



(11)

**EP 2 840 159 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**10.05.2017 Patentblatt 2017/19**

(51) Int Cl.:

<b>C21D 7/10</b> (2006.01)	<b>C21D 9/00</b> (2006.01)
<b>C21D 8/02</b> (2006.01)	<b>C22C 38/02</b> (2006.01)
<b>C22C 38/04</b> (2006.01)	<b>C22C 38/06</b> (2006.01)
<b>C22C 38/08</b> (2006.01)	<b>C22C 38/16</b> (2006.01)
<b>C22C 38/18</b> (2006.01)	

(21) Anmeldenummer: **13181374.3**

(22) Anmeldetag: **22.08.2013**

**(54) Verfahren zum Herstellen eines Stahlbauteils**

Method for producing a steel component

Procédé destiné à la fabrication d'un composant en acier

(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**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**25.02.2015 Patentblatt 2015/09**

(73) Patentinhaber: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**  
**47166 Duisburg (DE)**

(72) Erfinder:

- **Hammer, Brigitte**  
**45562 Vörde (DE)**
- **Heller, Thomas**  
**47229 Duisburg (DE)**

- **Hisker, Frank**  
**46240 Bottrop (DE)**
- **Kawalla, Rudolf**  
**09627 Bobritzsch (DE)**
- **Korpala, Grzegorz**  
**09599 Freiberg (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2011/111330 WO-A1-2012/063620**  
**JP-A- 2005 097 725 US-A1- 2006 060 269**  
**US-A1- 2012 211 128**

**EP 2 840 159 B1**

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 zum Herstellen eines Stahlbauteils, das eine Zugfestigkeit Rm von mehr als 1200 MPa und eine Bruchdehnung A50 von mindestens 6 % aufweist.

**[0002]** Erfindungsgemäß hergestellte Stahlbauteile zeichnen sich durch eine sehr hohe Festigkeit in Kombination mit guten Dehnungseigenschaften aus und sind als solche insbesondere als Bauteile für Kraftfahrzeugkarosserien geeignet.

**[0003]** Unter dem Begriff "Stahlflachprodukt" werden hier durch einen Walzprozess erzeugte Stahlbleche oder Stahlbänder sowie davon abgeteilte Platinen und desgleichen verstanden. Stahlbauteile der erfindungsgemäßen Art werden durch einen Umformprozess aus solchen Stahlflachprodukten hergestellt.

**[0004]** Sofern hier Legierungsgehalte lediglich in "%" angegeben sind, ist damit immer "Gew.-%" gemeint, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist.

**[0005]** Wenn hier von "Bruchdehnung A50", "Bruchdehnung A80" oder "Zugfestigkeit Rm" die Rede ist, so sind damit die gemäß DIN EN 6892-1 ermittelten mechanischen Kennwerte gemeint.

**[0006]** Aus der US 6,364,968 B1 ist ein Verfahren zum Herstellen eines warmgewalzten Stahlblechs bekannt, das bei einer Dicke von nicht mehr als 3,5 mm eine gleichmäßige Verteilung seiner mechanischen Eigenschaften und ein besonders gutes Lochaufweitungsverhalten aufweisen soll. Das Verfahren sieht dabei vor, dass eine Bramme, die (in Gew.-%) 0,05 - 0,30 % C, 0,03 - 1,0 % Si, 1,5 - 3,5 % Mn, bis zu 0,02 % P, bis zu 0,005 % S, bis zu 0,150 % Al, bis zu 0,0200 % N sowie alternativ oder in Kombination 0,003 - 0,20 % Nb oder 0,005 - 0,20 % Ti, aufweist, auf bis zu 1200 °C erwärmt wird und anschließend mit einer Warmwalzendtemperatur von mindestens 800 °C, insbesondere 950 - 1050 °C, zu einem Warmband warmgewalzt wird. Anschließend wird das erhaltene Warmband mit einer Abkühlrate von 20 - 150 °C/sec auf eine Haspeltemperatur von 300 - 550 °C abgekühlt, bei der es zu einem Coil gewickelt wird. Die Abkühlung setzt dabei innerhalb von 2 Sekunden nach Ende des Warmwalzens ein. Das so erhaltene Warmband soll ein feines bainitisches Gefüge mit einem Bainit-Anteil von mindestens 90 % besitzen, dessen mittlere Korngröße 3,0 µm nicht überschreitet, wobei das Verhältnis der Länge der längsten Achse zur Länge der kürzesten Achse der Körner nicht mehr als 1,5 und die Länge der längsten Achse der Körner nicht mehr als 10 µm betragen soll. Der nicht vom Bainit eingenommene Rest des Gefüges soll aus angelassenem Martensit bestehen, der hinsichtlich seiner Erscheinung und seiner Eigenschaften dem Bainit sehr ähnlich ist. In dieser Weise erzeugte und beschaffene Warmbänder weisen Zugfestigkeiten von 850 - 1103 MPa bei einer Dehnung von 15 - 23 % auf.

**[0007]** Aus der EP 2 546 382 A1 ist zudem ein Verfahren zur Herstellung eines Stahlblechs mit einer Zugfestigkeit von mindestens 1470 MPa bekannt, bei dem das Produkt aus Dehnung und Zugfestigkeit mindestens 29000 MPa% beträgt. Der Stahl, aus dem das Stahlblech besteht, enthält dabei neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,30 - 0,73 % C, bis zu 3,0 % Si, bis zu 3,0 % Al, wobei die Summe der Si- und Al-Gehalte mindestens 0,7 % beträgt, 0,2 - 8,0 % Cr, bis zu 10,0 % Mn, wobei die Summe der Cr- und Mn-Gehalte mindestens 1,0 % beträgt, bis zu 0,1 % P, bis zu 0,07 % S sowie bis zu 0,010 % N. Das derart zusammengesetzte Stahlblech wird derart verarbeitet, dass der Flächenanteil an Martensit bezogen auf das gesamte Mikrogefüge des Stahls im Bereich von 15 - 90 % liegt und der Gehalt an Restaustenit des Gefüges 10 - 50 % beträgt. Dabei sollen mindestens 50 % des Martensits als angelassener Martensit vorliegen und der Flächenanteil des angelassenen Martensits mindestens 10 % sein. Sofern im Gefüge vorhanden, soll gleichzeitig das Flächenverhältnis von im Gefüge anwesenden polygonalen Ferriten höchstens 10 % betragen.

**[0008]** Um dies zu erreichen, wird gemäß der EP 2 546 382 A1 zunächst ein in der angegebenen Weise zusammengesetztes warmgewalztes Stahlband erzeugt, indem ein Stahlvormaterial, wie eine Bramme, auf 1000 - 1300 °C erwärmt wird und darauf folgend bei einer 870 - 950 °C betragenden Warmwalzendtemperatur zu einem Warmband gewalzt wird. Das erhaltene Warmband wird anschließend bei einer Haspeltemperatur von 350 - 720 °C zu einem Coil gewickelt. Nach dem Haspeln erfolgt ein Beizen mit anschließendem Kaltwalzen bei Verformungsgraden von 40 - 90 %. Das so erhaltene kaltgewalzte Band wird für 15 - 1000 Sekunden bei einer Temperatur geglüht, in dem es ein rein austenitisches Gefüge besitzt, und dann mit einer Abkühlgeschwindigkeit von mindestens 3 °C/s auf eine Temperatur abgekühlt, die in einem unterhalb der Martensitstarttemperatur beginnenden und bis zu einer 150 °C niedrigeren Temperatur reichenden Temperaturbereich liegt, um angelassenen Martensit im Gefüge des Stahlblechs zu erzeugen. Daraufhin wird das kaltgewalzte Stahlband über eine Dauer von 15 - 1000 Sekunden auf 340 - 500 °C erwärmt, um den vorhandenen Restaustenit zu stabilisieren. Die so erzeugten kaltgewalzten Stahlbleche erreichten Zugfestigkeiten von mehr als 1600 MPa bei einer Dehnung von bis zu 27 %.

**[0009]** Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik bestand die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren anzugeben, das auf einfache Weise die Herstellung komplex geformter Bauteile aus Stahlflachprodukten der voranstehend erläuterten Art ermöglicht.

**[0010]** Erfindungsgemäß ist diese Aufgabe dadurch gelöst worden, dass zur Herstellung von hochfesten und gute Dehnungseigenschaften aufweisenden Stahlbauteilen die in Anspruch 1 angegebenen Arbeitsschritte durchlaufen werden.

**[0011]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben und werden nach-

folgend wie der allgemeine Erfindungsgedanke im Einzelnen erläutert.

**[0012]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist zum Herstellen eines Stahlbauteils geeignet, das eine Zugfestigkeit  $R_m$  von mehr als 1200 MPa und eine Bruchdehnung A50 von mindestens 6 % besitzt. Zu diesem Zweck umfasst das erfindungsgemäße Verfahren folgende Arbeitsschritte:

- Bereitstellen eines Stahlflachprodukts, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%):

C:	0,10 - 0,60 %,
Si:	0,4 - 2,5 %,
Al:	bis zu 3,0 %
Mn:	0,4 - 3,0 %,
Ni:	bis zu 1 %,
Cu:	bis zu 2,0 %,
Mo:	bis zu 0,4 %,
Cr:	bis zu 2 %,
Co:	bis zu 1,5 %,
Ti:	bis zu 0,2 %,
Nb:	bis zu 0,2 %,
V:	bis zu 0,5 %,

enthält, wobei das Gefüge des Stahlflachprodukts zu mindestens 10 Vol.-% aus Restaustenit besteht, der globulare Restaustenitinseln mit einer Korngröße von mindestens 1  $\mu\text{m}$  umfasst,

- Erwärmen des Stahlflachprodukts auf eine Umformtemperatur, die 150 - 400 °C beträgt,

- Umformen des auf die Umformtemperatur erwärmten Stahlflachprodukts zu dem Bauteil mit einem höchstens bis zur Gleichmaßdehnung  $A_g$  reichenden Umformgrad, in der Praxis auch Umformdehnung oder Verformungsgrad genannt,

- Abkühlen des erhaltenen Bauteils.

**[0013]** Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass ein Bauteil, das durch Umformen eines 150 - 400 °C warmen Stahlflachprodukts der erfindungsgemäß beschaffenen Art hergestellt wird, nach einer anschließenden Abkühlung auf Raumtemperatur eine gegenüber der Festigkeit des ursprünglichen Stahlflachprodukts deutlich erhöhte Festigkeit bei nahezu unveränderten Dehnungseigenschaften besitzt.

**[0014]** In Folge der Erwärmung in dem erfindungsgemäß vorgegebenen Temperaturbereich steigt die Dehnbarkeit des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukts deutlich an, so dass ohne besonderen Aufwand und bei minimierter Gefahr der Entstehung von Rissen vorgebeugt und Bauteilformen erzeugt werden können, die eine besonders komplexe Gestalt besitzen. Praktische Versuche haben hier ergeben, dass Stahlflachprodukte der erfindungsgemäß bereitgestellten Art im Temperaturbereich, in dem erfindungsgemäß die Umformung erfolgen soll, regelmäßig eine Bruchdehnung A50 von mindestens 30 % erreichen, wogegen die Bruchdehnung A50 des Bauteils bei Raumtemperatur gegenüber dem als Ausgangsprodukt dienenden Stahlflachprodukt unverändert im Bereich von typischerweise 22 % liegt.

**[0015]** Überraschender Weise nehmen somit die Dehnungseigenschaften eines erfindungsgemäß hergestellten Bauteils trotz der gestiegenen Festigkeit im Vergleich zu einem bei Raumtemperatur geformten Bauteil nicht ab. Die Erfindung ergibt somit durch eine Vorverformung bei 150 - 400 °C eine deutliche Festigkeitssteigerung bei unveränderter Dehnbarkeit des jeweils erhaltenen Bauteils.

**[0016]** Für die nach der Umformung erfolgende Abkühlung muss kein besonderer Aufwand getrieben werden. So kann die Abkühlung des Stahlflachprodukts nach dem Umformen an ruhender Luft erfolgen.

**[0017]** Die durch die erfindungsgemäß vorgenommene Umformung erzielte Steigerung der Festigkeit ist beträchtlich. So konnte nachgewiesen werden, dass durch eine Bauteilumformung von 15 %, die bei erfindungsgemäß erhöhten Temperaturen durchgeführt worden ist, regelmäßig die Zugfestigkeit um ca. 80 - 120 MPa gegenüber der Zugfestigkeit von Proben gesteigert werden konnte, die ebenfalls mit einem Umformgrad von 15 %, jedoch bei Raumtemperatur umgeformt worden sind. Gleichzeitig entsprechen die Dehnungseigenschaften des erfindungsgemäß erhaltenen Bauteils den Dehnungseigenschaften des bei Raumtemperatur umgeformten Bauteils, so dass das erfindungsgemäß erzeugte Bauteil aufgrund seines Verformungsverhaltens insbesondere für den Einsatz in Automobilkarosserien geeignet ist.

**[0018]** Der Grund für die durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise erzielte Festigkeitssteigerung besteht nach den Erkenntnissen der Erfindung darin, dass sich im Gefüge des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukts vorhandener globularer Restaustenit, der durch eine Korngröße von mindestens 1  $\mu\text{m}$  gekennzeichnet ist, unter der Last der Umformung in dem erfindungsgemäß vorgegebenen Temperaturbereich von 150 - 400 °C in filmartigen Restaustenit und bainitischen Ferrit bzw. unterhalb von der Martensitstarttemperatur in Martensit umwandelt. Während der Umformung im betreffenden Temperaturbereich trägt somit der im Stahlflachprodukt vorhandene globulare Restaustenit

zur Steigerung der Dehnung bei. Nach der Umformung und Abkühlung des Bauteils zeigt der erfindungsgemäß verarbeitete Stahl dann höhere Zugfestigkeiten in Folge des zusätzlich gebildeten ferritischen Bainits bzw. Martensits. Die über die Abkühlung unverändert erhalten bleibenden Anteile an filmartigem Restaustenit gewährleisten die nach der Umformung erreichte gute Restdehnung. Besonders sicher lässt sich dieser Effekt nutzen, wenn das Stahlflachprodukt

für die erfindungsgemäße Umformung zu dem Bauteil auf 200 - 400 °C, insbesondere 200 - 300 °C, erwärmt wird.  
**[0019]** Aufgrund der vergleichbar niedrigen Temperaturen, bei denen erfindungsgemäß die Umformung durchgeführt wird, eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere dazu, Stahlflachprodukte, die mit einer metallischen Schutzbeschichtung versehen sind, zu Bauteilen umzuformen. Die metallische Schutzschicht wird durch die erfindungsgemäß erfolgende Erwärmung allenfalls geringfügig beeinflusst. Dabei kann es sich bei der Schutzbeschichtung beispielsweise um eine konventionelle Zink-, Zinklegierungs-, Aluminium- oder Aluminiumlegierungs-, Magnesium- oder Magnesiumlegierungsbeschichtung handeln.

**[0020]** Die Zusammensetzung eines erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukts ist unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte gewählt worden:

Kohlenstoff in Gehalten von 0,1 - 0,6 Gew.-% verzögert im Stahl des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukts die Umwandlung zu Ferrit/Perlit, senkt die Martensitstarttemperatur  $M_S$  und trägt zur Erhöhung der Härte bei. Um diese positiven Effekte zu nutzen, kann der C-Gehalt des erfindungsgemäßen Stahlflachprodukts auf mindestens 0,25 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,27 Gew.-%, mindestens 0,28 Gew.-% oder mindestens 0,3 Gew.-%, gesetzt werden, wobei sich die durch den vergleichbar hohen Kohlenstoffgehalt erzielten Effekte dann besonders sicher nutzen lassen, wenn der C-Gehalt im Bereich von > 0,25 - 0,5 Gew.-%, insbesondere 0,27 - 0,4 Gew.-% oder 0,28 - 0,4 Gew.-%, liegt.

**[0021]** Durch die Anwesenheit von Si in Gehalten von 0,4 - 2,5 Gew.-% und Al in Gehalten von bis zu 3 Gew.-% im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukt kann die Karbidbildung im Bainit unterdrückt und damit einhergehend der Restaustenit durch gelösten Kohlenstoff stabilisiert werden. Zudem trägt Si zur Mischkristallverfestigung bei. Um möglicherweise schädliche Einflüsse von Si zu vermeiden, kann der Si-Gehalt auf 2,0 Gew.-% beschränkt werden. Um Si als Mischkristallbildner zur Steigerung der Festigkeit zu nutzen, kann es zweckmäßig sein, wenn das erfindungsgemäß verarbeitete Stahlflachprodukt mindestens 1 Gew.-% Si enthält.

**[0022]** Al kann im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahl den Si-Gehalt zum Teil ersetzen. Hierzu kann ein Mindestgehalt von 0,4 Gew.-% Al vorgesehen sein. Dies gilt insbesondere dann, wenn durch die Zugabe von Al die Härte oder Zugfestigkeit des Stahls zu Gunsten einer verbesserten Verformbarkeit auf einen niedrigeren Wert eingestellt werden soll.

**[0023]** Die positiven Einflüsse der gleichzeitigen Anwesenheit von Al und Si können dann besonders effektiv genutzt werden, wenn die Gehalte an Si und Al innerhalb der erfindungsgemäß vorgegebenen Grenzen die Bedingung  $\%Si + 0,8\%Al > 1,2$  Gew.-% oder sogar die Bedingung  $\%Si + 0,8\%Al > 1,5$  Gew.-% (mit %Si: jeweiliger Si-Gehalt in Gew.-%, %Al: jeweiliger Al-Gehalt in Gew.-%) erfüllen.

**[0024]** Mn in Gehalten von mindestens 0,4 Gew.-% und bis zu 3,0 Gew.-%, insbesondere bis zu 2,5 Gew.-% oder 2,0 Gew.-%, fördert im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahl die Bainitbildung, wobei die optional zusätzlich vorhandenen Gehalte an Cu, Cr und Ni ebenfalls zur Bildung von Bainit beitragen. Abhängig von den jeweils anderen Bestandteilen des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahls kann es dabei zweckmäßig sein, den Mn-Gehalt auf maximal 1,6 Gew.-% oder 1,5 Gew.-% zu beschränken.

**[0025]** Durch die optionale Zugabe von Cr kann die Martensitstarttemperatur abgesenkt und die Neigung des Bainits zur Umwandlung in Perlit oder Zementit unterdrückt werden. Des Weiteren fördert Cr in Gehalten bis zur erfindungsgemäß vorgegebenen Obergrenze von maximal 2 Gew.-% die ferritische Umwandlung, wobei sich optimale Wirkungen der Anwesenheit von Cr in einem erfindungsgemäßen Stahlflachprodukt dann ergeben, wenn der Cr-Gehalt auf 1,5 Gew.-% beschränkt ist.

**[0026]** Durch die optionale Zugabe von Ti, V oder Nb kann die Entstehung von feinkörnigem Gefüge unterstützt und die ferritische Umwandlung gefördert werden. Darüber hinaus tragen diese Mikrolegierungselemente durch die Bildung von Ausscheidungen zur Steigerung der Härte bei. Besonders effektiv lassen sich die positiven Wirkungen von Ti, V und Nb im erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukt dann nutzen, wenn ihr Gehalt jeweils im Bereich von 0,002 - 0,15 Gew.-% liegt, insbesondere 0,14 Gew.-% nicht überschreitet.

**[0027]** Die Bildung des erfindungsgemäß vorgesehenen Gefüges lässt sich insbesondere dadurch gewährleisten, dass die Gehalte des erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukts an Mn, Cr, Ni, Cu und C die folgende Bedingung

$$1 < 0,5\%Mn + 0,167\%Cr + 0,125\%Ni + 0,125\%Cu + 1,334\%C < 2$$

erfüllen, wobei mit %Mn der jeweilige Mn-Gehalt in Gew.-%, mit %Cr der jeweilige Cr-Gehalt in Gew.-%, mit %Ni der jeweilige Ni-Gehalt in Gew.-%, mit %Cu der jeweilige Cu-Gehalt in Gew.-% und mit %C der jeweilige C-Gehalt in Gew.-% bezeichnet sind.

**[0028]** Als Ausgangsprodukt für das erfindungsgemäße Verfahren eignen sich grundsätzlich warm- oder kaltgewalzte Stahlflachprodukte mit einer den erfindungsgemäßen Vorgaben entsprechenden Zusammensetzung. Hierzu in Frage kommende warmgewalzte Stahlflachprodukte und ein Verfahren zu ihrer Herstellung sind Gegenstand der Europäischen Patentanmeldung EP 12 17 83 30.2, deren Inhalt hiermit ausdrücklich in die Offenbarung der vorliegenden Patentanmeldung einbezogen wird.

**[0029]** Wie in der genannten Europäischen Patentanmeldung EP 12 17 83 30.2 erläutert, zeichnen sich die gemäß dieser Patentanmeldung erzeugten warmgewalzten Stahlflachprodukte durch eine optimale Kombination aus Dehneigenschaften und Festigkeit aus. Diese Eigenschaftskombination kann dadurch besonders sicher erreicht werden, dass das Gefüge von erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukten, neben optional vorhandenen Anteilen von bis zu 5 Vol.-% Ferrit und bis zu 10 Vol.-% Martensit, zu mindestens 60 Vol.-% aus Bainit und als Rest aus Restaustenit besteht, wobei der Restaustenitgehalt mindestens 10 Vol.-% beträgt, zumindest ein Teil des Restaustenits in blockiger Form vorliegt und die Blöcke des in blockiger Form vorliegenden Restaustenits zu mindestens 98 % einen mittleren Durchmesser von weniger als 5 µm aufweisen.

**[0030]** Ein gemäß der EP 12 17 83 30.2 beschaffenes warmgewalztes Stahlflachprodukt weist dementsprechend ein von zwei Phase dominiertes Gefüge auf, dessen einer dominierender Bestandteil Bainit und dessen zweiter dominierender Bestandteil Restaustenit ist. Neben diesen beiden Hauptkomponenten können geringe Anteile an Martensit und Ferrit vorhanden sein, deren Gehalte jedoch zu gering sind, um einen Einfluss auf die Eigenschaften des warmgewalzten Stahlflachprodukts zu haben.

**[0031]** Von "blockartigem" Restaustenit spricht man in diesem Zusammenhang dann, wenn bei den im Gefüge vorhandenen Gefüge-Bestandteilen an Restaustenit das Verhältnis aus Länge/Breite, d. h. längste Ausdehnung/Dicke, 1 bis 5 beträgt. Dagegen wird Restaustenit als "filmartig" bezeichnet, wenn bei den im Gefüge vorhandenen Restaustenitansammlungen das Verhältnis Länge/Breite größer als 5 ist und die Breite der jeweiligen Gefüge-Bestandteile an Restaustenit kleiner als 1 µm ist. Filmartiger Restaustenit liegt dementsprechend typischerweise als fein verteilte Lamelle vor.

**[0032]** Ein Verfahren zum Herstellen eines als Ausgangsprodukt für das erfindungsgemäße Verfahren geeigneten warmgewalzten Stahlflachprodukts umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Bereitstellen eines Vorprodukts in Form einer Bramme, Dünnbramme oder eines gegossenen Bands, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%): 0,10 - 0,60 % C, 0,4 - 2,0 % Si, bis zu 2,0 % Al, 0,4 - 2,5 % Mn, bis zu 1 % Ni, bis zu 2,0 % Cu, bis zu 0,4 % Mo, bis zu 2 % Cr, bis zu 0,2 % Ti, bis zu 0,2 % Nb und bis zu 0,5 % V enthält;
- Warmwalzen des Vorprodukts zu einem Warmband in einem oder mehreren Walzstichen, wobei das erhaltene Warmband beim Verlassen des letzten Walzstichs eine Warmwalzendtemperatur von mindestens 880 °C aufweist;
- beschleunigtes Abkühlen des erhaltenen Warmbands mit einer Abkühlrate von mindestens 5 °C/s auf eine Haspeltemperatur, die zwischen der Martensitstarttemperatur MS und 600 °C liegt;
- Haspeln des Warmbands zu einem Coil;
- Abkühlen des Coils, wobei die Temperatur des Coils während der Abkühlung zur Bildung von Bainit solange in einem Temperaturbereich gehalten wird, dessen Obergrenze gleich der Bainitstarttemperatur BS, ab der Bainit im Gefüge des Warmbands entsteht, und dessen Untergrenze gleich der Martensitstarttemperatur MS ist, ab der Martensit im Gefüge des Warmbands entsteht, bis mindestens 60 Vol.-% des Gefüges des Warmbands aus Bainit bestehen.

**[0033]** Ein für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als Ausgangsprodukt geeignetes kaltgewalztes Stahlflachprodukt und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen kaltgewalzten Stahlflachprodukts sind Gegenstand der Europäischen Patentanmeldung 12 17 83 32.8, deren Inhalt hiermit ebenfalls ausdrücklich in die Offenbarung der vorliegenden Patentanmeldung einbezogen wird.

**[0034]** Bei einer unter die erfindungsgemäß vorgegebene Stahlzusammensetzung fallenden Legierung besteht das Gefüge des kaltgewalzten Stahlflachprodukts vorzugweise zu mindestens 20 Vol.-% aus Bainit, zu 10 - 35 Vol.-% aus Restaustenit und als Rest aus Martensit. Dabei versteht es sich von selbst, dass im Gefüge des Stahlflachprodukts technisch unvermeidbare Spuren anderer Gefügebestandteile vorhanden sein können. Ein derartiges für die erfindungsgemäße Verarbeitung geeignetes kaltgewalztes Stahlflachprodukt weist dementsprechend ein dreiphasiges Gefüge

auf, dessen dominierender Bestandteil Bainit ist und das darüber hinaus aus Restaustenit sowie als Rest aus Martensit besteht. Optimaler Weise liegt der Bainitanteil bei mindestens 50 Vol.-%, insbesondere mindestens 60 Vol.-%, und der Restaustenitanteil im Bereich von 10 - 25 Vol.-%, wobei auch hier der Rest des Gefüges jeweils durch Martensit aufgefüllt ist. Der optimale Martensitanteil beträgt mindestens 10 Vol.-%. Ein derart zusammengesetztes Gefüge bewirkt bei der für ein erfindungsgemäß verarbeitetes kaltgewalztes Stahlflachprodukt geforderten hohen Zugfestigkeit  $R_m$  von typischerweise mindestens 1400 MPa und einer Bruchdehnung  $A_{80}$  von mindestens 5 % ein optimales Produkt  $R_m \times A_{80}$  von Dehnung und Zugfestigkeit. Neben den Hauptkomponenten "Bainit", "Restaustenit" und "Martensit" können im kaltgewalzten erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlflachprodukt Gehalte an anderen Gefügebestandteilen vorhanden sein, deren Anteile jedoch zu gering sind, um einen Einfluss auf die Eigenschaften des kaltgewalzten Stahlflachprodukts zu haben. Der Restaustenit liegt bei einem derart beschaffenen, für die erfindungsgemäße Verarbeitung geeigneten Stahlflachprodukt überwiegend filmartig mit kleinen globularen Inseln von blockigem Restaustenit mit einer Korngröße  $< 5 \mu m$  vor, so dass der Restaustenit eine hohe Stabilität und damit einhergehend eine geringe Neigung zur unerwünschten Umwandlung in Martensit besitzt. Der C-Gehalt des Restaustenits beträgt dabei typischerweise mehr als 1,0 Gew.-%.

**[0035]** Ein Verfahren zum Herstellen eines solcherart beschaffenen, erfindungsgemäß verarbeiteten kaltgewalzten Stahlflachprodukts umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Bereitstellen eines Vorprodukts in Form einer Bramme, Dünnbramme oder eines gegossenen Bands, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) C: 0,10 - 0,60 %, Si: 0,4 - 2,5 %, Al: bis zu 3,0 %, Mn: 0,4 - 3,0 %, Ni: bis zu 1,0 %, Cu: bis zu 2,0 %, Mo: bis zu 0,4 %, Cr: bis zu 2 %, Co: bis zu 1,5 %, Ti: bis zu 0,2 %, Nb: bis zu 0,2 %, V: bis zu 0,5 % enthält;
- Warmwalzen des Vorprodukts zu einem Warmband in einem oder mehreren Walzstichen, wobei das erhaltene Warmband beim Verlassen des letzten Walzstichs eine Warmwalzendtemperatur von mindestens 830 °C aufweist;
- Haspeln des erhaltenen Warmbands bei einer Haspeltemperatur, die zwischen der Warmwalzendtemperatur und 560 °C liegt;
- Kaltwalzen des Warmbands zu einem Kaltband mit einem Kaltwalzgrad von mindestens 30 %;
- Wärmebehandeln des erhaltenen Kaltbands, wobei das Kaltband im Zuge der Wärmebehandlung
  - auf eine mindestens 800 °C betragende Glühtemperatur erwärmt wird,
  - optional über eine Glühdauer von 50 - 150 s bei der Glühtemperatur gehalten wird,
  - ausgehend von der Glühtemperatur mit einer mindestens 8 °C/s betragenden Abkühlgeschwindigkeit auf eine Haltetemperatur abgekühlt wird, die in einem Haltetemperaturbereich liegt, dessen Obergrenze 470 °C beträgt und dessen Untergrenze höher ist als die Martensitstarttemperatur  $M_S$ , ab der Martensit im Gefüge des Kaltbands entsteht, und
  - im Haltetemperaturbereich über einen Zeitraum gehalten wird, der ausreicht, um im Gefüge des Kaltbands mindestens 20 Vol.-% Bainit zu bilden.

**[0036]** Die voranstehend erwähnte Martensitstarttemperatur, d. h. die Temperatur, ab der sich in erfindungsgemäß verarbeitetem Stahl Martensit bildet, kann jeweils gemäß der im Artikel "Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels" von H. Bhadeshia, erschienen in Metal Science 15 (1981), Seiten 178 -180 erläuterten Vorgehensweise berechnet werden.

**[0037]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm, in dem für vier warmgewalzte Stahlflachprodukte derselben Zusammensetzung S1 in erfindungsgemäßer Weise erzeugten Bauteile B1, B2, B3, B4 die Bruchdehnung  $A_{50}$  über die Zugfestigkeit  $R_m$  aufgetragen ist;

Fig. 2 eine Abbildung einer Gefügeprobe des Bauteils B4;

Fig. 3a, 3b Abbildungen einer Gefügeprobe des Stahlflachprodukts, aus dem das Bauteil B4 geformt ist, in 20000-facher Vergrößerung und zwar vor (Fig. 3a) und nach (Fig. 3b) der Umformung;

Fig. 4a,4b Abbildungen einer Gefügeprobe des Stahlflachprodukts, aus dem das Bauteil B4 geformt ist, in 50000-facher Vergrößerung und zwar vor (Fig. 4a) und nach (Fig. 4b) der Umformung.

**[0038]** Es ist ein Stahl mit der in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzung erschmolzen worden.

**[0039]** Die Stahlschmelze ist auf konventionelle Weise zu Brammen vergossen worden, die anschließend auf ebenso konventionelle Weise auf eine Wiedererwärmungstemperatur OT erwärmt worden sind.

**[0040]** Die erwärmten Brammen sind in einer ebenfalls konventionellen Warmwalzstaffel zu Warmbändern W1 - W4 mit einer Dicke von jeweils 2,0 mm warmgewalzt worden.

**[0041]** Die aus der Warmwalzstaffel austretenden Warmbänder W1 - W4 wiesen jeweils eine Warmwalzendtemperatur ET auf, von der ausgehend sie mit einer Abkühlrate KR auf eine Haspeltemperatur HT beschleunigt abgekühlt worden sind. Bei dieser Haspeltemperatur HT sind die Warmbänder W1 - W4 zu Coils gewickelt worden.

**[0042]** Die Coils sind anschließend jeweils in einem Temperaturbereich abgekühlt worden, dessen Obergrenze durch die jeweilige Haspeltemperatur HT und dessen Untergrenze durch die für den Stahl S1 berechnete Martensitstarttemperatur MS festgelegt war. Die Berechnung der Martensitstarttemperatur MS erfolgte dabei gemäß der im Artikel "Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels" von H. Bhadeshia, erschienen in Metal Science 15 (1981), Seiten 178 -180 erläuterten Vorgehensweise.

**[0043]** Die Dauer, über die das Coil in dem in der voranstehend beschriebenen Weise definierten Temperaturbereich abgekühlt worden ist, war so bemessen, dass die so erhaltenen Warmbänder jeweils ein aus Bainit und Restaustenit bestehendes Gefüge aufwiesen, in dem die Anteile anderer Gefügebestandteile allenfalls in unwirksamen, gegen "0" gehende Mengen vorhanden waren.

**[0044]** Die jeweiligen Betriebsparameter Wiedererwärmungstemperatur OT, Warmwalzendtemperatur ET, Abkühlrate KR, Haspeltemperatur HT und Martensitstarttemperatur MS sind in Tabelle 2 angegeben.

**[0045]** In Tabelle 3 sind darüber hinaus die für die einzelnen Warmbänder W1 - W4 ermittelten mechanischen Eigenschaften Zugfestigkeit Rm, Streckgrenze Rp, Bruchdehnung A80, Güte Rm\*A80 sowie der jeweilige Restaustenitgehalt RA angegeben.

**[0046]** Proben der so erhaltenen, in Form der Warmbänder W1 - W4 vorliegenden Stahlflachprodukte sind anschließend auf eine im Bereich von 200 - 250 °C liegende Umformtemperatur UT erwärmt und mit einem Umformgrad von bis zu 15 % zu jeweils einem Bauteil umgeformt worden. Bei der Temperatur UT war die Bruchdehnung A50 der Proben > 30 %, so dass in dem erfindungsgemäßen Temperaturbereich der Umformung auch die Abbildung von komplexen Formelementen ohne die Gefahr einer Rissbildung möglich war.

**[0047]** Nach dem Umformen im Temperaturbereich von 200 - 250 °C sind die aus den Proben der Warmbänder W1 - W4 15 % umgeformten Bauteile an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt und ihre Bruchdehnung A50 sowie ihre Zugfestigkeit Rm bestimmt worden.

**[0048]** Zum Vergleich sind weitere Proben der Warmbänder W1 - W4 bei Raumtemperatur RT, d. h. kalt, zu den jeweiligen Bauteilen umgeformt worden. Auch an den so geformten Bauteilen ist die Bruchdehnung A50 und die Zugfestigkeit Rm bestimmt worden.

**[0049]** Es zeigte sich, dass nach der Abkühlung auf Raumtemperatur bei im Wesentlichen konstanten Werten der Bruchdehnung A50 die Zugfestigkeit Rm der erfindungsgemäß umgeformten Proben um jeweils 80 - 120 MPa höher lag als bei den bei Raumtemperatur umgeformten Proben.

**[0050]** In Fig. 2 ist ein Ausschnitt einer Gefügeprobe dargestellt, die bei Raumtemperatur aus dem Bauteil entnommen worden ist, das aus dem aus dem Stahl S1 bestehenden Warmband W2 in erfindungsgemäßer Weise bei Temperaturen von 200 - 250 °C geformt worden ist. Deutlich zu erkennen ist dort der durch die Umformung im genannten Temperaturbereich aus den zuvor globulitischen Restaustenitinseln entstandene, filmartig vorliegende Restaustenit RAF.

**[0051]** In Fig. 3a,3b sind in jeweils 20000-facher Vergrößerung Ausschnitte einer Gefügeprobe des aus dem Stahl S1 bestehenden Stahlbauteils vor (Fig. 3a) und nach (Fig. 3b) der erfindungsgemäßen Umformung wiedergegeben.

**[0052]** In Fig. 4a,4b finden sich entsprechende Aufnahmen der Gefügeproben des aus dem Stahl S1 bestehenden Stahlbauteils vor (Fig. 4a) und nach (Fig. 4b) der erfindungsgemäßen Umformung in 50000-facher Vergrößerung.

**[0053]** Auch der Vergleich der Figur 3a mit der Figur 3b und der Figur 4a mit der Figur 4b zeigen deutlich die Veränderungen, die mit einer erfindungsgemäßen Verformung bewirkt werden.

**[0054]** Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt somit auf einfache Weise die Herstellung eines komplex geformten Stahlbauteils mit einer Zugfestigkeit Rm > 1200 MPa und einer Bruchdehnung A50 > 6 %. Hierzu wird erfindungsgemäß ein Stahlflachprodukt bereitgestellt, das neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) C: 0,10 - 0,60 %, Si: 0,4 - 2,5 %, Al: bis zu 3,0 % Mn: 0,4 - 3,0 %, Ni: bis zu 1 %, Cu: bis zu 2,0 %, Mo: bis zu 0,4 %, Cr: bis zu 2 %, Co: bis zu 1,5 %, Ti: bis zu 0,2 %, Nb: bis zu 0,2 %, V: bis zu 0,5 %, enthält, wobei das Gefüge des Stahlflachprodukts zu mindestens 10 Vol.-% aus Restaustenit besteht, der globulare Restaustenitinseln mit einer Korngröße von mindestens 1 µm umfasst. Das Stahlflachprodukt wird auf eine 150 - 400 °C betragende Umformtemperatur erwärmt und bei der Umformtemperatur mit einem Umformgrad, der höchstens gleich der Gleichmaßdehnung Ag ist, zu dem Bauteil umgeformt. Abschließend wird das so erhaltene Stahlflachprodukt abgekühlt. Ein derart bei erhöhten Temperaturen geformtes

## EP 2 840 159 B1

Bauteil besitzt gegenüber aus demselben Stahlflachprodukt, jedoch bei Raumtemperatur geformten Bauteilen eine deutlich gesteigerte Festigkeit.

Tabelle 1

Stahl	C	Si	Al	Mn	Ni	Cu	Cr	Sonstige
S1	0,48	1,5	0,02	1,48	0,034	1,51	0,9	
Angaben in Gew.-%, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen								

Tabelle 2

Warmband	OT [°C]	ET [°C]	KR [°C/s]	HT [°C]	MS [°C]
W1	1150	970	20	350	245
W2	1200	1000	10	400	315
W3	1200	1000	20	450	270
W4	1150	1000	20	500	230

Tabelle 3

Warmband	Rm [MPa]	Rp [MPa]	A80 [%]	RM*A80 [MPa*%]	RA [Vol.-%]
W1	1357	807	22,2	27387	36
W2	1318	751	17,8	21328	17
W3	1217	821	25,8	28544	32
W4	1345	889	21,0	25677	30

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Stahlbauteils, das eine Zugfestigkeit Rm von mehr als 1200 MPa und eine Bruchdehnung A50 von mehr als 6 % aufweist, umfassend folgende Arbeitsschritte:

- Bereitstellen eines Stahlflachprodukts mit folgender Zusammensetzung (in Gew.-%):

C: 0,10 - 0,60 %,  
Si: 0,4 - 2,5 %,  
Al: bis zu 3,0 %  
Mn: 0,4 - 3,0 %,   
Ni: bis zu 1 %,   
Cu: bis zu 2,0 %,   
Mo: bis zu 0,4 %,   
Cr: bis zu 2 %,   
Co: bis zu 1,5 %,   
Ti: bis zu 0,2 %,   
Nb: bis zu 0,2 %,   
V: bis zu 0,5 %,

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen,  
wobei das Gefüge des Stahlflachprodukts zu mindestens 10 Vol.-% aus Restaustenit besteht, der globulare Restaustenitinseln mit einer Korngröße von mindestens 1 µm umfasst,



## EP 2 840 159 B1

- Erwärmen des Stahlflachprodukts auf eine Umformtemperatur, die 150 - 400 °C beträgt,
- Umformen des auf die Umformtemperatur erwärmten Stahlflachprodukts zu dem Bauteil mit einem höchstens bis zur Gleichmaßdehnung  $A_g$  reichenden Umformgrad,
- Abkühlen des umgeformten Stahlflachprodukts.

- 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das bereitgestellte Stahlflachprodukt mit einer metallischen Schutzbeschichtung versehen ist.
- 10
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das bereitgestellte Stahlflachprodukt ein warmgewalztes Stahlband oder -blech ist.
- 15
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gefüge des warmgewalzten Stahlflachprodukts mindestens 60 Vol.-% Bainit und mindestens 10 Vol.-% Restaustenit sowie optional bis zu 5 Vol.-% Ferrit und bis zu 10 Vol.-% Martensit enthält und **dass** zumindest ein Teil des Restaustenits in blockiger Form und die Blöcke des in blockiger Form vorliegenden Restaustenits zu mindestens 98 % einen mittleren Durchmesser von weniger als 5  $\mu\text{m}$  aufweisen.
- 20
5. Stahlflachprodukt nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** seine Gehalte an Mn, Cr, Ni, Cu und C die folgende Bedingung erfüllen:

$$1 < 0,5\% \text{Mn} + 0,167\% \text{Cr} + 0,125\% \text{Ni} + 0,125\% \text{Cu} + 1,334\% \text{C} < 2$$

25

mit %Mn: jeweiliger Mn-Gehalt in Gew.-%,  
%Cr: jeweiliger Cr-Gehalt in Gew.-%,  
%Ni: jeweiliger Ni-Gehalt in Gew.-%,  
30 %Cu: jeweiliger Cu-Gehalt in Gew.-%,  
%C: jeweiliger C-Gehalt in Gew.-%.

- 35
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das bereitgestellte Stahlflachprodukt ein kaltgewalztes Stahlband oder -blech ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gefüge des kaltgewalzten Stahlflachprodukts mindestens 20 Vol.-% Bainit, 10 - 35 Vol.-% Restaustenit und mindestens 10 Vol.-% Martensit enthält.
- 40
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgewalzte Stahlflachprodukt mindestens 50 Vol.-% Bainit enthält.
9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summe der Al- und Si-Gehalte des bereitgestellten Stahlflachprodukts mindestens 1,5 Gew.-% beträgt.
- 45
10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die nach dem Umformen erfolgende Abkühlung des Stahlflachprodukts an ruhender Luft erfolgt.

### Claims

- 50
1. A method for producing a steel component which has a tensile strength  $R_m$  of greater than 1200 MPa and an elongation at break  $A_{50}$  of greater than 6%, comprising the following production steps:

- 55
- providing a flat steel product having the following composition (in wt%):

C: 0.10 - 0.60%,  
Si: 0.4 - 2.5%,

(continued)

Al:	up to 3.0%,
Mn:	0.4 - 3.0%,
Ni:	up to 1%,
Cu:	up to 2.0%,
Mo:	up to 0.4%,
Cr:	up to 2%,
Co:	up to 1.5%,
Ti:	up to 0.2%,
Nb:	up to 0.2%,
V:	up to 0.5%,

the remainder iron and unavoidable impurities,  
 wherein the structure of the flat steel product is composed of at least 10 vol% residual austenite which comprises globular residual austenite islands with a grain size of at least 1  $\mu\text{m}$ ,  
 - heating the flat steel product to a forming temperature, which is 150 - 400 °C,  
 - forming the flat steel product heated to the forming temperature into the component with a degree of forming which does not exceed the uniform elongation  $A_g$ ,  
 - cooling the formed flat steel product.

2. A method according to claim 1, **characterised in that** the prepared flat steel product is provided with a metallic protective coating.
3. A method according to one of claims 1 or 2, **characterised in that** the prepared flat steel product is a hot-rolled steel strip or sheet.
4. A method according to claim 3, **characterised in that** the structure of the hot-rolled flat steel product contains at least 60 vol% bainite and at least 10 vol% residual austenite as well as optionally up to 5 vol% ferrite and up to 10 vol% martensite and **in that** at least part of the residual austenite is in block form and at least 98% of the blocks of the residual austenite present in block form have a mean diameter of less than 5  $\mu\text{m}$ .
5. A flat steel product according to claim 4, **characterised in that** its Mn, Cr, Ni, Cu and C contents fulfil the following condition:

$$1 < 0.5\% \text{Mn} + 0.167\% \text{Cr} + 0.125\% \text{Ni} + 0.125\% \text{Cu} + 1.334\% \text{C} < 2$$

with %Mn: respective Mn content in wt%  
 %Cr: respective Cr content in wt%  
 %Ni: respective Ni content in wt%  
 %Cu: respective Cu content in wt%  
 %C: respective C content in wt%.

6. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the prepared flat steel product is a cold-rolled steel strip or sheet.
7. A method according to claim 6, **characterised in that** the structure of the cold-rolled flat steel product contains at least 20 vol% bainite, 10 - 35 vol% residual austenite and at least 10 vol% martensite.
8. A method according to claim 7, **characterised in that** the cold-rolled flat steel product contains at least 50 vol% bainite.
9. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the sum of the Al and Si contents of the prepared flat steel product is at least 1.5 wt%.

10. A method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the cooling of the flat steel product, which takes place after the forming, takes place in still air.

## Revendications

1. Procédé de fabrication d'un élément constructif d'acier, d'une résistance à la traction  $R_m$  supérieure à 1200 MPa et d'un allongement à la rupture A50 supérieur à 6 %, comportant les étapes suivantes :

- obtention d'un produit d'acier plat de la composition suivante (en % en masse) :

C :	0,10 - 0,60 %,
Si :	0,4 - 2,5 %,
Al :	jusqu'à 3,0 %,
Mn :	0,4 - 3,0 %,
Ni :	jusqu'à 1 %,
Cu :	jusqu'à 2,0 %,
Mo :	jusqu'à 0,4 %,
Cr :	jusqu'à 2 %,
Co :	jusqu'à 1,5 %,
Ti :	jusqu'à 0,2 %,
Nb :	jusqu'à 0,2 %,
V :	jusqu'à 0,5 %,

le reste étant constitué de fer et des impuretés inévitables,

étant entendu que la texture du produit d'acier plat est constituée à raison d'au moins 10 % en volume d'austénite résiduelle, renfermant des îlots d'austénite résiduelle globulaire d'une taille de particules d'au moins 1  $\mu\text{m}$ ,

- le chauffage du produit d'acier plat à une température de formage comprise entre 150 et 400 °C,

- le formage du produit d'acier plat chauffé à la température de formage en l'élément constructif désiré, par application d'un degré de formage allant tout au plus jusqu'à l'allongement avant striction  $A_g$ ,

- le refroidissement du produit d'acier plat formé.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le produit d'acier plat obtenu est pourvu d'une couche métallique protectrice.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le produit d'acier plat obtenu est un ruban ou une tôle d'acier laminée à chaud.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la texture du produit d'acier plat laminé à chaud renferme au moins 60 % en volume de bainite et au moins 10 % en volume d'austénite résiduelle de même que, de façon optionnelle, jusqu'à 5 % en volume de ferrite et jusqu'à 10 % en volume de martensite, et **en ce qu'**au moins une partie de l'austénite résiduelle se présente sous la forme de blocs et **en ce que** les blocs de l'austénite résiduelle sous forme de blocs possèdent, à raison d'au moins 98 %, un diamètre moyen inférieur à 5  $\mu\text{m}$ .

5. Produit d'acier plat selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** les diverses teneurs en Mn, Cr, Ni, Cu et C satisfont à la condition suivante :

$$1 < 0,5\% \text{Mn} + 0,167\% \text{Cr} + 0,125\% \text{Ni} + 0,125\% \text{Cu} + 1,334\% \text{C} < 2$$

dans laquelle

% Mn : teneur de Mn en % en masse,

% Cr : teneur de Cr en % en masse,

## EP 2 840 159 B1

% Ni : teneur de Ni en % en masse,  
% Cu : teneur de Cu en % en masse,  
% C : teneur de C en % en masse.

- 5      6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le produit d'acier plat obtenu est un ruban ou une tôle d'acier laminée à froid.
- 10      7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la texture du produit d'acier plat laminé à froid renferme au moins 20 % en volume de bainite et 10 et 35 % en volume d'austénite résiduelle et au moins 10 % en volume de martensite.
- 15      8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le produit d'acier plat laminé à froid renferme au moins 50 % en volume de bainite.
- 20      9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la somme des teneurs de Al et Si du produit d'acier plat obtenu s'élève au moins à 1,5 % en masse.
- 25      10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le refroidissement du produit d'acier plat ayant lieu après le formage se déroule dans une atmosphère paisible.

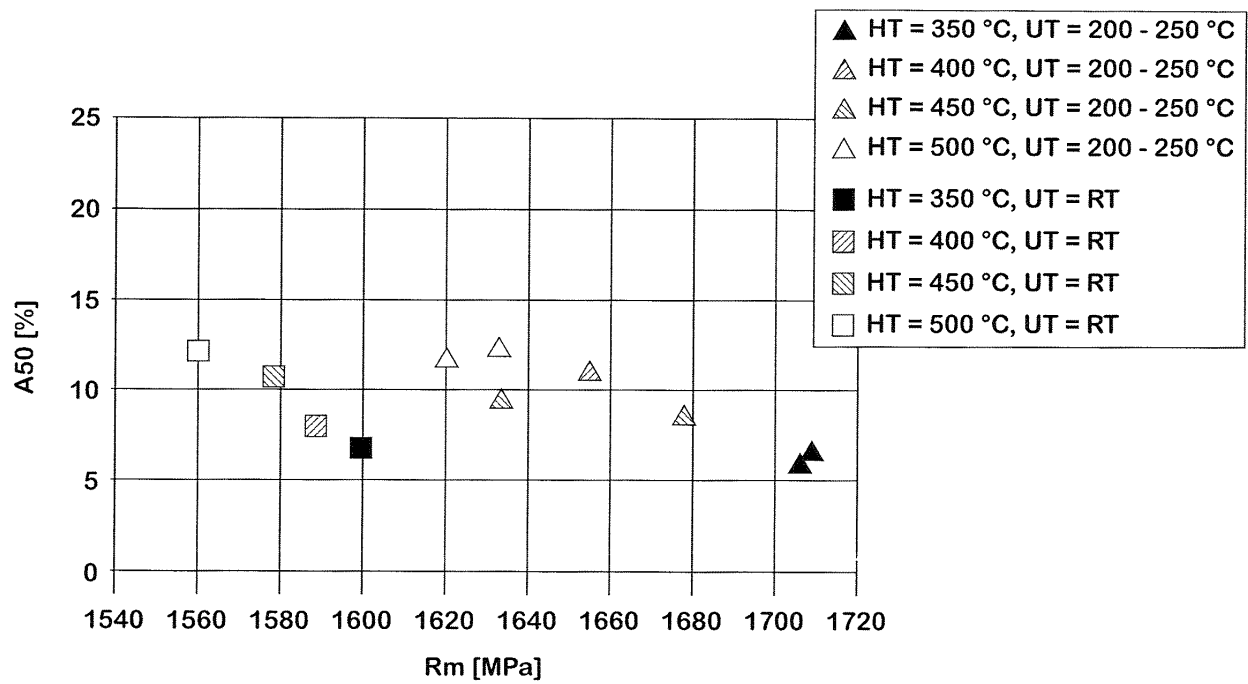


Fig. 1

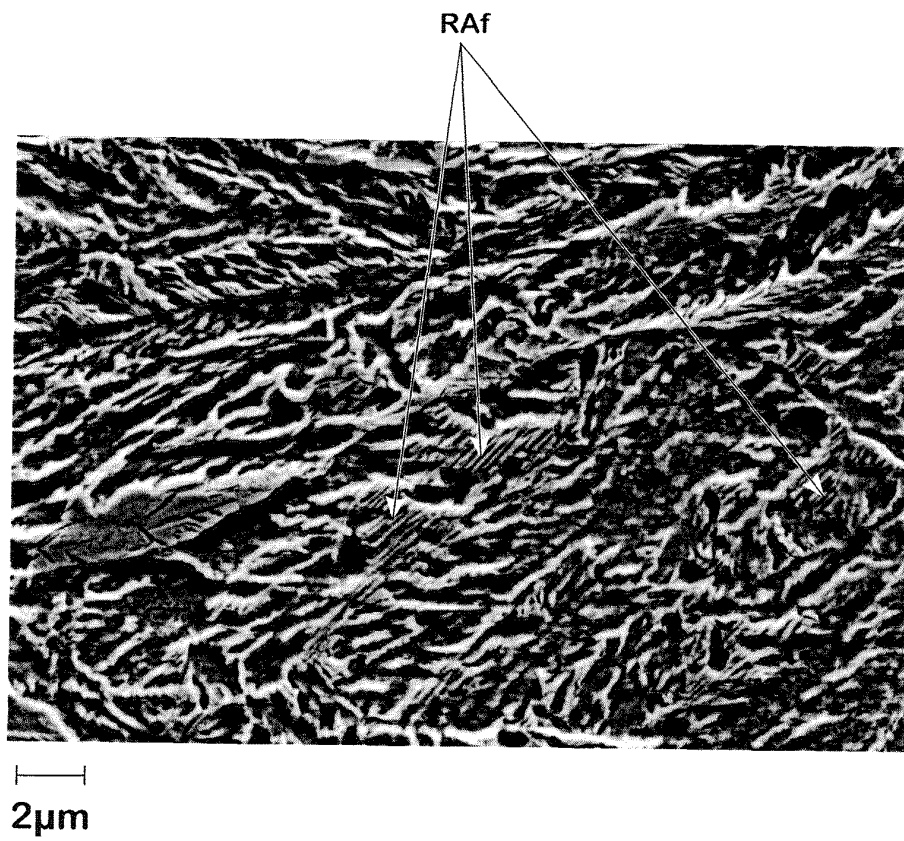
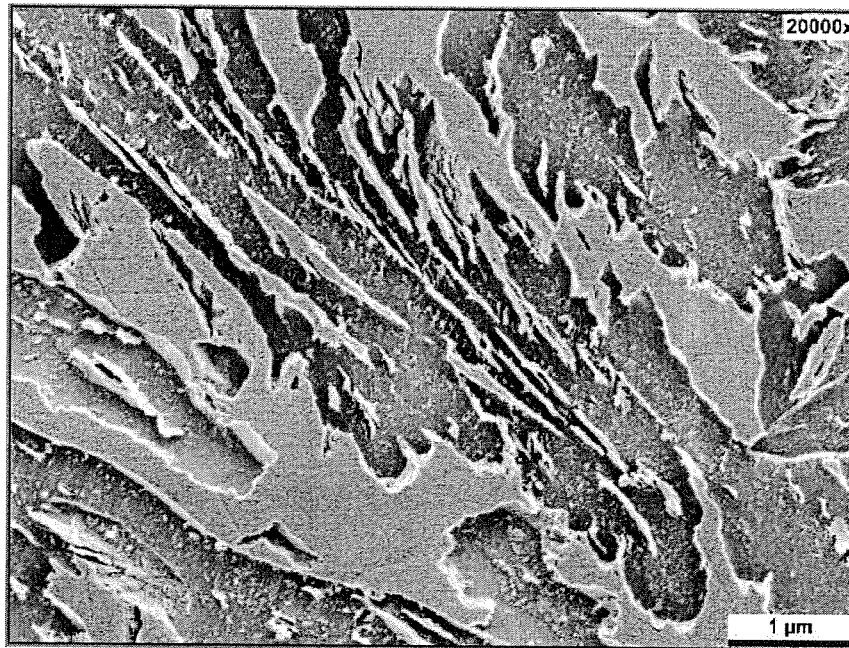
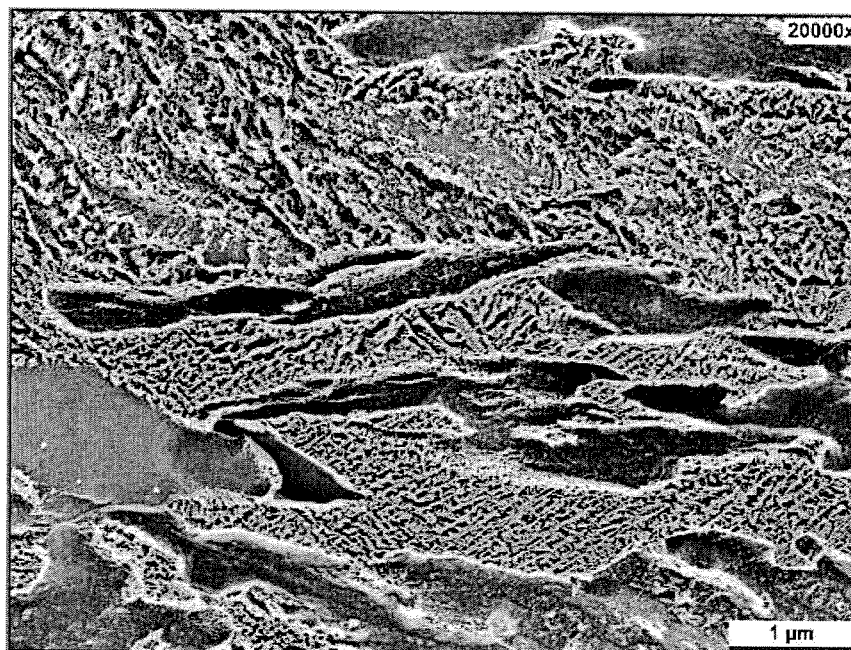


Fig. 2



**Fig. 3a**



**Fig. 3b**

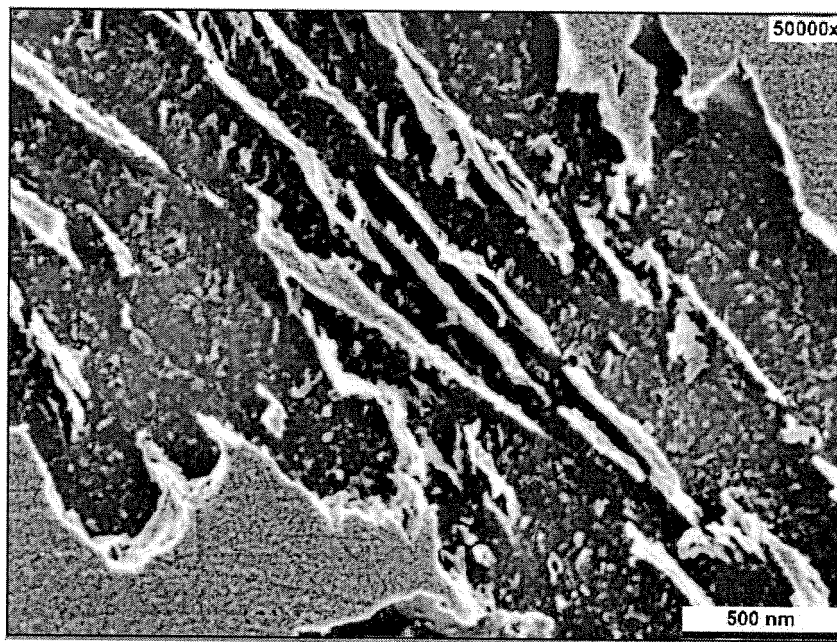


Fig. 4a

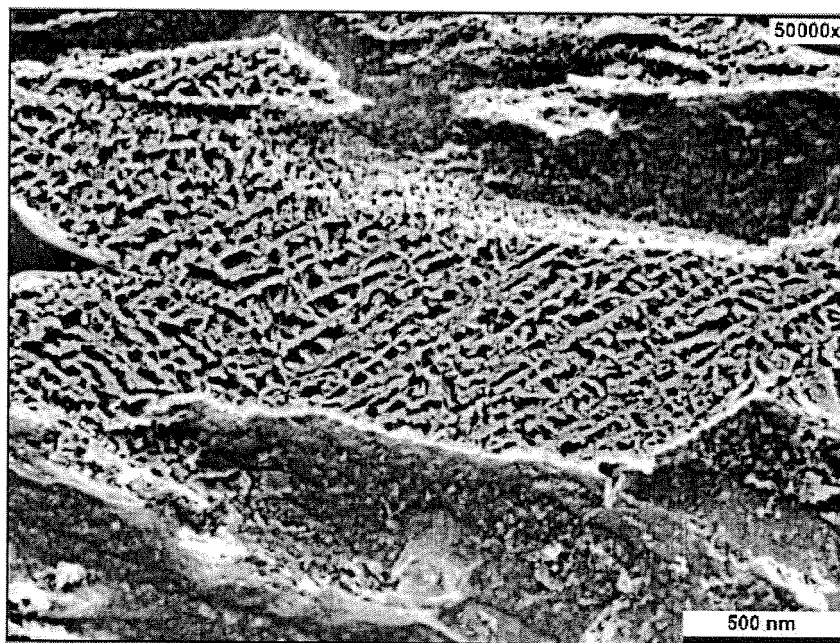


Fig. 4b



## 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

- US 6364968 B1 [0006]
- EP 2546382 A1 [0007] [0008]
- EP 12178330 A [0028] [0029] [0030]
- EP 12178332 A [0033]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **VON H. BHADESHIA.** Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels. *Metal Science*, 1981, vol. 15, 178-180 [0036]
- **H. BHADESHIA.** Thermodynamic Extrapolation and Martensite-Start-Temperature of Substitutionally Alloyed Steels. *Metal Science*, 1981, vol. 15, 178-180 [0042]