

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 917 595 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.06.2001 Patentblatt 2001/24

(51) Int Cl.7: **C22C 38/20**, C22C 38/28,
H01F 1/147

(21) Anmeldenummer: **97935569.0**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP97/04245

(22) Anmeldetag: **05.08.1997**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 98/06882 (19.02.1998 Gazette 1998/07)

(54) **HOCHLEISTUNGSSCHWEISSGEEIGNETER WEICHMAGNETISCHER STAHL UND SEINE
VERWENDUNG FÜR TEILE VON MAGNETSCHWEBEBAHNEN**

HEAVY DUTY SOFT MAGNETIC STEEL SUITABLE FOR WELDING AND ITS USE IN PARTS OF
MAGNETIC LEVITATIONAL RAILWAYS

ACIER MAGNETIQUE DOUX POUR SOUDAGE HAUTE PERFORMANCE ET SON EMPLOI POUR
DES PARTIES DES CHEMINS DE FER A SUSTENTATION MAGNETIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patentanwälte
Kanzlerstrasse 8a
40472 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: **10.08.1996 DE 19632370**

(56) Entgegenhaltungen:
GB-A- 2 071 149

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.05.1999 Patentblatt 1999/21

(73) Patentinhaber: **Thyssen Krupp Stahl AG**
40211 Düsseldorf (DE)

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 096, no. 006, 28.Juni 1996 & JP 08 041582 A (NIPPON STEEL CORP), 13.Februar 1996,
- **H. BAUMGARDT ET AL: "Verbesserung der Zähigkeitseigenschaften in der Wärmeeinflusszone..."** THYSEN TECHNISCHE BERICHTE, Nr. 1, 1985, Seiten 42-49, XP002047665 in der Anmeldung erwähnt

(72) Erfinder:

- **SCHRIEVER, Udo**
D-45134 Essen (DE)
- **TSCHERSICH, Hans-Joachim**
D-46282 Dorsten (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 917 595 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen hochleistungsschweißgeeigneten weichmagnetischen Stahl mit hoher Zähigkeit in der Wärmeeinflußzone von Schweißverbindungen, hohem spezifischen elektrischen Widerstand zur Reduzierung von Wirbelströmen, Alterungsbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit und seine Verwendung für Teile von Magnetschwebbahnen, die Trag-, Führungs- oder Antriebskräfte aufnehmen, insbesondere Seitenführungsschienen.

[0002] Ein für Führungsschienen von Magnetschwebbahnen verwendeter Stahl mit, abgesehen vom Titangehalt, gleicher Zusammensetzung wie nach der Erfindung ist offenbart in DE-C-3 009 234. Der bekannte Stahl ist jedoch nicht für das Hochleistungsschweißen, d. h. Schweißen mit hoher Streckenenergie geeignet. Hohe Streckenenergie ist bei der schweißtechnischen Verarbeitung dieser Stähle speziell bei den langen Fahrwegen der Magnetschwebbahn wegen der hohen Schweißgeschwindigkeit von besonderem wirtschaftlichen Interesse.

[0003] Beim Schweißen von Baustählen entsteht durch die thermische Beanspruchung des Grundwerkstoffes in einer schmalen Zone neben der Schmelzlinie ein grobkörniges Gefüge, das zu einer Beeinträchtigung der Zähigkeitseigenschaften führt. Die Größe des Kornes und die Breite der Grobkornzone werden durch die Streckenenergie beim Schweißen beeinflusst. Mit Zunahme der Streckenenergie wird das Korn vergrößert und demzufolge die Kerbschlagarbeit verschlechtert. Da einerseits die Wirtschaftlichkeit des Schweißens mit steigender Streckenenergie erhöht wird, andererseits für die Bauteilsicherheit eine hohe Zähigkeit der Wärmeeinflußzone angestrebt wird, gibt es einen großen Bedarf an Stählen, die ohne zulässige Zähigkeitseinbuße in der Wärmeeinflußzone mit hoher Streckenenergie schweißbar sind, Thyssen Techn. Berichte, Heft 1/85, S. 42-49.

[0004] Seit langem nutzt man bei der Erzeugung von Feinkornbaustählen die Wirkung feiner Ausscheidungen aus, die das Austenitkornwachstum behindern können. Nitride, Carbide und Carbonitride von Niob und Titan sowie Aluminiumnitride verhindern das Wachstum der Austenitkörner, indem sie die Korngrenzenbewegung behindern. Bei der beim Schweißen auftretenden thermischen Beanspruchung lösen sich jedoch die meisten Ausscheidungen auf und werden dadurch unwirksam. Lediglich Titanitrid ist in der Lage, selbst bei Temperaturen bis oberhalb 1400°C beständig zu sein. Die Wirkung der Titanitride auf die Behinderung des Austenitkornwachstums hängt von ihrer Menge, Größe und Verteilung ab. Die Dispersion der Titanitride wird durch den Gehalt an Titan und Stickstoff sowie durch die Abkühlbedingungen des Stahles nach dem Gießen beeinflusst. Feine Titanitridausscheidungen mit einer Teilchengröße von unter 0,020 µm entstehen bei Titangehalten von unter 0,03 % und einem Titan-Stickstoff-Verhältnis von 2 bis 3,4. Unter dieser Voraussetzung wird die wirksamste Behinderung des Austenitkornwachstums beim Schweißen erreicht. Allerdings erwartet der Fachmann einen ungünstigen Einfluß eines Titangehaltes auf die magnetischen Eigenschaften (höhere Wirbelstromverluste und niedrigere magnetische Flußdichte) infolge von Kornverfeinerung, vgl. Journal of Material Science 32 (1997), S. 1055-1059.

[0005] Stähle, deren Legierungsgehalt auf die Korrosionsbeständigkeit und die magnetischen Eigenschaften abgestimmt ist, lassen sich nicht ohne Zähigkeitseinbuße in der Wärmeeinflußzone mit hoher Streckenenergie schweißen. Der vorliegenden Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen weichmagnetischen Stahl vorzuschlagen, der einerseits ohne Zähigkeitseinbuße durch Hochleistungsschweißen mit hoher Streckenenergie verarbeitet werden kann und andererseits die Anforderungen hinsichtlich hohem spezifischen elektrischen Widerstand, Alterungsbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit erfüllt.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Stahl folgender chemischer Zusammensetzung (in Masse-%) gelöst:

0,65 bis < 1,0 %	Chrom
> 1,0 bis 2,0 %	Silizium
0,25 bis 0,55 %	Kupfer
0,003 bis 0,008 %	Stickstoff
0,15 bis < 0,6 %	Mangan
0,02 bis 0,07 %	Aluminium _{lös.}
0,01 bis 0,02 %	Titan
0 bis 0,15 %	Kohlenstoff
0 bis 0,045 %	Phosphor

[0007] Rest Eisen mit erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

[0008] Bevorzugt hat dieser Stahl folgende Zusammensetzung:

0,75 bis 0,85 %	Chrom
-----------------	-------

(fortgesetzt)

1,60 bis 1,80 %	Silizium
0,25 bis 0,35 %	Kupfer
0,003 bis 0,008 %	Stickstoff
0,30 bis 0,40 %	Mangan
0,040 bis 0,07 %	Aluminium löslich
0,01 bis 0,02 %	Titan
0,05 bis 0,08 %	Kohlenstoff
0,005 bis 0,02 %	Phosphor

[0009] Rest Eisen mit erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

[0010] Der erfindungsgemäße Stahl löst die gestellte Aufgabe. Er erfüllt einerseits die für das Hochleistungsschweißen erforderlichen analytischen Voraussetzungen, andererseits die z.B. an einen Werkstoff für Trag- und Führungsteile von Magnetschwebbahnen gestellten scharfen Anforderungen hinsichtlich hohem spezifischen elektrischen Widerstand, Alterungsbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit.

[0011] Der erfindungsgemäße Stahl wird hergestellt durch Gießen, Walzen, Normalglühen oder durch normalisierendes Walzen und beschleunigtes Abkühlen. Zur Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich der Eignung für das Hochleistungsschweißen ist der Titangehalt des erfindungsgemäßen Stahls bevorzugt auf 0,01 bis 0,02 % und der Stickstoffgehalt auf 0,005 bis 0,008 % mit einem Titan:Stickstoff-Verhältnis von bevorzugt 2,0 bis 4,0 festgelegt. Unter dieser Voraussetzung wird die wirksamste Behinderung des Austenitkornwachstums beim Schweißen mit hohem Wärmeeinbringen erreicht.

[0012] Durch das erfindungsgemäße Legieren eines weichmagnetischen Stahles mit Titan wird in einzigartiger Kombination die oben beschriebene Verbesserung der Schweißbarkeit bei einem gleichzeitig hohen elektrischen Widerstand kombiniert. Der hohe elektrische Widerstand stellt einen niedrigen Energieverbrauch beim Betrieb der

[0013] Magnetschwebbahn durch Minimierung der Wirbelstromverluste sicher.

[0014] Der erfindungsgemäße Stahl läßt sich erheblich wirtschaftlicher verarbeiten und verursacht aufgrund seiner hervorragenden elektrischen Eigenschaften unter Betriebsbedingungen geringe Wirbelstromverluste.

[0015] Aufgrund seines vorerwähnten Eigenschaftsprofils eignet sich der erfindungsgemäße Stahl hervorragend für Teile von Magnetschwebbahnen, die Trag-, Führungs- oder Antriebskräfte aufnehmen müssen, wie Seitenführungsschienen.

[0016] Beispiele für den erfindungsgemäßen Stahl sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1:

Chemische Zusammensetzung in Masse-%										
Stahl	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cr	Cu	Ti
A	0,06	1,65	0,35	0,006	0,001	0,0065	0,059	0,74	0,25	0,015
B	0,06	1,69	0,39	0,007	0,002	0,0072	0,065	0,77	0,29	0,017
C	0,07	1,66	0,38	0,008	0,001	0,0069	0,063	0,76	0,28	0,016

[0017] Zum Vergleich der Eigenschaften des erfindungsgemäßen Stahles mit einem bekannten Stahl ohne Titan gemäß DE 30 09 234 C2 sind aus den oben aufgeführten Schmelzen 30-mm-Bleche gewalzt und anschließend normalgeglüht worden. Der Stahl D setzt sich aus 0,07 % C, 1,73 % Si, 0,36 % Mn, 0,013 % P, 0,003 % S, 0,006 % N, 0,07 % Al, 0,77 % Cr, Rest Fe zusammen.

[0018] Aus der nachfolgenden Übersicht in Tabelle 2 ist zu entnehmen, daß die erfindungsgemäßen Stähle A, B und C gegenüber dem zum Vergleich herangezogenen bekannten Stahl D ohne Titan gleich gute magnetische und elektrische Eigenschaften besitzen.

Tabelle 2:

Elektrische und magnetische Eigenschaften			
	Magnetische Flußdichte in Tesla bei 4000 A/m		Spezifischer elektrischer Widerstand bei RT in $\Omega^* \text{mm}^2/\text{m}$
Herkömmlicher Stahl	(D)	1,60	0,399
Erfindungsgemäßer Stahl	(A)	1,64	0,384
	(B)	1,63	0,383
	(C)	1,65	0,384

[0019] Die mechanischen Eigenschaften aus Zug- und Kerbschlagbiegeversuchen sind in Tabelle 3 den Eigenschaften des bekannten Stahls D ohne Titan gegenübergestellt. Danach unterscheiden sich die erfindungsgemäßen Stähle A, B und C auch in ihren mechanischen Eigenschaften nicht wesentlich vom bekannten Stahl D.

[0020] Zur Untersuchung der Zähigkeit in der Wärmeeinflußzone einer Schweißverbindung wurde das Gefüge der Wärmeeinflußzone, wie es unmittelbar neben der Schmelzlinie vorliegt, simuliert. Die Simulation erfolgte mit einer Spitzentemperatur von 1350 °C und einer Abkühlzeit $t_{8/5} = 50$ s. Die Ergebnisse der Kerbschlagbiegeversuche an den Simulationsproben sind in **Fig. 1** dargestellt. Gegenüber dem Vergleichsstahl D ohne Titan zeigt sich die deutliche Überlegenheit des erfindungsgemäßen Stahls.

Tabelle 3:

Vergleich mechanischer Eigenschaften				
Stahl	A	B	C	D
Rel N/mm ²	360	370	355	363
Rm N/mm ²	537	539	534	529
A %	38	37	37	31
Z %	77	77	78	-
Kerbschlagarbeit (ISO-V)				
- 20 °C	-	13	-	-
0 °C	12	57	13	-
10 °C			117	
20 °C	72	147	149	95
50 °C	233	221	205	
100 °C	275	294	281	
150 °C	289	298	314	

[0021] Wärmebehandlung: 10 Min 950 °C/L

[0022] Probenlage: quer; 1/4 Blechdicke.

[0023] Durch das erfindungsgemäße Legieren mit Titan kann eine durchgreifende Verbesserung der Schweißbarkeit des weichmagnetischen Stahles erreicht werden, ohne daß die guten mechanischen und magnetischen Eigenschaften verschlechtert werden.

Patentansprüche

1. Hochleistungsschweißgeeigneter weichmagnetischer Stahl mit hoher Zähigkeit in der Wärmeeinflußzone von Schweißverbindungen, hohem spezifischen elektrischen Widerstand zur Reduzierung von Wirbelströmen, Alterungsbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit der Zusammensetzung in Masse-%:

EP 0 917 595 B1

0,65 bis < 1,0 %	Chrom
> 1,0 bis 2,0 %	Silizium
0,25 bis 0,55 %	Kupfer
0,003 bis 0,008 %	Stickstoff
0,15 bis < 0,6 %	Mangan
0,02 bis 0,07 % a	Aluminium _{lös.}
0,01 bis 0,02 %	Titan
0 bis 0,15 %	Kohlenstoff
0 bis 0,045 %	Phosphor

Rest Eisen mit erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

2. Stahl nach Anspruch 1 mit (in Masse-%)

0,75 bis 0,85 %	Chrom
1,60 bis 1,80 %	Silizium
0,25 bis 0,35 %	Kupfer
0,003 bis 0,008 %	Stickstoff
0,30 bis 0,40 %	Mangan
0,040 bis 0,07 %	Aluminium löslich
0,01 bis 0,02 %	Titan
0,05 bis 0,08 %	Kohlenstoff
0,005 bis 0,02 %	Phosphor

Rest Eisen mit erschmelzungsbedingten Verunreinigungen.

3. Stahl nach Anspruch 1 oder 2 mit einem Titan:Stickstoff-Verhältnis von 2,0 bis 4,0.

4. Verwendung eines Stahls der Zusammensetzung gemäß Anspruch 1 oder 2 als Werkstoff für Teile von Magnet-schwebbahnen, die Trag-, Führungs- oder Antriebskräfte aufnehmen müssen, insbesondere für Seitenführungs-schienen.

Claims

1. A soft magnetic steel suitable for high power welding and having high toughness in the heat-affected zone of welded joints, high specific electric resistance for the reduction of eddy currents, resistance to ageing and weathering and the composition in % by weight:

0.65 to < 1.0 %	chromium
> 1.0 to 2.0 %	silicon
0.25 to 0.55 %	copper
0.003 to 0.008 %	nitrogen
0.15 to < 0.6 %	manganese
0.02 to 0.07 %	aluminium _{sol.}
0.01 to 0.02 %	titanium
0 to 0.15 %	carbon
0 to 0.045 %	phosphorus

residue iron with impurities due to melting.

2. A steel according to claim 1, having (in % by weight)

0.75 to 0.85 %	chromium
1.60 to 1.80 %	silicon
0.25 to 0.35 %	copper
0.003 to 0.008 %	nitrogen
0.30 to 0.40 %	manganese
0.040 to 0.07 %	aluminium _{sol.}
0.01 to 0.02 %	titanium
0.05 to 0.08 %	carbon
0.005 to 0.02 %	phosphorus

residue iron with impurities due to melting.

3. A steel according to claims 1 or 2, having a titanium-to-nitrogen ratio of 2.0 to 4.0.
4. Use of a steel of the composition according to claims 1 or 2 as a material for parts of magnetic suspension railways which must absorb supporting, guiding or driving forces, more particularly for lateral guide rails.

Revendications

1. Acier magnétique doux approprié aux soudures de haute capacité présentant une ténacité élevée dans la zone affectée thermiquement de la soudure, une résistivité électrique spécifique élevée pour la réduction des courants de Foucault, une résistance au vieillissement élevée et une stabilité élevée aux agents atmosphériques, de composition en pourcentage en poids :

0,65 à < 1% de chrome
 > 1,0 à 2,0% de silicium
 0,25 à 0,55% de cuivre
 0,003 à 0,008% d'azote
 0,15 à < 0,6% de manganèse
 0,02 à 0,07% d'aluminium soluble
 0,01 à 0,02% de titane
 0 à 0,15% de carbone
 0 à 0,045% de phosphore,

le reste étant constitué de fer et des impuretés résultant du procédé d'élaboration.

2. Acier selon la revendication 1, comprenant (en pourcentage en poids) :

0,75 à 0,85% de chrome
 1,60 à 1,80% de silicium
 0,25 à 0,35% de cuivre
 0,003 à 0,008% d'azote
 0,30 à 0,40% de manganèse
 0,040 à 0,07% d'aluminium soluble
 0,01 à 0,02% de titane
 0,05 à 0,08% de carbone
 0,005 à 0,02% de phosphore
 0,005 à 0,02% de phosphore,

le reste étant constitué de fer et des impuretés résultant du procédé d'élaboration.

3. Acier selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le rapport du titane à l'azote varie entre 2,0 et 4,0.
4. Utilisation d'un acier de composition selon la revendication 1 ou la revendication 2, comme matière première pour

EP 0 917 595 B1

éléments de transporteur aérien devant recueillir les forces portantes, les forces de guidage et les forces motrices, en particulier pour rails latéraux de guidage.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1

