



(11)

EP 2 547 800 B1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**03.01.2018 Patentblatt 2018/01**

(51) Int Cl.:  
**C21D 8/02 (2006.01)**      **C21D 9/46 (2006.01)**  
**C21D 6/00 (2006.01)**      **C22C 38/04 (2006.01)**  
**C21D 1/76 (2006.01)**      **C21D 9/42 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **11715650.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE2011/000128**

(22) Anmeldetag: **10.02.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2011/113404 (22.09.2011 Gazette 2011/38)**

**(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON WERKSTÜCKEN AUS LEICHTBAUSTAHL MIT ÜBER DIE WANDDICKE EINSTELLBAREN WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN**

METHOD FOR PRODUCING WORKPIECES FROM LIGHTWEIGHT STEEL HAVING MATERIAL PROPERTIES THAT CAN BE ADJUSTED OVER THE WALL THICKNESS

PROCÉDÉ DE FABRICATION DE PIÈCES EN ACIER LÉGER DE CONSTRUCTION AYANT DES PROPRIÉTÉS DE MATÉRIAUX AJUSTABLES SUIVANT L'ÉPAISSEUR DE PAROI

(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**

- **SCHMIDT-JÜRGENSEN, Rune**  
30177 Hannover (DE)
- **EVERTZ, Thomas**  
31228 Peine (DE)
- **GEORGEOU, Zacharias**  
38440 Wolfsburg (DE)
- **SPRINGUB, Bianca**  
22767 Hamburg (DE)

(30) Priorität: **10.08.2010 DE 102010034161**  
**16.03.2010 DE 102010011991**

(74) Vertreter: **Meissner, Peter E.**  
**Meissner & Meissner**  
**Patentanwaltsbüro**  
**Hohenzollerndamm 89**  
**14199 Berlin (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**23.01.2013 Patentblatt 2013/04**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A1-102004 061 284 DE-B3-102007 039 013**

(73) Patentinhaber: **Salzgitter Flachstahl GmbH**  
**38239 Salzgitter (DE)**

(72) Erfinder:  

- **JOHN, Daniela**  
30163 Hannover (DE)
- **OTTO, Manuel**  
38162 Cremlingen (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Werkstücken aus Leichtbaustahl mit über die Wanddicke einstellbaren Werkstoffeigenschaften gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

**[0002]** Im Folgenden werden unter Werkstücken Bauteile oder Vorprodukte für Bauteile, wie z. B. Bänder, Bleche oder Rohre, verstanden, die beispielsweise in Bereichen des Maschinen-, Anlagen-, Stahl- und Schiffbaus sowie insbesondere des Kraftfahrzeugbaus Anwendung finden.

**[0003]** Gerade der stark umkämpfte Automobilmarkt zwingt die Hersteller ständig nach Lösungen zur Senkung des Flottenverbrauchs unter Beibehaltung eines höchstmöglichen Komforts und Insassenschutzes zu suchen. Dabei spielt einerseits die Gewichtserspartnis aller Fahrzeugkomponenten eine entscheidende Rolle, andererseits aber auch die passive Sicherheit der Passagiere förderndes Verhalten der einzelnen Bauteile bei hohen statischen und dynamischen Beanspruchungen im Betrieb und im Crashfall.

**[0004]** In den letzten Jahren hat es große Entwicklungsfortschritte auf dem Gebiet der sogenannten Leichtbaustähle gegeben, die sich durch ein geringes spezifisches Gewicht bei gleichzeitig hohen Festigkeiten und Zähigkeiten auszeichnen (z. B. EP 0 489 727 B1, EP 0 573 641 B1, DE 199 00199 A1) sowie eine hohe Duktilität aufweisen und damit für den Fahrzeugbau von großem Interesse sind.

**[0005]** Bei diesen im Ausgangszustand austenitischen Stählen wird durch den hohen Anteil von Legierungsbestandteilen mit einem spezifischen Gewicht weit unterhalb des spezifischen Gewichts von Eisen (Mn, Si, Al) eine für die Automobilindustrie vorteilhafte Gewichtsreduzierung unter Beibehaltung der bisherigen Konstruktionsbauweise erreicht.

**[0006]** Aus der DE 10 2004 061 284 A1 ist z. B. ein Leichtbaustahl bekannt mit einer Legierungszusammensetzung (in Gew. %):

C	0,04	bis	< 1,0
Al	0,05	bis	< 4,0
Si	0,05	bis	≤ 6,0
Mn	9,0	bis	< 18,0

**[0007]** Rest Eisen einschließlich üblicher Stahlbegleitelemente. Optional können je nach Anforderung Cr, Cu, Ti, Zr, V und Nb zugegeben werden.

**[0008]** Dieser bekannte Leichtbaustahl weist ein teilstabilisiertes  $\gamma$ -Mischkristall-Gefüge mit definierter Stapelfehlerenergie mit einem z. T. multiplen TRIP-Effekt auf, der die spannungs- oder dehnungsinduzierte Umwandlung eines flächenzentrierten  $\gamma$ -Mischkristalls (Austenit) in einen  $\epsilon$ -Martensit (hexagonal dichteste Kugelpackung), der dann bei weiterer Verformung in einen raumzentrierten  $\alpha$ -Martensit und Restaustenit transformiert.

**[0009]** Der hohe Umformgrad wird durch TRIP- (Transformation Induced Plasticity) und TWIP- (Twining Induced Plasticity) Eigenschaften des Stahles erreicht.

**[0010]** Zahlreiche Versuche haben zur Erkenntnis geführt, dass im komplexen Zusammenspiel zwischen Al, Si, Mn dem Kohlenstoffgehalt eine überragende Bedeutung zukommt. Er erhöht zum Einen die Stapelfehlerenergie und erweitert zum Anderen den metastabilen Austenitbereich. Dadurch können die verformungsinduzierte Martensitbildung und die damit verbundene Verfestigung und auch die Duktilität beeinflusst werden.

**[0011]** Mit diesen Leichtbaustählen können die Kundenanforderungen schon weitestgehend erfüllt werden, es besteht jedoch auch weiterhin der Wunsch nach beanspruchungsoptimierten Werkstücken aus Leichtbaustahl, die entsprechend den zu erwartenden Beanspruchungen im Betrieb in Wand- oder Blehdickenrichtung unterschiedliche Werkstoffeigenschaften hinsichtlich Festigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit, usw. aufweisen. Als Beispiel seien hier beschussichere Fahrzeugteile genannt, bei denen das Bauteil eine oberflächenharte Schicht zur Abwehr von Projektilen und für ein hohes Energieaufnahmevermögen im Beschussfall eine hohe Zähigkeit der darunter liegenden Schicht aufweisen muss.

**[0012]** Ein Verfahren zum Herstellen eines Verbundbandes aus Stahl ist beispielsweise aus der DE 101 24 594 A1 bekannt. Hier nach wird ein nach dem Zweirollengerfahren direkt gegossenes ferritisches Kernband mit einem austenitischen oder hochlegierten ferritischen Kaltband plattiert. Rohre mit über die Wanddicke unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften sind u. a. aus der EP 0 944 443 B1 bekannt. Hier wird in ein Rohr ein weiteres Rohr eingeschoben und hiermit verbunden, wobei unterschiedliche Werkstoffe für Außen- und Innenrohr verwendet werden.

**[0013]** Nachteil dieser bekannten Verfahren ist der durch die Plattierung bedingte scharfe Sprung der Eigenschaften des Verbundwerkstoffes, der die den jeweiligen Anforderungen entsprechende optimale Anpassung der Eigenschaften über die Wand- bzw. Banddicke erschwert sowie die hohen Kosten für die Herstellung der Plattierung. Außerdem geht der Gewichtsvorteil der Leichtbaustähle durch die Plattierung mit konventionellen Stählen weitgehend verloren.

**[0014]** Ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Verbundwerkstoffes ist aus der DE 39 04 776 C2 bekannt, bei dem mittels Diffusionsschweißen mehrere Schichten aus Stahl miteinander verbunden werden und diese Schichten mittels Metalloiden in Gasatmosphäre auflegt werden in der Form, dass sich über den Querschnitt des Flachproduktes ein unterschiedliches Konzentrationsprofil der Metalloide einstellt.

**[0015]** Hierdurch lassen sich über den Querschnitt des Verbundbandes unterschiedliche Werkstoffeigenschaften hinsichtlich Festigkeit und Zähigkeit einstellen.

**[0016]** Auch dieses Verfahren ist aufwändig und weist ebenfalls Gewichtsnachteile gegenüber nur aus Leicht-

baustahl bestehenden Werkstücken auf.

**[0017]** Aus der DE 10 2007 039 013 B3 ist es schließlich bekannt, Warmband aus Vergütungsstahl einer entkohlenden Glühbehandlung zu unterziehen, um eine hohe Kernhärte einerseits und eine gute Verformbarkeit andererseits miteinander zu kombinieren.

**[0018]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Werkstücken aus austenitischem Leichtbaustahl anzugeben, mit dem auf einfache und kostengünstige Weise unter Beibehaltung des Gewichtsvorteils des Leichtbaustahls über die Band- bzw. Wanddicke unterschiedliche Werkstoffeigenschaften variabel eingestellt werden können.

**[0019]** Diese Aufgabe wird ausgehend vom Oberbegriff in Verbindung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand von Unteransprüchen.

**[0020]** Nach der Lehre der Erfindung wird das Bauteil oder Vorprodukt einer entkohlenden Glühbehandlung unter oxidierender Atmosphäre unterzogen in der Weise, dass sich in den oberflächennahen Bereichen ein ferritisches oder metastabiles Austenitgefüge bildet, dessen Schichtdicke über Variation der Glühparameter (Temperatur, Haltezeit) und Glühatmosphäre (Gaszusammensetzung, Partialdruck) einstellbar ist und zur Erzeugung eines Eigenschaftsgradienten einer nachfolgenden beschleunigten Abkühlung und/oder einer Kaltumformung unterzogen wird.

**[0021]** Der Kern der Erfindung besteht darin, bei Stahlwerkstoffen, die aufgrund ihres Legierungskonzeptes permanent austenitisch sind und dabei ausreichend hohe Kohlenstoffgehalte aufweisen, durch eine gezielte Entkohlung ausgehend von der Werkstückoberfläche lokal einen ferritischen bzw. ferritisch-austenitischen Werkstoff einzustellen, mit dem alle Gefügezustände ferritischer Stähle durch entsprechende Erwärmungs- und Abkühlbedingungen herstellbar sind. Dazu gehören die Gefügebestandteile Ferrit, Bainit und insbesondere Martensit sowie Karbid in verschiedenen Morphologien.

**[0022]** Darüber hinaus können Stähle, deren Umformung aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung (Stapelfehlerenergie) bevorzugt über die Bildung von Zwillingen erfolgt (TWIP), nach einer gezielten Randentkohlung lokal an der Oberfläche zu einer verformungsinduzierten Umwandlung von Austenit in Martensit (TRIP) überführt werden.

**[0023]** Hierbei kann dann beispielsweise bei der Kaltumformung eines Bleches in den entkohlten Bereichen verformungsinduzierter Martensit mit entsprechend hoher Härte erzeugt werden. Dabei liegt in der gezielt entkohlten Randschicht ein zunächst instabiler Austenit vor, der nach der Umformung den TRIP-Effekt aufweist.

**[0024]** Bei Versuchen wurde durch das entkohlende Glühen in allen Proben eine Randentkohlung eingestellt, wie durch GDOES-Messungen gezeigt werden konnte. Die metallographischen Auswertungen zeigten bei allen Proben eine durch gezieltes Abkühlen und/oder Kaltum-

formung erzeugte Martensitbildung im Bereich der Werkstückoberfläche mit gleichzeitigem Härteanstieg im Randbereich des Werkstücks.

**[0025]** Dementsprechend konnte mit gezielter Randentkohlung durch eine Glühung an oxidierender Atmosphäre ein Gradientenwerkstoff hergestellt werden.

**[0026]** Im Randbereich weist der so wärmebehandelte Stahl durch den reduzierten Kohlenstoffgehalt einen metastabilen Austenit auf, der bei der anschließenden Kaltumformung und/ oder bereits durch Abschrecken Martensit bildet und damit eine entsprechend hohe Härte aufweist. Im Kern liegt ein stabiler Austenit mit dem Ausgangskohlenstoffgehalt vor, der nach der Umformung Zwillinge und eine hohe Duktilität bei einer geringeren Härte aufweist.

**[0027]** Eine der Wärmebehandlung anschließende Kaltumformung führte durch den auftretenden TRIP-Effekt zu einer Martensitbildung, verbunden mit einem erheblichen Anstieg der Härte.

**[0028]** Bekannt ist, dass kohlenstoffhaltige ferritische Stahlsorten für das Härteln oder Vergüten eingesetzt werden, um unterschiedliche Werkstoffeigenschaften von Werkstückoberfläche und Kern zu erzielen. Austenitische Stahlsorten können dagegen werkstoffbedingt nicht gehärtet werden.

**[0029]** Bekannt ist bei kohlenstoffhaltigen ferritischen Stahlsorten ebenfalls, dass beim Härteln oder Vergüten eine sogenannte Randoxidation auftreten kann, die sowohl für eine Verzunderung der Oberfläche wie auch für eine Entkohlung in oberflächennahen Bereichen verantwortlich ist.

**[0030]** Üblicherweise ist die Entkohlung unerwünscht, da der Werkstoff in diesen Bereichen an Härte verliert. Deshalb wird die maximale Tiefe der Entkohlung in Normen und Kundenspezifikationen beschränkt (z. B. Vergütungsstäbe oder Kugellager).

**[0031]** Die vorliegende Erfindung verlässt diesen Stand der Technik und geht den entgegen gesetzten Weg, in dem die Entkohlung des austenitischen Leichtbaustahls kombiniert mit beschleunigter Abkühlung und/oder einer Kaltumformung gezielt zur Härtesteigerung eingesetzt wird, mit der unterschiedliche Werkstoffeigenschaften in Blechdickenrichtung eingestellt werden können.

**[0032]** Gegenüber bekannten Verbundwerkstoffen aus ferritischen Stahlsorten lassen sich blechdickenabhängige Werkstoffeigenschaften auf einfache und kostengünstige Weise unter Beibehaltung der Gewichtsvorteile und der sonstigen vorteilhaften Eigenschaften des Leichtbaustahls realisieren. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es jetzt möglich, hochlegierte austenitische Leichtbaustähle für sogenannte Gradientenwerkstoffe einzusetzen. Die Entkohlung, d. h. die Ausbildung eines Gradientenwerkstoffs kann sowohl am Warmband wie auch am Kaltband vorgenommen werden, wobei die so behandelten Bänder mit einem metallischen Überzug versehen sein können. Als metallische Überzüge kommen z. B. auf Zn, wie auch auf Mg oder

Al basierende Überzüge mit unterschiedlichen Legierungsanteilen in Frage.

**[0033]** Mit einem solchen erfindungsgemäß hergestellten Gradientenwerkstoff wird der Anwendungsbe- reich bekannter Leichtbaustähle gerade im Automobilbereich deutlich vergrößert, wobei jeweils beanspruchungsoptimierte Werkstücke kombiniert mit den Vorteilen der Leichtbaustähle zum Einsatz gelangen.

**[0034]** Darüber hinaus ist der durch die unterschiedlichen Gefüge einstellbare Gradient der Festigkeit für die Auslegung von Konstruktionen z. B. im Baubereich von Bedeutung.

**[0035]** Durch eine gezielte Führung der Glühparameter (Temperatur, Haltezeit) sowie der oxidierenden Glühatmosphäre (Gaszusammensetzung, Partialdruck) bei der Wärmebehandlung kann der Grad der Entkohlung und dessen Tiefe ausgehend von der Werkstückoberfläche eingestellt werden.

**[0036]** Beispielsweise wird bei längerer Glühzeit und höherer Glühtemperatur die Entkohlung intensiver und wirkt tiefer in das Werkstück ein. Die oxidierende Glühatmosphäre kann z. B. Luft sein oder es können gezielt Sauerstoff oder sauerstoffhaltige Gase zugesetzt werden, wobei über die Höhe des Gaspartialdrucks der Grad der Entkohlung ebenfalls variiert werden kann.

**[0037]** Ebenso ist es möglich, durch eine gezielte Führung der Wiedererwärmbedingungen vor dem Warmwalzen und/oder zwischen den Warmwalzstichen (Temperatur, Haltezeiten) unter oxidierender Glühatmosphäre eine Entkohlung herbeizuführen. In Kombination mit einer reduzierenden oder inerten Glühbehandlung kann der Grad der Entkohlung und deren Tiefe ausgehend von der Werkstückoberfläche anschließend genau eingestellt werden. Z. B. wird bei längerer Walzzeit bzw. Liegezeit im Ofen und höherer Walztemperatur die Entkohlung intensiver und wirkt tiefer in das Werkstück ein.

**[0038]** Durch die anschließende reduzierende oder inerte Glühbehandlung kann der Grad der Entkohlung variiert werden, indem die randentkohlte Schicht durch Ausgleichsprozesse wieder verringert werden kann. Hierdurch lässt sich über die Dicke des Werkstücks gezielt ein Gradient der Entkohlung einstellen mit entsprechenden Eigenschaften nach der anschließenden gezielten Abkühlung und/oder Kaltumformung.

**[0039]** Die Höhe der Abkühlgeschwindigkeit und des Umformgrades beeinflusst dabei die Martensitbildung und damit den Grad der Härtung.

**[0040]** Ein solcher Werkstoff ist besonders für Anwendungen geeignet, bei denen eine große Oberflächenhärte kombiniert mit einer hohen Zähigkeit gefordert wird, wie beispielsweise für beschussichere Bauteile, da der Werkstoff eine hohe Randhärte (Martensit) mit einer sehr hohen Energieabsorption im Beschussfall aufweist.

**[0041]** Folgende Legierungszusammensetzungen wurden bei den Betriebsversuchen verwendet in Gew. %:

	<b>Figur 1a</b>	<b>Figur 1b</b>	<b>Figur 1c</b>	<b>Figur 1d</b>
5	C 0,7	0,7	0,7	0,7
	Al 2,5	2,5	2,5	2,5
	Si 2,5	0,2	0,3	0,3
	Mn 15	15	15	15

**[0042]** Rest Eisen einschließlich üblicher Stahlbegleitelemente.

**[0043]** Gefügeaufnahmen von erfindungsgemäß behandelten Werkstücken zur Martensitbildung und entsprechenden Härtemessungen werden in zwei Gefügebildern (**Figur 1a, 1b**) gezeigt. Die Werkstoffe unterscheiden sich hier im Si-Gehalt. Die Gefügebilder zeigen in den oberflächennahen Bereichen eine Schicht aus Martensit unterschiedlicher Dicke und den damit verbundenen deutlichen Härteanstieg gegenüber dem Austenitgefuge in der Matrix. Hier zeigt der Stahl gemäß **Figur 1a** einen deutlich höheren Härteanstieg als der Stahl gemäß **Figur 1b**.

**[0044]** Die zur Entkohlung notwendige oxidierende Glühbehandlung der Proben aus **Figur 1a** und **1b** wurde unter Umgebungsatmosphäre (Luft) durchgeführt bei einer Glühtemperatur von 1150°C und einer Glühdauer von 1h. Im vorliegenden Fall wurden die Proben nach der Glühbehandlung nicht abgeschreckt, sondern nur einer Kaltumformung zum Nachweis des TRIP-Effektes (Bildung von verformungsinduziertem Martensit) unterzogen.

**[0045]** Die **Figuren 1c** und **1d** zeigen, dass abhängig vom Grad der Entkohlung ebenso Randbereiche mit lokaler Zwillingsbildung eingestellt werden können. Ebenso kann in Abhängigkeit vom Grad der Entkohlung eine Variation der Karbidbildung über die Blechdicke eingestellt werden.

**[0046]** Die zur Entkohlung notwendige oxidierende Glühbehandlung der Proben in **Figur 1c** und **1d** fand während des Warmwalzens statt. Im Anschluss an das folgende Kaltwalzen wurde eine reduzierende Glühbehandlung mit unterschiedlichen Temperaturen (**Figur 1c**: 750°C-Randschicht 30µm mit Zwillingen, **Figur 1 d**: 700°C - Randschicht 60µm mit Zwillingen) durchgeführt.

**[0047]** Werkstücke aus Leichtbaustahl müssen zudem vergleichsweise hohen Anforderungen hinsichtlich der Verarbeitbarkeit beispielsweise durch Kaltumformen, Schweißen und/oder Korrosionsschutz (z. B. Zink enthaltende Überzüge) genügen.

**[0048]** Beim Schweißen verzinkter austenitischer Leichtbaustähle kann es allerdings zu Problemen mit der sogenannten Flüssigmetallversprödung kommen. Hierbei kommt es in Folge der Erwärmung beim Schweißen im Grundmaterial zu einer Infiltration der Korngrenzen durch verflüssigtes Zinkmaterial des Überzugs. Dadurch verliert das Grundmaterial im Umfeld der Schweißzone seine Festigkeit und Duktilität, so dass die Schweißverbindung bzw. das an die Schweißverbindung angrenzende Grundmaterial die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften nicht mehr erfüllt, wodurch die Ge-

fahr des vorzeitigen Versagens der Schweißverbindung steigt.

**[0049]** Bei Versuchen hat sich herausgestellt, dass sich beim Schweißen hochmanganhaltiger Stähle durch Ausbildung eines martensitischen bzw. martensitisch-austenitischen Mischgefüges in den entkohlten oberflächennahen Bereichen der Korngrenzenangriff durch das schmelzflüssige Zinkmaterial wirksam verhindern lässt. Die oberflächenharte entkohlte Randschicht eignet sich dabei hervorragend als Zwischenschicht, um die Flüssigmetallversprödung bei verzinkten Leichtbaustählen wirksam zu vermeiden.

**[0050]** Die der Erfindung zugrunde liegende Idee ist nicht nur für Flachprodukte, wie Warm- und Kaltband, sondern auch für Profile und Rohre sowie daraus hergestellte Bauteile anwendbar. Für die Umformung kommen alle bekannten Verfahren der Kalt-, Warm- und Halbwarmformung in Betracht, wie Biegen, Tiefziehen, Stauchen, Aufweiten etc. aber beispielsweise auch das bekannte Innenhochdruckumformen oder Pressformhärten. Demzufolge kann die Herstellung erfindungsgemäßiger Gradientenwerkstoffe beispielhaft über folgende Prozessrouten erfolgen:

- Kalt- oder Warmumformung eines Werkstücks, wie z. B. eines Blechzuschnitts, zu einem Bauteil mit anschließendem oxidierenden Glühen des Bauteils und anschließender gezielter Abkühlung zum Härteten der Oberfläche durch Umwandlung der entkohlten Bereiche zu Martensit
- Innenhochdruckumformen eines Rohres bei angehobener Temperatur, die eine Entkohlung der Oberfläche zulässt, mit abschließender rascher Abkühlung (Härten)
- Innenhochdruckumformen eines Rohres bei Raumtemperatur mit abschließender oxidierender Glühung des bereits umgeformten Bauteils und abschließender rascher Abkühlung (Härten)
- Pressformhärten eines Werkstücks mit einer oxidierenden Glühung vor dem Umformen; Umformen bei erhöhter Temperatur im austenitischen Gefügezustand und anschließender rascher Abkühlung zur martensitischen Umwandlung der oberflächennahen, entkohlten Bereiche
- oxidierendes Glühen zur Einstellung einer entkohlten Schicht, z. B. eines Bleches, mit anschließender gezielter Abkühlung (ohne Härtung) mit anschließender Kaltumformung
- oxidierendes Glühen zur Einstellung einer entkohlten Schicht, z. B. eines Bleches mit anschließender gezielter Abkühlung (ohne Härtung) mit anschließendem Kaltwalzen zur gezielten Einstellung der Härteschichtdicke über die Bildung von Verfor-

mungsmartensit

- oxidierendes Glühen z. B. eines Bleches mit anschließender gezielter Abkühlung (Härtung) und direkter Anwendung ohne weitere umformtechnische Beanspruchung
- oxidierendes Glühen im Rahmen des Warmwalzprozesses zur Einstellung einer entkohlten Schicht mit anschließendem Kaltwalzen
- oxidierendes Glühen im Rahmen des Warmwalzprozesses zur Einstellung einer entkohlten Schicht mit anschließendem Kaltwalzen und Glühen unter oxidierender Atmosphäre zur weiteren Entkohlung
- oxidierendes Glühen im Rahmen des Warmwalzprozesses zur Einstellung einer entkohlten Schicht mit anschließendem Kaltwalzen und Glühen unter reduzierender oder inerter Atmosphäre zur Verringerung bzw. Einstellung der Entkohlung durch Ausgleichsprozesse.

**[0051]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist grundsätzlich für alle bei Raumtemperatur austenitischen Legierungen geeignet, insbesondere aber für hochlegierte Leichtbaustähle.

**[0052]** Das erfindungsgemäße Verfahren bietet erstmals in vorteilhafter Weise die Möglichkeit, den spezifischen Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften des fertigen Bauteils Rechnung zu tragen, indem diese über die Banddicke gezielt eingestellt werden können.

**[0053]** Zusammenfassend ergeben sich aus der Erfindung folgende Vorteile:

- Einstellung benötigter Werkstoffeigenschaften über die Wanddicke durch einfaches entkohlendes Glühen mit anschließendem Härteten oder mechanischer Umformung.
- Gezielt beeinflusst werden können:
  - Verschleiß/Abrieb/Tribologie
  - Zunderbeständigkeit
  - Korrosionsschutz
  - Beschichtbarkeit
  - Beklebbarkeit
  - elektrische Eigenschaften
  - Schweißbarkeit (z. B. Widerstandspunktschweißbarkeit)
  - thermische Eigenschaften (Bimetall)
  - optische Eigenschaften (Aussehen)
  - Dämpfung
- Realisierung von Kombinationen unterschiedlicher Oberflächen- und Materialkerneigenschaften.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Werkstücken aus einem austenitischen Leichtbaustahl mit über die Wand- oder Banddicke einstellbaren Werkstoffeigenschaften mit einer Legierungszusammensetzung (in Ges.%) bestehend aus:

C	0,2 bis $\leq$ 1,0
Al	0,05 bis $<$ 15,0
Si	0,05 bis $\leq$ 6,0
Mn	9,0 bis $<$ 30,0

Rest Eisen einschließlich üblicher Stahlbegleitelemente mit optionaler Zugabe von Cr, Cu, B, Ti, Zr, V und Nb mit Cr  $\leq$  6,5; Cu  $\leq$  4,0; Ti+Zr  $\leq$  0,7; Nb+V  $\leq$  0,5, B  $\leq$  0,1 **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück einer entkohlenden Glühbehandlung unter oxidierender Atmosphäre unterzogen wird in der Weise, dass sich in den oberflächennahen Bereichen ein ferritisches oder metastabiles Austenitgefüge bildet, dessen Schichtdicke und Eigenschaften über Variation der Glühparameter (Temperatur, Haltezeit) und Glühatmosphäre (Gaszusammensetzung, Partialdruck) einstellbar ist und zur Erzeugung eines Eigenschaftsgradienten einer nachfolgenden beschleunigten Abkühlung und/oder einer Kaltumformung unterzogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor, während oder nach der Glühbehandlung eine Umformung stattfindet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umformung eine Warm- oder Kaltumformung ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umformen ein Kalt- oder Warmwalzen ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Zuge der Wiedererwärmungsbedingungen vor dem Warmwalzen und/oder zwischen den Warmwalzstichen unter oxidierender Glühatmosphäre erzeugte Tiefe der Entkohlung und der Grad der Entkohlung im Werkstück durch einen nachfolgenden Glühprozess unter reduzierender oder inerter Atmosphäre gezielt eingestellt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entkohlungstiefe und der Grad der Entkohlung durch ein Wiedererwärmen des Werkstücks

zwischen einzelnen Warmwalzstichen gezielt eingestellt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umformen eine Innenhochdruckumformung ist.
8. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umformen ein Tiefziehen ist.
9. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umformen ein Pressen ist.
10. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Umformen ein Presshärten ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 2-10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer Umformung nach der Glühbehandlung die beschleunigte Abkühlung während der Umformung stattfindet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beschleunigte Abkühlung ein Abschrecken ist.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die oxidierende Glühatmosphäre Umgebungsluft ist.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Umgebungsluft Sauerstoff oder sauerstoffhaltige Gase zugesetzt sind.
15. Werkstücke aus austenitischem Leichtbaustahl mit über die Band- oder Wanddicke einstellbaren Werkstoffeigenschaften mit einer Legierungszusammensetzung (in Gew.%) bestehend aus:
- |    |                     |
|----|---------------------|
| C  | 0,2 bis $\leq$ 1,0  |
| Al | 0,05 bis $<$ 15,0   |
| Si | 0,05 bis $\leq$ 6,0 |
| Mn | 9,0 bis $<$ 30,0    |
- Rest Eisen einschließlich üblicher Stahlbegleitelemente mit optionaler Zugabe von Cr, Cu, B, Ti, Zr, V und Nb mit Cr  $\leq$  6,5; Cu  $\leq$  4,0; Ti+Zr  $\leq$  0,7; Nb+V  $\leq$  0,5, B  $\leq$  0,1 **dadurch gekennzeichnet**, dass die Werkstücke über den Querschnitt der Band- oder Wanddicke ge-

genüber der Matrix entkohlte Schichten aufweisen.

16. Geglühte Werkstücke nach Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Werkstücke einen metallischen Überzug  
aufweisen.
- 5
17. Geglühte Werkstücke nach Anspruch 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Werkstücke in der entkohlten Randschicht  
ein Härtungsgefüge aufweisen.
- 10

### Claims

1. A method for producing workpieces from an austenitic lightweight steel having material properties that are adjustable across the wall thickness or strip thickness, having an alloy composition (in wt.%) consisting of:

C	0.2 to $\leq$ 1.0
Al	0.05 to <15.0
Si	0.05 to $\leq$ 6.0
Mn	9.0 to <30.0

remainder iron including common steel-accompanying elements with the optional addition of Cr, Cu, B, Ti, Zr, V and Nb with Cr  $\leq$  6.5; Cu  $\leq$  4.0; Ti+Zr  $\leq$  0.7; Nb+V  $\leq$  0.5, B  $\leq$  0.1,  
**characterised in that**

the workpiece is subjected to a decarburising annealing treatment under an oxidising atmosphere in such a way that a ferritic or meta-stable austenitic structure is formed in the regions close to the surface, the layer thickness and properties of which can be adjusted via variation of the annealing parameters (temperature, holding time) and the annealing atmosphere (gas composition, partial pressure), and is subjected to a subsequent accelerated cooling and/or a cold forming to create a property gradient.

2. The method according to claim 1,  
**characterised in that**  
forming takes place before, during or after the annealing treatment.
3. The method according to claim 2,  
**characterised in that**  
the forming is a hot or cold forming.
4. The method according to claim 3,  
**characterised in that**  
the forming is a hot or cold rolling.
5. The method according to claim 4,  
**characterised in that**

the depth of the decarburisation and the degree of the decarburisation created in the workpiece in the course of the reheating conditions before hot rolling and/or between the hot-rolling passes under an oxidising annealing atmosphere are adjusted in a targeted manner by a subsequent annealing process under a reducing or inert atmosphere.

6. The method according to claim 4,  
**characterised in that**  
the depth and degree of decarburisation are adjusted in a targeted manner by reheating the workpiece between individual hot-rolling passes.
- 15 7. The method according to claim 3,  
**characterised in that**  
the forming is an internal high-pressure forming.
- 20 8. The method according to claim 3,  
**characterised in that**  
the forming is a deep drawing.
- 25 9. The method according to claim 3,  
**characterised in that**  
the forming is a pressing.
- 30 10. The method according to claim 3,  
**characterised in that**  
the forming is a press hardening.
- 35 11. The method according to claim 2,  
**characterised in that**  
in the event that the forming is carried out after the annealing treatment, the accelerated cooling is carried out during the forming.
- 40 12. The method according to one of claims 1 - 11,  
**characterised in that**  
the accelerated cooling is a quenching.
- 45 13. The method according to one of claims 1 - 12,  
**characterised in that**  
the oxidising annealing atmosphere is ambient air.
14. The method according to claim 13,  
**characterised in that**  
oxygen or oxygen-containing gases are added to the ambient air.
- 50 15. Workpieces composed of austenitic lightweight steel having material properties that are adjustable across the strip thickness or wall thickness, having an alloy composition (in wt.%) consisting of:
- |      |                    |
|------|--------------------|
| 55 C | 0.2 to $\leq$ 1.0  |
| Al   | 0.05 to <15.0      |
| Si   | 0.05 to $\leq$ 6.0 |

(continued)

Mn 9.0 to &lt;30.0

remainder iron including common steel-accompanying elements with the optional addition of Cr, Cu, B, Ti, Zr, V and Nb with Cr ≤ 6.5; Cu ≤ 4.0; Ti+Zr ≤ 0.7; Nb+V ≤ 0.5, B ≤ 0.1,  
**characterised in that** the workpieces comprise layers that are decarburised compared with the matrix over the cross-section of the strip thickness or wall thickness.

16. Annealed workpieces according to claim 15,  
**characterised in that**  
 the workpieces have a metallic coating.

17. Annealed workpieces according to claim 15,  
**characterised in that**  
 the workpieces have a hardened structure in the de-carburised skin layer.

### Revendications

1. Procédé servant à fabriquer des pièces à partir d'un acier de construction légère austénitique présentant des propriétés de matériau pouvant être ajustées sur l'épaisseur de paroi ou de bande avec une composition d'alliage (en % en poids) constituée de :

C	0,2 à ≤ 1,0
Al	0,05 à < 15,0
Si	0,05 à ≤ 6,0
Mn	9,0 à < 30,0

le reste étant du fer y compris des éléments d'accompagnement d'acier usuels avec une addition optionnelle de Cr, Cu, B, Ti, Zr, V et Nb avec Cr ≤ 6,5 ; Cu ≤ 4,0 ; Ti + Zr ≤ 0,7 ; Nb + V ≤ 0,5, B ≤ 0,1,  
**caractérisé en ce**

**que** la pièce est soumise à un traitement de recuit de décarburation de manière à former, dans les zones proches de la surface, une structure austénitique ferritique ou métastable, dont l'épaisseur de couche et les propriétés peuvent être ajustées par l'intermédiaire de la variation des paramètres de recuit (température, durée de séjour) et de l'atmosphère de recuit (composition de gaz, pression partielle), et est soumise à un refroidissement accéléré qui suit et/ou à une mise en forme à froid afin de produire un gradient de propriété.

2. Procédé selon la revendication 1,  
**caractérisé en ce**  
**qu'**une mise en forme a lieu avant, pendant ou après le traitement de recuit.

3. Procédé selon la revendication 2,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est une mise en forme à chaud ou à froid.

4. Procédé selon la revendication 3,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est un laminage à froid ou à chaud.

5. Procédé selon la revendication 4,  
**caractérisé en ce**  
**que** la profondeur de la décarburation produite dans le cadre des conditions de réchauffement avant le laminage à chaud et/ou entre les passes de laminage à chaud et le degré de décarburation dans la pièce sont ajustés de manière ciblée par un processus de recuit qui suit sous une atmosphère de réduction ou inerte.

6. Procédé selon la revendication 4,  
**caractérisé en ce**  
**que** la profondeur de décarburation et le degré de décarburation sont ajustés de manière ciblée par un réchauffement de la pièce entre diverses passes de laminage à chaud.

7. Procédé selon la revendication 3,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est une mise en forme intérieure à pression élevée.

8. Procédé selon la revendication 3,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est un emboutissage.

9. Procédé selon la revendication 3,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est un pressage.

10. Procédé selon la revendication 3,  
**caractérisé en ce**  
**que** la mise en forme est un durcissement à la presse.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2-10,  
**caractérisé en ce**  
**que** lors d'une mise en forme après le traitement de recuit, le refroidissement accéléré a lieu au cours de la mise en forme.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1-11,  
**caractérisé en ce**  
**que** le refroidissement accéléré est une trempe.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications

1-12,  
**caractérisé en ce**  
**que** l'atmosphère de recuit oxydée est l'air environnant.

5

14. Procédé selon la revendication 13,  
**caractérisé en ce**  
**que** de l'oxygène ou des gaz contenant de l'oxygène sont ajoutés à l'air environnant.

10

15. Pièces composées d'un acier de construction légère austénitique présentant des propriétés de matériau pouvant être ajustées sur l'épaisseur de bande ou de paroi avec une composition d'alliage (en % en poids) constituée de :

15

C	0, 2 à ≤ 1,0
Al	0,05 à < 15,0
Si	0,05 à ≤ 6,0
Mn	9,0 à < 30,0

20

le reste étant du fer y compris des éléments d'accompagnement d'acier usuels avec une addition optionnelle de Cr, Cu, B, Ti, Zr, V et Nb avec Cr ≤ 6, 25  
 5 ; Cu ≤ 4,0 ; Ti + Zr ≤ 0,7 ; Nb + V ≤ 0,5, B ≤ 0,1,  
**caractérisées en ce que** les pièces présentent sur la section transversale de l'épaisseur de bande ou de paroi des couches décarburées par rapport à la matrice.

30

16. Pièces recuites selon la revendication 15,  
**caractérisées en ce**  
**que** les pièces présentent un revêtement métallique.

35

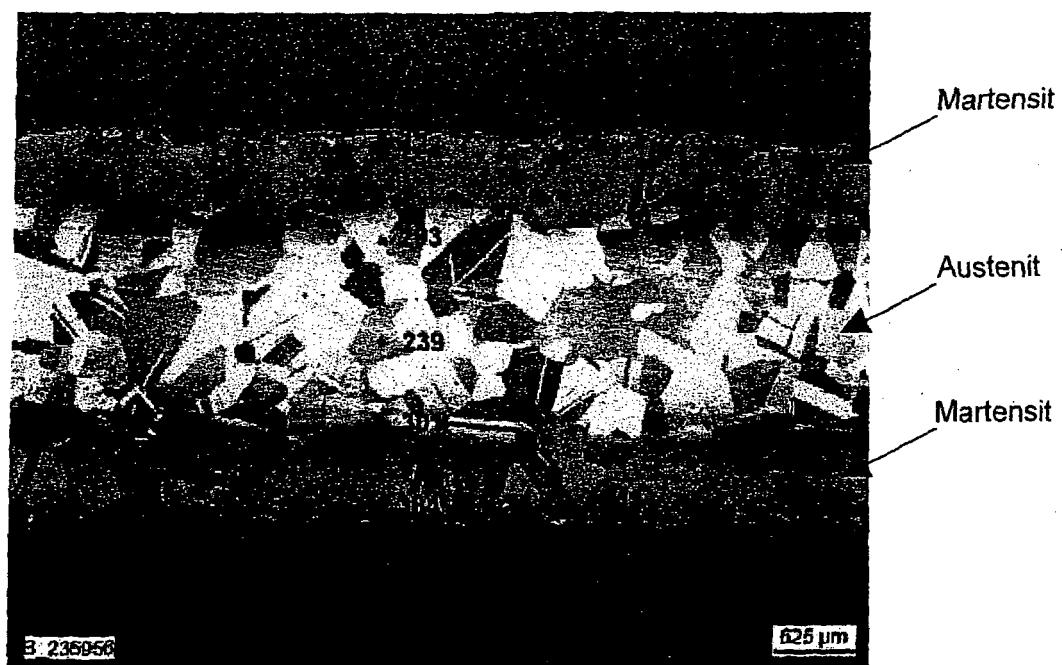
17. Pièces recuites selon la revendication 16,  
**caractérisées en ce**  
**que** les pièces présentent une structure de durcissement dans la couche de bord décarburée.

40

45

50

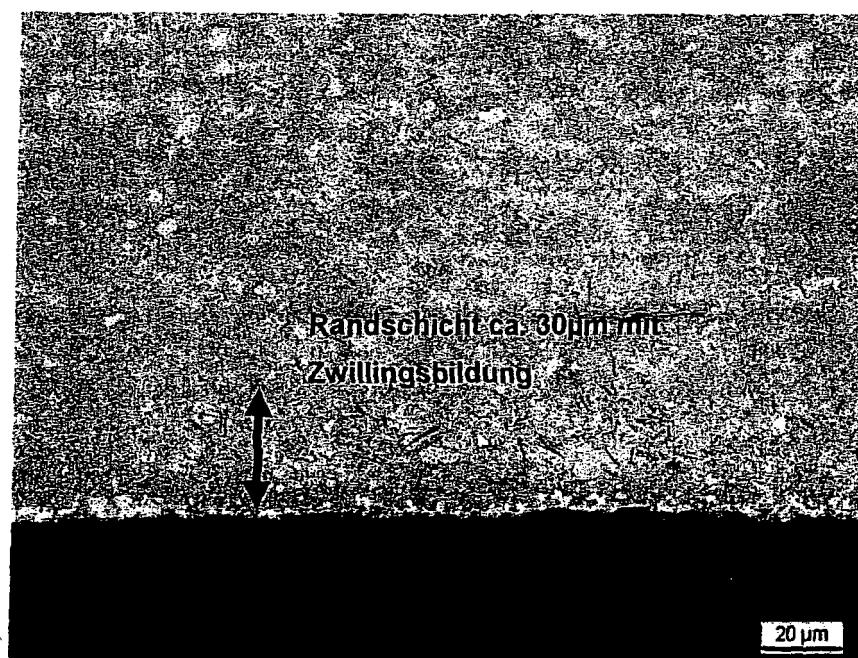
55



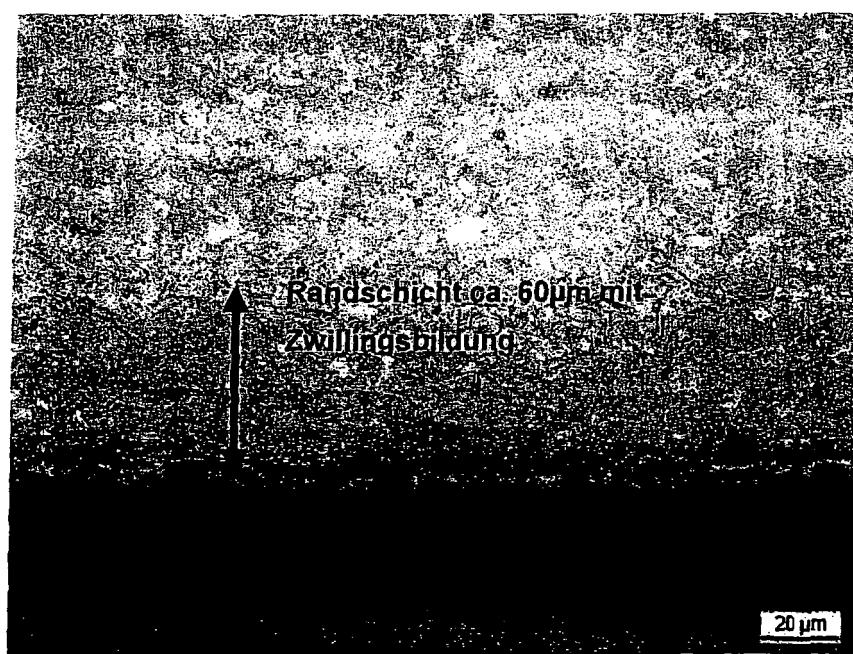
Figur 1a



Figur 1b



Figur 1c



Figur 1d

**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 0489727 B1 [0004]
- EP 0573641 B1 [0004]
- DE 19900199 A1 [0004]
- DE 102004061284 A1 [0006]
- DE 10124594 A1 [0012]
- EP 0944443 B1 [0012]
- DE 3904776 C2 [0014]
- DE 102007039013 B3 [0017]