühlung kommen könnte.

[0065] Der Arbeitsschritt c) des erfindungsgemäßen Verfahrens ist wesentlich für die besonders gute Eignung wie zuvor Stahlflachprodukte für eine Lackierung mit optimiertem Lackglanz. Diese besondere Eignung ergibt sich durch einen Wsa-Wert von höchstens 0,40 µm, typischerweise höchstens 0,35 µm, insbesondere kleiner als 0,30 µm, der für eine minimierte Welligkeit der Stahlflachprodukt-Oberfläche steht.

[0066] Der oben definierte Dressiergrad D beim erfindungsgemäß nach der Wärmebehandlung (Arbeitsschritte b.)) vorgesehenen Dressierwalzen (Arbeitsschritt c)) liegt bei 0,4 - 0,7 %. Bei einem Dressiergrad D von weniger als 0,4 % würde eine für optimale Umformeigenschaften unzureichende Verformung des Stahlflachprodukts erzielt. Auch könnten bei derart geringen Dressiergraden die erfindungsgemäß vorgegebenen Werte für die Rauheit Ra und die Spitzenzahl R_{Pc} nicht erreicht werden. Bei einem Dressiergrad D von mehr als 0,7 % bestünde jedoch die Gefahr, dass eine zu hohe Verfestigung in das Stahlband eingebracht wird, was sich wiederum negativ auf die Umformeigenschaften auswirken würde. Des Weiteren könnten Dressiergrade D von mehr 0,7 % zu einer Rauheit Ra führen, die außerhalb des im Hinblick auf die angestrebten Oberflächeneigenschaften erfindungsgemäß vorgegebenen Bereichs der Rauheiten lägen. Um bei besonders breiten Stahlflachprodukten, d. h. Stahlflachprodukten mit einer Breite von typischerweise 1500 mm und mehr, die erfindungsgemäß vorgegebene Oberflächenstruktur mit hoher Betriebssicherheit zu erzeugen,

kann der Dressiergrad D auf mindestens 0,5 % eingestellt werden. Soll jeder negative Effekt des Dressierwalzens vermieden werden, so kann dazu der Dressiergrad D auf maximal 0,6 % begrenzt werden. Letzteres bietet sich insbesondere dann an, wenn die Legierungsbestandteile des Stahls, aus dem ein wie zuvor Stahlflachprodukt besteht, jeweils mit Gehalten vorhanden sind, die in den oben als besonders vorteilhaft herausgestellten Bereichen liegen.

[0067] Damit durch das Dressierwalzen in die Oberfläche des Stahlflachprodukts eine Oberflächenstruktur eingeprägt wird, die den im Hinblick auf die Lackierungseigenschaften optimierten erfindungsgemäßen Vorgaben entspricht, weist die auf die betreffende Oberfläche des Stahlflachprodukts wirkende Dressier-Arbeitswalze eine Rauheit Ra von ,0 - 2,5 μm und eine Spitzenzahl RPc von mindestens 100 pro cm auf. Wäre die Rauheit Ra der Arbeitswalze kleiner als 1,0 μm oder größer als 2,5 μm , so können auf dem Stahlflachprodukt die erfindungsgemäßen Werte von Ra und RPc nicht innerhalb der erfindungsgemäßen Grenzen appliziert werden. Umform- und Lackiereigenschaften würden sich dementsprechend verschlechtern. Um in der Praxis zu gewährleisten, dass die erfindungsgemäß geforderten Rauheitswerte Ra am Stahlflachprodukt betriebssicher erreicht werden, kann die Rauheit Ra der Dressier-Arbeitswalze auf 1,2 - 2,3 μm eingestellt werden.

[0068] Die Spitzenzahl RPc der Dressier-Arbeitswalzenoberfläche beträgt mindestens 100 pro cm, wobei höhere Spitzenzahlen RPc, wie Spitzenzahlen RPc der Arbeitswalze von mindestens 110 pro cm, insbesondere mehr als 130 pro cm, besonders vorteilhaft sind. Indem hohe Spitzenzahlen RPc von 100 pro cm und mehr an der mit dem Stahlflachprodukt in Kontakt kommenden Umfangsfläche der Dressier-Arbeitswalze vorgesehen sind, ist sichergestellt, dass unter Anwendung der voranstehend erläuterten, den erfindungsgemäßen Vorgaben entsprechenden Dressierparameter die geforderte Spitzenanzahl RPc auf das jeweils dressiergewalzte Stahlflachprodukt übertragen werden.

[0069] Damit sich auf der jeweiligen Oberfläche des Stahlflachprodukts eine Oberflächenstruktur mit stochastischer Verteilung der Spitzen und Täler ausbildet, ist auch die Oberflächenstruktur der mit dem Stahlflachprodukt in Kontakt kommenden Umfangsfläche der Dressier-Arbeitswalze entsprechend stochastisch ausgebildet.

[0070] Die erfindungsgemäß vorgesehene Oberflächenstruktur lässt sich beispielsweise in an sich bekannter Weise mittels der für die gezielte Aufrauung von Dressierwalzen etablierten EDT-Technik ("EDT" = Electro Discharge Texturing) im cap(-)- oder Puls(+)-Verfahren herstellen. Eine detaillierte Erläuterung dieser Verfahren findet sich in der Dissertation von Henning Meier, "Über die Aufrauung von Walzenoberflächen mit Funkenentladungen", TU Braunschweig 1999, Shaker Verlag 1999.

[0071] Die EDT-Technik basiert darauf, dass die Walzenoberfläche durch Funkenerosion aufgeraut wird. Zu diesem Zweck wird die Dressier-Arbeitswalze in einem Tank, in dem sich ein Dielektrikum befindet, an einer Elektrode vorbeigeführt. Durch Funkenüberschlag werden kleine Krater in die Walzenoberfläche geschlagen. Bei Schaltung der Elektrode als Anode (+) (d. h. der Strom fließt von der Walze weg zur Elektrode hin) entstehen auf der Walze sehr inhomogene Krater, was mit einer höheren Spitzenzahl einhergeht. Im umgekehrten Fall (d. h. Schaltung der Elektrode als Kathode (-)) fließt der Strom zur Walze hin. Resultate sind glatte Krater.

[0072] Die cap(-)-Variante der EDT-Technik beruht auf einer Kondensatorentladung, zu der es kommt, sobald die Elektrode nah genug an der Walze ist. Das cap-Verfahren produziert eine stochastische Textur auf den Arbeitswalzen, da die Kondensatorkapazität unterschiedlich stark schwankt (zwischen 30 % und 100 %) und somit unterschiedlich große Löcher in das Walzenmaterial geschossen werden.

[0073] Der Puls(+)-Variante der EDT-Technik liegt ein Prinzip zugrunde, bei dem immer die gleiche Energiemenge auf die zu texturierende Walze aufgebracht wird. Hierdurch bildet sich eine stochastische Oberflächentextur mit größerer Regelmäßigkeit aus, die jedoch eine für die erfindungsgemäßen Zwecke ausreichend stochastische Verteilung der Vertiefungen und Spitzen bietet.

[0074] Anschließend an die Aufrauung kann die erfindungsgemäße Arbeitswalze optional eine Nachbehandlung erfahren. Bei dieser werden stark herausragende Spitzen der Oberflächenstruktur abgeschliffen, um Verunreinigungen der Stahlflachproduktoberfläche durch abgebrochene Spitzen zu reduzieren. Die Nachbehandlung kann als SuperFinish-Behandlung durchgeführt werden. Hierbei handelt es sich um eine Feinstbearbeitung mit dem Ziel, Spitzen, die über den Mittelwert der Rautiefe herausstehen, abzutragen bzw. deren Anzahl auf ein Minimum zu reduzieren. Möglichkeiten der praktischen Umsetzung des SuperFinish-Verfahrens sind beispielsweise aus der DE 10 2004 013 031 A1 oder der EP 2 006 037 B1 bekannt. Die Spitzenzahl verändert sich durch die jeweilige Nachbehandlung vernachlässigbar gering. Die Oberfläche wird jedoch vergleichmäßigt und der Traganteil erhöht. Dies schlägt sich in einem negativen Rsk-Wert nieder (= Schiefe der Rauheitsverteilung). Bei hohen Rsk-Werten ist die Rauheit demnach ungleichmäßig verteilt, wohingegen geringe bzw. negative Rsk-Werte mit einer sehr gleichmäßigen Rauheitsverteilung einhergehen.

[0075] Die Dressier-Arbeitswalzen können schlussendlich vor ihrem Einsatz in bekannter Weise hartverchromt werden, um ihre Verschleißbeständigkeit zu optimieren.

[0076] Aus betrieblicher Sicht vorteilhaft ist es, die Arbeitsschritte b) und c) des erfindungsgemäßen Verfahrens unterbrechungsfrei im kontinuierlichen Durchlauf zu absolvieren. Hierzu werden die Wärmebehandlungseinrichtung (Arbeitsschritt b)) und das für den Arbeitsschritt c) erforderliche Dressierwalzgerüst in einer Linie aufgestellt. Das gemäß Dressierwalzen gemäß Arbeitsschritt c) des nach dem Arbeitsschritt b) abgekühlten und aus der Wärmebehandlungseinrichtung austretenden Stahlflachprodukts wird dann in einem einzigen Dressierstich ausgeführt. Soll das Dressier-

walzen dagegen off-line, d. h. unabhängig vom Ablauf der Wärmebehandlung ausgeführt werden, können auch mehrere Dressierwalzstiche ausgeführt werden, wobei sich auch hier zeigt, dass optimale Ergebnisse erzielt werden, wenn das Off-Line-Dressierwalzen in nur einem Stich absolviert wird.

[0077] Der optionale Einsatz eines Dressiermediums (Nassdressieren) kann Vorteile im Hinblick auf eine Reinigungs- oder Schmierwirkung beim Dressierwalzen haben. Ein Trockendressieren kann demgegenüber den Vorteil haben, dass das Stahlflachprodukt mit keinem Benetzungsmedium in Kontakt kommt und in Folge dessen auch die Gefahr von Korrosionsbildung bei einer anschließenden Lagerung oder Weiterverarbeitung des Stahlflachprodukts minimiert ist.

[0078] Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, ein Stahlflachprodukt mit den oben genannten erfindungsgemäßen mechanischen Werkstoffeigenschaften zu erzeugen, welches gleichzeitig die erfindungsgemäße Oberflächenstruktur über die komplette Bandbreite aufweist (vollständig ausdressiert). Durch die erfindungsgemäße Oberflächentexturierung, welche durch den erfindungsgemäßen Vorgaben entsprechende Rauheitswerte R_a und Spitzenzahlen RP_c gekennzeichnet ist, lässt sich ein deutlich besserer Lackglanz erzeugen gegenüber einem Vergleichsprodukt mit nicht-erfindungsgemäßer Oberflächentexturierung.

[0079] Dies soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Dabei zeigen:

Fig. 1 einen Ausschnitt einer lackierten Oberfläche eines aus einem wie zuvor Stahlflachprodukt geformten Automobil-Karosseriebauteils;

Fig. 2 einen Ausschnitt einer lackierten Oberfläche eines aus einem nicht erfindungsgemäß hergestellten Stahlflachprodukt geformten Automobil-Karosseriebauteils;

Fig. 3 den schematischen Verlauf einer erfindungsgemäßen Wärmebehandlung (Arbeitsschritt b)).

[0080] Es sind kaltgewalzte, walzharte Stahlflachprodukte in Form von Stahlbändern B1 - B12 aus Stählen S1 - S6 bereitgestellt worden, die die in Tabelle 1 angegebene Zusammensetzung aufwiesen.

[0081] Die Stahlflachprodukte wurden in verschiedenen Abmessungen in einem kontinuierlich arbeitenden Wärmebehandlungsofen der RTF-Bauart wärmebehandelt, dann auf Raumtemperatur abgekühlt und anschließend in-line dressiergewalzt.

[0082] Die Wärmebehandlung umfasst ein rekristallisierendes Glühen, bei dem die Stahlbänder B1 - B12 auf eine Haltetemperatur T_1 von $835\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$ erwärmt worden sind, auf der sie über eine Haltezeit T_1 von 60 s gehalten worden sind.

[0083] Nach dem rekristallisierenden Glühen sind die Stahlbänder B1 - B12 einer Überalterungsbehandlung unterzogen worden. Dazu sind sie von der Haltetemperatur T_1 aus mit einer Abkühlgeschwindigkeit CR_1 von $8,5\text{ °C/s}$ auf eine Überalterungsstarttemperatur T_2 abgekühlt worden, die $530 \pm 15\text{ °C}$ betrug.

[0084] Ausgehend hiervon sind die Stahlbänder B1 - B12 dann jeweils über eine Überalterungsdauer t_2 von 302 Sekunden auf eine Überalterungsendtemperatur T_3 abgekühlt worden, die $280 \pm 15\text{ °C}$ betrug. Die Abkühlgeschwindigkeit CR_2 , mit der die Stahlbänder B1 - B12 von der Überalterungsstarttemperatur T_2 auf die Überalterungsendtemperatur T_3 abgekühlt worden sind, betrug $0,82\text{ °C/s}$.

[0085] Während der gesamten Wärmebehandlung sind die Stahlbänder B1 - B12 unter einer Glühatmosphäre gehalten worden, die aus 4 Vol.-% H_2 und als Rest aus N_2 und unvermeidbaren Verunreinigungen bestand. Ihr Taupunkt war auf $-45\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ eingestellt.

[0086] Nach Ende der Überalterungsbehandlung und vor dem Austritt aus dem Durchlaufofen sind die Stahlbänder B1 - B12 noch unter der Schutzgasatmosphäre mit einer Abkühlgeschwindigkeit CR_3 von $3,5\text{ °C/s}$ auf Raumtemperatur abgekühlt und im kontinuierlich fortgesetzten Durchlauf in ein für das Dressierwalzen vorgesehenes Quarto-Walzgerüst mit Stützwalzen und Dressier-Arbeitswalzen geleitet worden. Die Dressier-Arbeitswalzen des Dressierwalzgerüsts wurden stets im cap(-)-Modus mittels EDT-Technik aufgeraut und in an sich bekannter Weise einer Hartverchromung unterzogen. Alle Dressierwalzversuche wurden ohne den Einsatz eines Dressiermittels durchgeführt (Trockendressieren).

[0087] Die Parameter des Dressierwalzens (Dressiergrad D , Rauheit R_{a_W} und Spitzenzahl RP_{c_W} der mit den Stahlbändern jeweils in Kontakt kommenden Umfangsfläche der Dressier-Arbeitswalzen) sowie die für die Stahlbänder B1 - B12 ermittelte Breite b , Dicke d , Dehngrenze $R_{p0,2}$, Zugfestigkeit R_m , Dehnung A_{80} und der n -Wert sind in Tabelle 2 angegeben. Die mechanischen Eigenschaften wurden im quasi-statischen Zugversuch gemäß DIN 6892 mit Probenlage längs zur Walzrichtung ermittelt.

[0088] Ebenso sind in Tabelle 2 die für die Oberflächen der Stahlbänder B1 - B12 ermittelte Rauheit R_a und Spitzenzahl RP_c aufgeführt. Die arithmetischen Mittenrauheiten R_a , R_{a_W} und Spitzenzahl RP_c , RP_{c_W} wurden stets gemäß Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) 1940 mittels eines elektrischen Tastschnittgerätes nach ISO 3274 gemessen.

[0089] Die Eigenschaften der Stahlbänder B1 und B9 zeigen, dass durch höhere Spitzenzahlen RP_c bessere Wsa-Werte erreicht werden.

[0090] Die nicht erfindungsgemäß hergestellten Stahlbänder B11 und B12 belegen die Bedeutung des Dressiergrads für den Erfolg der Erfindung.

[0091] Zusätzlich sind für die Oberflächen der Stahlbänder B1 - B12 die Wsa-Werte bestimmt. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 2 eingetragen. Sie bestätigen, dass die erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele einen Wsa-Wert $< 0,40 \mu\text{m}$ erzielen und so optimale Voraussetzungen für einen besonders guten Lackglanz bieten. Die Messung des Welligkeitskennwertes Wsa erfolgte gemäß Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) 1941, gemessen wurde an einer Stahlprobe, die im Marciniak-Tiefungsversuch 5 % plastische Dehnung erfuhr.

[0092] Fig. 1 und Fig. 2 illustrieren dies anhand einer Gegenüberstellung von Bauteilen, welche aus einem erfindungsgemäßen und einem nicht-erfindungsgemäß hergestellten Stahl Flachprodukt durch Umformen und Lackieren hergestellt wurden. Das nicht erfindungsgemäße hergestellte, in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel, das aus dem die erfindungsgemäßen Anforderungen nicht erfüllenden Stahlband B3 erzeugt worden ist, zeigt nach dem Lackieren einen deutlich schlechteren Lackglanz als das in Fig. 1 dargestellte Beispiel, das aus dem erfindungsgemäß hergestellten Stahlband B1 geformt worden ist.

Tabelle 1

Stahl	C	Si	Mn	P	Al	Ti	S	Cr	Nb	V	Mo	N	Cu	Ni	B	Sn
S1	0,0019	0,005	0,11	0,010	0,029	0,072	0,007	0,032	0,001	0,001	0,004	0,0017	0,014	0,021	0,0002	0,004
S2	0,0015	0,006	0,13	0,010	0,026	0,069	0,009	0,045	0,001	0,001	0,006	0,0026	0,017	0,022	0,0002	0,007
S3	0,0023	0,005	0,09	0,008	0,024	0,075	0,005	0,030	0,001	0,001	0,009	0,0027	0,017	0,027	0,0002	0,004
S4	0,0025	0,006	0,09	0,008	0,024	0,073	0,007	0,024	0,001	0,002	0,004	0,0037	0,010	0,016	0,0002	0,005
S5	0,0020	0,005	0,11	0,010	0,026	0,072	0,007	0,028	0,001	0,003	0,003	0,0025	0,011	0,015	0,0002	0,006
S6	0,0016	0,007	0,11	0,006	0,029	0,073	0,006	-	-	-	-	0,0020	0,011	0,017	0,0002	0,004
Angaben in Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen																

Tabelle 2

Stahlband	Stahl	d (mm)	b (mm)	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A80 (%)	n	Ra (µm)	RPc (1/cm)	D (%)	Ra_W (µm)	RPc_W (1/cm)	Wsa [µm]	Erfindungsgemäß?
B1	S1	0,85	1608	136	289	47,6	0,245	0,94	92	0,4	1,4	139	0,27	ja
B2	S1	0,85	1608	139	285	46,5	0,245	1,30	79	0,5	1,4	105	0,37	ja
B3	S2	0,74	1651	142	287	47,8	0,240	1,31	68	0,5	3,0	95	0,44	nein
B4	S3	0,85	1573	142	294	47,5	0,241	1,35	84	0,6	2,2	115	0,33	ja
B5	S3	0,85	1573	138	290	47,2	0,247	1,29	83	0,5	2,2	115	0,32	ja
B6	S4	0,69	1551	147	302	44,0	0,238	1,16	85	0,6	2,2	114	0,34	ja
B7	S4	0,69	1551	146	303	45,4	0,236	1,18	80	0,6	2,2	110	0,35	ja
B8	S5	0,82	1610	160	297	45,8	0,230	1,27	53	0,7	1,5	90	0,47	nein
B9	S6	0,85	1573	130	278	48,5	0,246	1,25	93	0,5	1,4	139	0,26	ja
B10	S6	0,85	1573	133	281	47,9	0,245	1,19	87	0,6	2,2	124	0,31	ja
B11	S6	0,85	1573	129*)	275	48,1	0,214	0,71	65	0,3	1,1	110	0,43	nein
B12	S4	0,69	1551	187	352	38,2	0,238	1,72	70	0,8	2,2	104	0,41	nein
*) Beim Beispiel B11 zeigte das Stahlflachprodukt eine ausgeprägte Streckgrenze Reh, deren Wert hier angegeben ist.														

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines kaltgewalzten und rekristallisierend geglühten Stahlflachprodukts mit ferritischer Gefügestruktur, das eine Dehngrenze $R_{p0,2}$ von bis zu 180 MPa, eine Zugfestigkeit R_m von bis zu 340 MPa, eine Bruchdehnung A_{80} von mindestens 40 %, einen n-Wert von mindestens 0,23 sowie an mindestens einer seiner Oberflächen eine arithmetische Mittenrauheit R_a von 0,8 - 1,6 μm und eine Spitzenzahl RP_c von mindestens 75 1/cm aufweist, wobei die die Mittenrauheit R_a und die Spitzenzahl RP_c bedingenden, in die Oberfläche eingeformten Vertiefungen und Spitzen stochastisch verteilt vorliegen, umfassend folgende Arbeitsschritte:

a) Bereitstellen eines walzharten, kaltgewalzten Stahlflachprodukts mit ferritischer Gefügestruktur, das aus einem Stahl mit folgender Zusammensetzung besteht (in Gew.-%):

C:	0,0001-	0,003 %,
Si:	0,001 -	0,025 %,
Mn:	0,05 -	0,20 %,
P:	0,001 -	0,015 %,
Al:	0,02 -	0,055 %,
Ti:	0,01 -	0,1 %,

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, wobei der Stahl zusätzlich folgende optionale Legierungselemente enthalten kann:

Cr:	0,001- 0,05 %,
V:	bis zu 0,005 %,
Mo:	bis zu 0,015 %,
N:	0,001- 0,004 %,

wobei zu den unvermeidbaren Verunreinigungen B, Cu, Nb, Ni, Sb, Sn und S zählen, deren Anteil in Summe höchstens 0,2 Gew.-% ist; und wobei im Fall der Anwesenheit von Nb, B oder Sb für diese Verunreinigungen gilt: Sb-Gehalt höchstens 0,001 Gew.-%, Nb-Gehalt höchstens 0,002 Gew.-% und B-Gehalt höchstens 0,0005 Gew.-%,

b) im kontinuierlichen Durchlauf durch einen Glühofen erfolgendes Wärmebehandeln des Stahlflachprodukts unter einer Glühatmosphäre, die bei einem Taupunkt von -10 °C bis -60 °C aus 1 - 7 Vol.-% H_2 und als Rest aus N_2 und unvermeidbaren Verunreinigungen besteht,

- wobei das Stahlflachprodukt zum rekristallisierenden Glühen

- bis zu einer Haltetemperatur T_1 von 750 - 860 °C aufgeheizt wird,
- bei der Haltetemperatur T_1 für eine Zeit t_1 von 30 - 90 s gehalten wird,

- wobei das Stahlflachprodukt für eine anschließende Überalterungsbehandlung

- von der Haltetemperatur T_1 mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit CR_1 von 2 - 100 °C/s auf eine Überalterungsstarttemperatur T_2 von 400 - 600 °C abgekühlt wird,
- nach dem Abkühlen auf die Überalterungsstarttemperatur T_2 über eine Zeit t_2 von 30 - 400 s mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit CR_2 von 0,5 - 12 °C/s auf eine Überalterungsendtemperatur T_3 von 250 - 350 °C abgekühlt wird, und

- wobei das Stahlflachprodukt nach dem Abkühlen auf die Überalterungsendtemperatur T_3 mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit CR_3 von 1,5 - 5,0 °C/s auf Raumtemperatur abgekühlt wird;

c) Dressierwalzen des rekristallisierend geglühten Stahlflachprodukts mit einem Dressiergrad D von 0,4 - 0,7 % unter Verwendung einer Dressier-Arbeitswalze, deren mit dem Stahlflachprodukt in Kontakt kommende Umfangsfläche eine arithmetische Mittenrauheit R_a von 1,0 - 2,5 μm und eine Spitzenanzahl RP_c von mindes-

tens 100 1/cm besitzt, wobei die die Mittenrauheit Ra und die Spitzenzahl RPc bedingenden, in die Oberfläche der Dressier-Arbeitswalze eingeformten Vertiefungen und Spitzen stochastisch verteilt vorliegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Haltetemperatur T1 800 - 850 °C beträgt.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Überalterungsstarttemperatur T2 400 - 550 °C beträgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Taupunkt der Glühatmosfera -15 °C bis -50 °C beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Dressierwalzen als Nassdressierwalzen ausgeführt wird, bei dem in Förderrichtung des Stahlflachprodukts vor der Dressier-Arbeitswalze eine Dressierflüssigkeit mindestens auf die Oberfläche des Stahlflachprodukts aufgebracht wird, auf die die Dressier-Arbeitswalze wirkt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Dressiergrad D 0,5 - 0,6 % beträgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die arithmetische Mittenrauheit Ra der mit dem Stahlflachprodukt in Kontakt kommenden Umfangsfläche der Dressier-Arbeitswalze 1,2 - 2,3 µm beträgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Spitzenzahl RPc der mit dem Stahlflachprodukt in Kontakt kommenden Umfangsfläche der Dressier-Arbeitswalze mindestens 130 1/cm beträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Arbeitsschritte b) und c) in einer unterbrechungsfreien Abfolge absolviert werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Stahlflachprodukt nach dem Dressierwalzen mit einer metallischen Beschichtung auf Basis von Zn belegt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die metallische Beschichtung durch elektrolytisches Verzinken auf das Stahlflachprodukt aufgebracht wird.

Claims

1. Method for producing a cold-rolled and recrystallisation-annealed flat steel product having a ferritic microstructure, which has a yield strength Rp0.2 of up to 180 MPa, a tensile strength Rm of up to 340 MPa, an elongation at break A80 of at least 40%, an n-value of at least 0.23 and, on at least one of its surfaces, an arithmetic mean roughness Ra of 0.8 - 1.6 µm and a relative peak count RPc of at least 75 1/cm, wherein the valleys and peaks formed in the surface due to the mean roughness Ra and the relative peak count RPc are stochastically distributed, comprising the following working steps:

a) providing a roll-hardened, cold-rolled flat steel product having ferritic microstructure, consisting of a steel

EP 3 204 530 B2

having the following composition (in wt%)

C:	0.0001-	0.003%,
Si:	0.001 -	0.025%,
Mn:	0.05 -	0.20%,
P:	0.001 -	0.015%,
Al:	0.02 -	0.055%,
Ti:	0.01 -	0.1%,

the remainder being iron and unavoidable impurities, wherein the steel may additionally contain the following optional alloy elements:

Cr:	0.001 - 0.05%,
V:	up to 0.005%,
Mo:	up to 0.015 %,
N:	0.001 - 0.004%,

wherein the unavoidable impurities include B, Cu, Nb, Ni, Sb, Sn and S, which amount to at most 0.2% by weight; and wherein if Nb, B or Sb are present, the following applies for these impurities: Sb content at most 0.001 wt%, Nb content at most 0.002 wt% and B content at most 0.0005 wt%,

b) heat treating the flat steel product in a continuous run through an annealing furnace under an annealing atmosphere which, at a dew point of -10 °C to -60 °C, consists of 1% - 7% by volume of H₂, the remainder being N₂ and unavoidable impurities,

- wherein the flat steel product, for the recrystallisation annealing,

- is heated up to a hold temperature T₁ of 750 - 860 °C,
- is kept at the hold temperature T₁ for a period t₁ of 30 - 90 s,

- wherein the flat steel product, for a subsequent overaging treatment,

- is cooled from the hold temperature T₁ at a cooling rate CR₁ of 2 - 100°C/s to an overaging start temperature T₂ of 400 - 600°C,
- after the cooling to the overaging start temperature T₂, is cooled over a period t₂ of 30 - 400 s at a cooling rate CR₂ of 0.5 - 12°C/s to an overaging end temperature T₃ of 250 - 350 °C, and

- wherein the flat steel product, after cooling to the overaging end temperature T₃, is cooled at a cooling rate CR₃ of 1.5 - 5.0°C/s to room temperature;

c) temper rolling the recrystallisation-annealed flat steel product with a temper reduction D of 0.4 - 0.7% using a working temper roll having a circumferential area that comes into contact with the flat steel product having an arithmetic mean roughness Ra of 1.0 - 2.5 μm and a peak count R_{Pc} of at least 100 1/cm, wherein the depressions and peaks shaped into the surface of the working temper roll that account for the mean roughness Ra and the peak count R_{Pc} are in stochastic distribution.

2. Method according to Claim 1, **characterised in that** the hold temperature T₁ is 800 - 850°C.

3. Method according to one of Claims 1 and 2, **characterised in that** the overaging temperature T₂ is 400 - 550°C.

4. Method according to one of Claims 1 to 3, **characterised in that** the dew point of the annealing atmosphere is -15°C to -50°C.

5. Method according to one of Claims 1 to 4, **characterised in that** the temper rolling is executed in the form of wet temper rolling in which, upstream of the working temper roll in conveying direction of the flat steel product, a temper rolling fluid is applied at least to the surface of the flat steel product on which the working temper roll acts.

6. Method according to one of Claims 1 to 5, **characterised in that** the temper reduction D is 0.5 - 0.6%.
7. Method according to any one of Claims 1 to 6, **characterised in that** the arithmetic mean roughness Ra of the circumferential area of the working temper roll that comes into contact with the flat steel product is 1.2 - 2.3 μm .
8. Method according to any one of Claims 1 to 7, **characterised in that** the peak count RPc of the circumferential area of the working temper roll that comes in contact with the flat steel product is at least 130 1/cm.
9. Method according to one of Claims 1 to 8, **characterised in that** operating steps b) and c) are performed in an uninterrupted sequence.
10. Method according to one of Claims 1 to 9, **characterised in that** the flat steel product, after the temper rolling, is covered with a metallic coating based on Zn.
11. Method according to Claim 9, **characterised in that** the metallic coating is applied to the flat steel product by electrolytic galvanisation.

Revendications

1. Procédé pour la fabrication d'un produit en acier plat, laminé à froid et recuit par recristallisation qui présente une structure de réseau ferritique, présentant une limite élastique d'allongement rémanent Rp0,2 de jusqu'à 180 MPa, une résistance à la traction Rm de jusqu'à 340 MPa, un allongement à la rupture A80 d'au moins 40 %, une valeur n d'au moins 0,23, ainsi que sur au moins une de ses surfaces, une rugosité arithmétique moyenne Ra de 0,8 - 1,6 μm et un nombre de pointes RPc d'au moins 75 1/cm, les creux et les pointes façonnés dans la surface provoquant la rugosité moyenne Ra et le nombre de pointes RPc, se trouvant dans une répartition stochastique, le procédé comprenant les étapes de travail suivantes :

a) Mise à disposition d'un produit en acier plat durci au laminage, laminé à froid, présentant une structure de réseau ferritique, qui est constitué par un acier présentant la composition suivante (en % en poids) :

C:	0,0001 -	0,003 %,
Si:	0,001 -	0,025 %,
Mn :	0,05 -	0,20 %,
P:	0,001 -	0,015 %,
Al:	0,02 -	0,055 %,
Ti:	0,01 -	0,1 %,

le reste étant constitué de fer et des impuretés inévitables, l'acier pouvant en outre contenir les éléments d'alliage facultatifs suivants :

Cr:	0,001 - 0,05 %,
V:	jusqu'à 0,005 %,
Mo:	jusqu'à 0,015 %,
N :	0,001 - 0,004 %,

les impuretés inévitables étant B, Cu, Nb, Ni, Sb, Sn et S, dont la proportion totale n'est pas supérieure à 0,2 % en poids ; et, en présence de Nb, B ou Sb, ces impuretés sont soumises à la condition suivante : une teneur en Sb inférieure ou égale à 0,001 % en poids, une teneur en Nb inférieure ou égale à 0,002 % en poids et une teneur en B inférieure ou égale à 0,0005 % en poids,

b) Traitement thermique du produit en acier plat réalisé en passage continu à travers un four de recuit sous une atmosphère de recuit qui est constituée, à un point de rosée de -10 °C à -60 °C, par 1-7% en volume de H2 et, comme reste, par N2 et d'impuretés inévitables,

- le produit en acier plat, pour le recuit avec recristallisation,

EP 3 204 530 B2

- étant chauffé jusqu'à une température de maintien T1 de 750 - 860 °C,
- étant maintenu à la température de maintien T1 pendant une durée t1 de 30 - 90 s,

- le produit en acier plat, pour un traitement de vieillissement consécutif,

- étant refroidi de la température de maintien T1, à une vitesse de refroidissement CR1 de 2 - 100 °C/s, à une température de départ de vieillissement T2 de 400 - 600 °C,
- étant refroidi, après le refroidissement à la température de départ de vieillissement T2, sur une durée t2 de 30 - 400 s avec une vitesse de refroidissement CR2 de 0,5 - 12°C/s, à une température finale de vieillissement T3 de 250 - 350 °C et

- le produit en acier plat étant refroidi, après le refroidissement à la température finale de vieillissement T3, à une vitesse de refroidissement CR3 de 1,5-5,0°C/s, à température ambiante;

c) laminage d'écrouissage du produit en acier plat recuit avec recristallisation à un degré d'écrouissage D de 0,4-0,7% avec utilisation d'un cylindre de travail d'écrouissage, dont la surface périphérique entrant en contact avec le produit en acier plat présente une rugosité arithmétique moyenne Ra de 1,0-2,5 mm et un nombre de pointes RPc d'au moins 100 1/cm, les creux et les pointes façonnés dans la surface du cylindre de travail d'écrouissage, provoquant la rugosité moyenne Ra et le nombre de pointes RPc, présentant une répartition stochastique.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la température de maintien T1 est de 800 - 850 °C.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la température de début de vieillissement T2 est de 400 - 550 °C.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le point de rosée de l'atmosphère de recuit est de -15 °C à -50 °C.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le laminage d'écrouissage est réalisé en tant que laminage d'écrouissage humide, lors duquel un liquide d'écrouissage est appliqué, en amont du cylindre de travail d'écrouissage dans le sens de transport du produit en acier plat, sur la surface du produit en acier plat sur laquelle agit le cylindre de travail d'écrouissage.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le degré d'écrouissage D est de 0,5 - 0,6 %.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la rugosité arithmétique moyenne Ra de la surface périphérique du cylindre de travail d'écrouissage qui entre en contact avec le produit en acier plat est d'au moins 130 1/cm.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le nombre de pointes RPc de la surface périphérique du cylindre de travail d'écrouissage qui entre en contact avec le produit en acier plat est d'au moins 130 1/cm.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** les étapes de travail b) et c) sont effectuées dans une succession sans interruption.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le produit en acier plat est recouvert, après le laminage d'écrouissage, par un revêtement métallique à base de Zn.

11. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le revêtement métallique est appliqué par galvanisation électrolytique sur le produit en acier plat.



Fig. 2

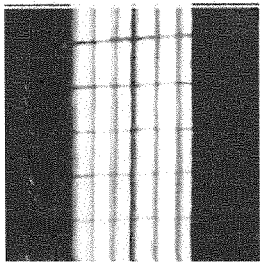


Fig. 1

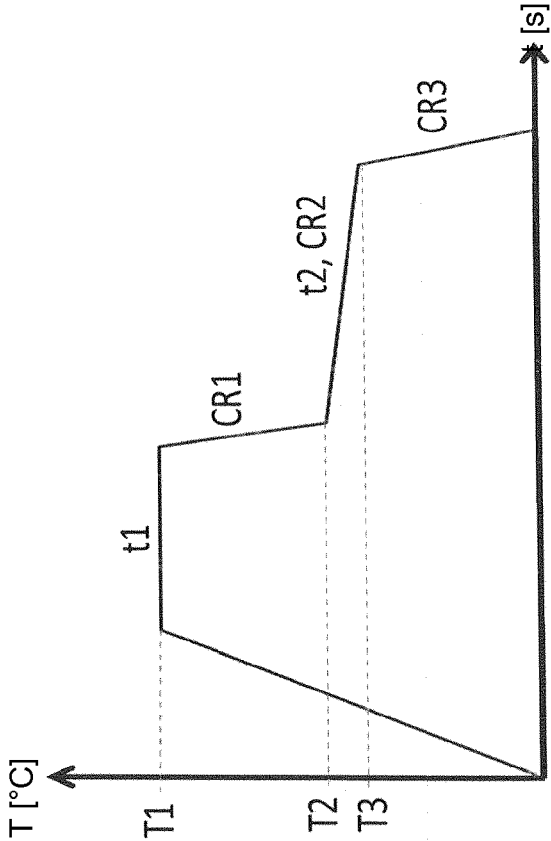


Fig. 3

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

- EP 0234698 B1 [0014]
- DE 3686816 T2 [0015]
- WO 2011162135 A1 [0016]
- EP 2508629 A1 [0017]
- DE 19701443 A1 [0018]
- EP 0484960 A2 [0019]
- EP 1111081 A1 [0020]
- EP 2700731 A1 [0021]
- DE 19622164 C1 [0022]
- DE 102012017703 A1 [0023]
- DE 102004013031 A1 [0074]
- EP 2006037 B1 [0074]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **HENNING MEIER.** Über die Aufräuhung von Walzenoberflächen mit Funkenentladungen. Shaker Verlag, 1999 [0070]