

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 717 123 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

**19.06.1996 Patentblatt 1996/25**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **C22C 38/00**

(21) Anmeldenummer: **95117665.0**

(22) Anmeldetag: **09.11.1995**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC NL  
PT SE**

(30) Priorität: **14.12.1994 DE 4444426**

(71) Anmelder: **Fried. Krupp AG Hoesch-Krupp  
D-45143 Essen (DE)**

(72) Erfinder: **Heller, Wilhelm, Dr. Ing.  
D-47229 Duisburg (DE)**

(74) Vertreter: **John, Ernst, Dipl.-Ing. et al  
Fried. Krupp AG Hoesch-Krupp,  
Patentabteilung,  
Postfach 10 22 52  
D-45022 Essen (DE)**

(54) **Radreifen-Stahl**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf einen Stahl, der sich als Werkstoff für Eisenbahnräder, -radscheiben, -radreifen und sonstige Gegenstände eignet, die einer mechanischen und dynamischen Abrollbeanspruchung unterliegen, wobei der Stahl einen höheren Reinheitsgrad als herkömmliche Radreifen-Stähle besitzt und daher weniger empfindlich gegen Ermüdungsrisse ist, was durch einen Stahl mit bis zu 0,8% Kohlenstoff, mindestens 0,2% Silizium, mindestens 0,5% Mangan, unter 0,003% Aluminium sowie einen durch Vakuummentgasen auf höchstens 0,0015% eingestellten Sauerstoffgehalt erreicht wird.

**EP 0 717 123 A1**

**Beschreibung**

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stahl, der sich als Werkstoff für Eisenbahnräder, -radscheiben, -radreifen und sonstige Gegenstände eignet, die einer mechanischen und dynamischen Abrollbeanspruchung unterliegen und im folgenden als Radreifen bezeichnet werden.

Radreifen-Stähle unterliegen an und unter ihren Lauf- und Reibflächen unter dem Einfluß des Wagengewichts sowie der Brems- und Beschleunigungskräfte einer hohen statischen und dynamischen Beanspruchung. Hinzu kommt eine - insbesondere bei klotzgebremsten Eisenbahnrädern - erhebliche Wärmebelastung, die je nach der entstehenden Reibwärme beim Bremsen und Anfahren zu Gefügeumwandlungen mit einer Laufflächenaufhärtung infolge Martensitbildung in der erhitzten Laufflächenzone führen kann. Infolge der ständigen hohen Wälz- und Schlagbeanspruchung kommt es daher bei Eisenbahnrädern häufig zu Rißbildungen und Abblätterungen.

Diese Gefahr ist bei Werkstoffinhomogenitäten, insbesondere bei oxidischen Einschlüssen besonders groß. Von derartigen Einschlüssen geht ein erheblicher, das Entstehen von Rissen und die Rißausbreitung fördernder schädlicher Einfluß aus. Bei diesen Einschlüssen handelt es sich üblicherweise um Tonerderückstände aus einer Aluminium-Desoxidation, die einer Verminderung des Sauerstoffgehalts unter  $10^{-3}\%$  dient und darauf abzielt, das Entstehen von CO-Randblasen beim Erstarren des Stahls zu vermeiden. Derartige Randblasen führen bei der Weiterverarbeitung ihrerseits zu Oberflächenfehlern, die bei Radreifen als Laufflächenfehler in Erscheinung treten. Ein weiterer Vorteil der Aluminium-Desoxidation ergibt sich aus dem stabilen Abbinden des im flüssigen Stahl gelösten Stickstoffs zu Aluminiumnitrid und der daraus resultierenden Alterungsbeständigkeit sowie der Unterdrückung einer Kornvergrößerung bei einer etwaigen Wärmebehandlung oder auch unter dem Einfluß einer lokalen Beanspruchung durch Reibwärme beim Bremsen und Anfahren.

Übliche Radreifen-Stähle enthalten daher neben etwa 0,2 bis 0,7% Kohlenstoff normalerweise 0,009 bis 0,063% Aluminium.

Die erwähnten Risse, die häufig ursächlich für Ermüdungsschäden und -brüche sind, entstehen des weiteren als Folge einer Thermoschockbeanspruchung infolge Schlupfs beim Anfahren und Bremsen oder auch durch eine lokale Überschreitung der Dauerschwingfestigkeit im Bereich hoher Schlag- und Schubbeanspruchungen an und unter der Lauffläche.

Um die mechanischen Eigenschaften wie hoher Verschleißwiderstand, Widerstand gegen Ermüdungsrisse, Sprödbruchsicherheit, Dauerschwingfestigkeit und Thermoschockbeständigkeit zu verbessern, enthalten Radreifen-Stähle vielfach noch Legierungselemente wie bis 0,8% Kohlenstoff, bis 1,0% Chrom, bis 0,20% Molybdän und bis 0,20% Vanadium. Auf diese Weise lassen sich zwar einzelne Werkstoffeigenschaften verbessern, nicht jedoch die Laufflächenschäden vermeiden, für die Tonerdeeingeschlüsse aus der Aluminium-Desoxidation ursächlich sind.

Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, einen Stahl zu schaffen, der einen höheren Reinheitsgrad als herkömmliche Radreifen-Stähle besitzt und daher weniger empfindlich gegen Ermüdungsrisse ist.

Die Lösung dieses Problems basiert auf dem Gedanken, auf die herkömmliche Aluminium-Desoxidation zu verzichten und den Stahl, vorzugsweise einen stranggegossenen Stahl, stattdessen im Vakuum über eine CO-Bildung zu desoxidieren, um so den Sauerstoffgehalt auf höchstens 0,0015%, vorzugsweise höchstens 0,0010% zu verringern. Dabei sollte der Aluminiumgehalt 0,003%, vorzugsweise 0,002% nicht übersteigen und der Stahl im Längsschliff senkrecht zur Lauffläche nach DIN 50 602 K-Werte von höchstens 1, vorzugsweise von 0 besitzen.

Der erfindungsgemäß tonerdefreie, im Vakuum desoxidierte Stahl enthält 0,4 bis 0,7% Kohlenstoff, 0,20 bis 0,50% Silizium, 0,60 bis 1,30% Mangan, bis 0,30% Chrom, höchstens 0,025% Phosphor und höchstens 0,025% Schwefel; er ist vorzugsweise titanfrei, da das Titan unerwünschte scharfkantige Karbonnitride bildet, die zu Ermüdungsschäden führen können.

Der erfindungsgemäße tonerdefreie Radreifen-Stahl kann jedoch auch 0,60 bis 0,80% Kohlenstoff, 0,50 bis 1,20% Silizium, 0,80 bis 1,30% Mangan, höchstens 0,025% Phosphor und 0,40 bis 1,50% Chrom oder auch bis 0,08% Molybdän und/oder Vanadium enthalten.

Die Zusammensetzung des Stahles kann über die genannten Legierungsgehalte hinaus verändert werden, um besondere Eigenschaften einzustellen wie z. B. eine erhöhte Ac1- oder Martensittemperatur, eine erhöhte Rißzähigkeit und eine verminderte Rißfortschrittsgeschwindigkeit oder um bestimmte Gefügestände nach Normalgleichung oder Vergütung zu erreichen. Die tonerdefreie Desoxidation wird davon nicht betroffen.

All diese Stähle eignen sich im vakuumbehandelten Zustand als Werkstoff für rollendes Eisenbahnzeug wie Räder, Radreifen und -scheiben. Die jeweilige Stahlzusammensetzung muß auf die jeweilige Zielgröße abgestimmt sein, wie es z. B. die UIC-Normen 810-1 und 812-3 für Radreifen und Vollräder vorgeben (vgl. Tabelle 24.3).

Der erfindungsgemäße Radreifen-Stahl besitzt die Verschleißfestigkeit herkömmlicher Stähle und aufgrund seiner Reinheit eine hohe Beständigkeit gegen Ermüdungsrisse. Dies zeigen Biegewechselversuche, die unter Verwendung von drei Stählen entsprechend Tabelle 1, Rest Eisen, an Proben durchgeführt wurden, deren Lage und Beschaffenheit sich aus der Zeichnung ergibt. In der Zeichnung zeigen:

**Fig. 1** Die Probenlage in einem Radlängsschnitt und

Fig. 2 im Radquerschnitt nach der Linie I - I in Fig. 1 sowie

Fig. 3 die Probenform.

Tabelle I

							Zustand	Zugfestigkeit	Biege-wechselfestigkeit	KZ
								[N/ mm <sup>2</sup> ]		
Nr.	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)				
1.	0,46	0,35	0,92	0,032	0,019	0,025	N <sup>1)</sup>	695	230	8
2.	0,53	0,30	0,70	0,022	0,017	0,020	N	820	275	10
3.	0,52	0,36	0,74	0,020	0,021	0,021	S <sup>2)</sup>	920	340	15
4.	0,47	0,32	0,91	0,020	0,020	0,002	N	697	270(+17%)	0
5.	0,52	0,33	0,72	0,018	0,019	0,001	N	815	335(+22%)	0
6.	0,54	0,36	0,72	0,022	0,018	0,001	S	918	390(+15%)	1

1) normalgeglüht

2) radkranzvergütet

Die Daten der einzelnen Versuche einschließlich des oxidischen Reinheitsgrades K2 von Längsproben sind in der Tabelle zusammengestellt; sie belegen eine deutliche Steigerung der Biege-wechselfestigkeit der erfindungsgemäßen Stähle 4 und 5 im Vergleich zu den herkömmlichen Stählen 1 bis 3 um etwa 15 bis 22%. Um bei herkömmlichen Stählen eine derartige Steigerung der Biege-wechselfestigkeit zu erreichen, müßte - durch legierungstechnische Maßnahmen - deren Zugfestigkeit um etwa 18% erhöht werden. Das wäre jedoch mit einem erheblichen Verlust an Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit verbunden, da sich eine Erhöhung der Zugfestigkeit nur auf Kosten der Zähigkeit und der Thermoschockbeständigkeit erreichen läßt.

Bei den erfindungsgemäßen Stählen folgt die höhere Biege-wechselfestigkeit als Indikator für die Beständigkeit gegen Ermüdungsrisse jedoch aus dem weitestgehenden Kehlen von Tonerde-einschlüssen und der mit ihnen verbundenen Kerbwirkung sowie den sie umgebenden Zugspannungsfeldern, die aus der Abkühlung von Umform- und Wärmebehandlungstemperaturen resultieren.

Weniger schädlich sind hingegen Silikate und Sulfide aufgrund ihrer geringeren Kerbwirkung; sie sind wegen ihrer größeren Plastizität und ihrer größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten auch nicht von Eigenspannungsfeldern umgeben.

Bei der Verwendung des erfindungsgemäßen Stahls als Radreifenwerkstoff fallen die ansonsten mit Tonerde-einschlüssen verbundenen Spannungsspitzen fort, die aufgrund der aus der Rollbeanspruchung resultierenden Schubspannungen an und unter der Lauffläche Ausgangsstellen für Ermüdungsrisse sind.

Da die Aluminium-Desoxidation erfindungsgemäß entfällt, kann es sich empfehlen, zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit und zur Verbinderung eines wärmebedingten Kornwachstums Stähle mit 0,02 bis 0,05% Niob und/oder 0,02 bis 0,1% Vanadium zu verwenden.

## Patentansprüche

1. Stahl für Eisenbahnräder und Radreifen sowie dynamisch rollbeanspruchte Gegenstände mit bis 0,8% Kohlenstoff, mindestens 0,2% Silizium, mindestens 0,5% Mangan, unter 0,003% Aluminium sowie einem durch Vakuumentgasen auf höchstens 0,0015% eingestellten Sauerstoffgehalt.
2. Stahl nach Anspruch 1 mit 0,4 bis 0,70% Kohlenstoff, 0,20 bis 0,50% Silizium, 0,70 bis 1,20% Mangan und höchstens 0,025% Phosphor, 0,30% Chrom, 0,30% Kupfer, 0,08% Molybdän, 0,30% Nickel, 0,05% Vanadium, Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen.

## EP 0 717 123 A1

3. Stahl nach Anspruch 1 mit 0,4 bis 0,70% Kohlenstoff, 0,20 bis 0,50% Silizium, 0,60 bis 0,90% Mangan und höchstens 0,025% Phosphor, Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen.
- 5 4. Stahl nach Anspruch 1 mit 0,20 bis 0,80% Kohlenstoff, 0,20 bis 1,20% Silizium, 0,60 bis 1,30% Mangan, höchstens 0,025% Phosphor und 0,70 bis 1,20% Chrom, bis 0,40% Molybdän, bis 0,25% Vanadium, bis 0,003% Bor, Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen.
5. Stahl nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit 0,02 bis 0,05% Niob und/oder 0,05 bis 0,1% Vanadium.
- 10 6. Verwendung eines Stahls nach einem der Ansprüche 1 bis 5 als Werkstoff für Eisenbahnräder, Radreifen und dynamisch rollbeanspruchte Gegenstände.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

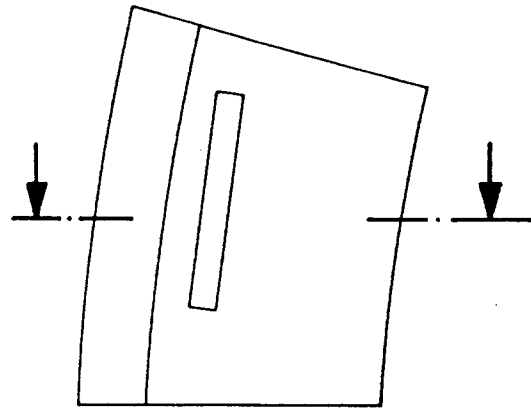


FIG. 1



FIG. 3

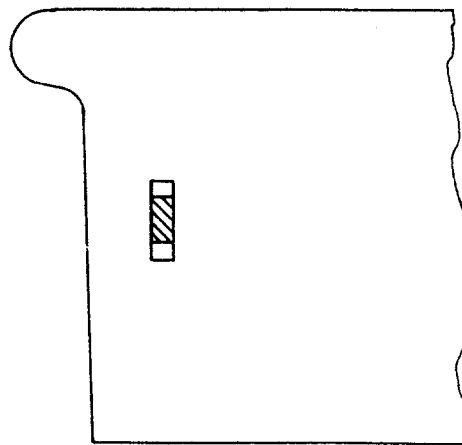


FIG. 2



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 95 11 7665

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	EP-A-0 288 054 (NIPPON STEEL CORP) 26.Oktober 1988 * Anspruch 1; Beispiele 1-9 *	1	C22C38/00
A	DE-C-36 27 650 (KRUPP STAHL AG) 14.Januar 1988 * Ansprüche 1,2 *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016 no. 304 (C-0959) ,6.Juli 1992 & JP-A-04 083821 (NIPPON STEEL CORP) 17.März 1992, * Zusammenfassung *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011 no. 262 (C-442) ,25.August 1987 & JP-A-62 063650 (AICHI STEEL WORKS LTD) 20.März 1987, * Zusammenfassung *	1	
A	EP-A-0 624 658 (SUMITOMO METAL IND) 17.November 1994 * Anspruch 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) C22C
A	GB-A-1 495 758 (ARMCO STEEL CORP) 21.Dezember 1977 * Anspruch 1 *	1	
A	DE-A-31 11 420 (SCHWEIZERISCHE LOKOMOTIV) 14.Oktober 1982	1-6	
A	FR-A-1 586 315 (AMSTED INDUSTRIES INCORPORATED) 13.Februar 1970 * Anspruch 1 *	1-6	
		-/--	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 3.April 1996	Prüfer Gregg, N
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (POMC03)



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 95 11 7665

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE		
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch
A	CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 77, no. 4, 24.Juli 1972 Columbus, Ohio, US; abstract no. 23666, OGUCHI, TETSUYA ET AL 'Low-sulfur rail steels' * Zusammenfassung * & JP-A-46 019 419 (SHINNIPPON SEITETSU CO., LTD.)	1
A	--- CHEMICAL ABSTRACTS, vol. 80, no. 10, 11.März 1974 Columbus, Ohio, US; abstract no. 50917, KLISIEWICZ, ZYGMUNT 'Vacuum deoxidation of steel for rails' * Zusammenfassung * & HUTNIK (1973), 40(7), 309-13 CODEN: HUTNAD, 1973 -----	1
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	3.April 1996	Gregg, N
<p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ..... &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>		

EPO FORM 1503 01.82 (P4/C03)