



(11) **EP 1 780 293 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.05.2007 Patentblatt 2007/18

(51) Int Cl.:
C21D 1/00^(2006.01) C21D 1/20^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06022284.1**

(22) Anmeldetag: **25.10.2006**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
• **Robert Frauendorfer**
66119 Saarbrücken (DE)
• **Volker Kinsinger Dr.**
66399 Mandelbachtal (DE)

(30) Priorität: **28.10.2005 DE 102005052069**

(74) Vertreter: **König, Reimar et al**
Lohengrinstraße 11
40549 Düsseldorf (DE)

(71) Anmelder: **Saarstahl AG**
66333 Völklingen (DE)

(54) **Verfahren zum Herstellen von Vormaterial aus Stahl durch Warmverformen**

(57) Bei einem Verfahren zum Herstellen von Vormaterial, beispielsweise von Draht oder Stabmaterial wird ein Stahl mit 0,08 bis 0,25% Kohlenstoff, bis 1% Silizium, 0,5 bis 2,5% Mangan, bis 0,035% Phosphor, bis 0,055% Schwefel, 0,1 bis 1,5% Chrom, 0,1 bis 0,5% Molybdän, 0,2 bis 1,5% Nickel, bis 0,06% Aluminium, 0,0010 bis 0,0060% Bor, jeweils bis 0,040% Titan, Vanadium und Niob. bis 0,5% Kupfer und 0,010% Stickstoff

durch Warmverformen und anschließendes Abkühlen an Luft auf ein martensitisch-bainitisches Gefüge eingestellt. Das auf diese Weise aus der Umformhitze hergestellte Vormaterial besitzt eine hohe Festigkeit und Zähigkeit; eine Wärmebehandlung zum Einstellen der mechanischen Eigenschaften ist daher nicht erforderlich.

EP 1 780 293 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen von Vormaterial aus Stahl, beispielsweise zum Herstellen von Walzdraht und Stabstahl mit hoher Festigkeit und Zähigkeit durch Warmumformen.

[0002] Der Stand der Technik kennt eine Reihe von Verfahren zum Herstellen von Bauteilen aus Stahl mit hoher Festigkeit und hoher Zähigkeit. Ausgehend von Walzdraht oder Stabstahl sind kaltformgebende und warmformgebende Verfahren bekannt.

[0003] Bei der Kaltformgebung werden die mechanischen Eigenschaften über eine Kaltverfestigung beim Umformen eingestellt. Um hohe Festigkeiten zu erzielen, sind hohe Umformgrade erforderlich. Dies geht stark zu Lasten der Zähigkeit, so daß die Kaltformgebung dort an Grenzen stößt, wo die Zähigkeit des Bauteils als Folge der Kaltverfestigung nicht mehr ausreichend ist und sich demgemäß ein ungünstiges Festigkeits-Zähigkeitsverhältnis ergibt.

[0004] Um hohe Festigkeiten und hohe Zähigkeiten zu erzielen, schließt sich der Kaltformgebung daher häufig eine Vergütung, d.h. ein Erwärmen, Abschrecken und Anlassen an. Zum Einsatz kommen hier sogenannte Vergütungsstähle gemäß DIN EN 10083, bei denen sich über die Wärmebehandlung je nach Bauteildicke Festigkeiten über 1000 MPa bei Brucheinschnürungen über 45% einstellen lassen. Das Verhältnis von Streckgrenze zu Festigkeit kann dabei mindestens 0,8 betragen. Nachteilig an dieser Verfahrensweise sind die hohen Kosten für die Wärmebehandlung sowie die Belastung der Umwelt durch den Verbrauch von Energie und Hilfsstoffen.

[0005] Alternativ zu den Vergütungsstählen sind Dualphasenstähle auf der Basis Mangan/Silizium zur Erzeugung kaltverformter Bauteile hoher Festigkeit aus Walzmaterial Stand der Technik. Diese Stähle sind allerdings für einen Einsatz bei geforderten Festigkeiten größer 1000 MPa und hohem Streckgrenzenverhältnis über 0,8 nicht geeignet; sie erfordern zudem zum Einstellen einer bestimmten Ausgangsfestigkeit und Zähigkeit im Vormaterial ein thermomechanisches Warmwalzen und eine auf diese Ausgangsfestigkeit abgestellte Kaltverformung bzw. Kaltverfestigung, um so ein Gefüge aus einer Ferritmatrix mit eingelagerten Martensit- und Perlitinseln einzustellen.

[0006] Hochfeste Bauteile aus Stahl lassen sich, ausgehend von warmgewalztem Vormaterial, beispielsweise Walzdraht oder Stabstahl, außer durch Kaltumformen und gegebenenfalls Vergüten, auch durch Warmformgebung herstellen.

[0007] Auch warmformgebend hergestellte Teile können nach dem Umformen einer Wärmebehandlung zum Einstellen der mechanischen Eigenschaften. Dies ist das klassische Einsatzgebiet von Vergütungsstählen. Da sie jedoch eine zusätzliche Wärmebehandlung erfordern, ergeben sich die bereits angesprochenen hohen Kosten und die Umweltbelastung. Um diese Wärmebehandlung zu vermeiden, ist das Härten aus der Schmiedehitze bekannt. Es erspart das Erwärmen auf Austenitisierungstemperatur und Abschrecken. Niedrig legierte Stähle erfordern aber ein abschließendes Anlassen, um die geforderten Fertigeits-Eigenschaften, insbesondere die notwendige Zähigkeit zu gewährleisten.

[0008] Eine andere Werkstoffvariante, die mit einem Härten aus der Schmiedehitze einhergeht, sind die sogenannten direkthärtenden weichmartensitischen Stähle mit Kohlenstoffgehalten bis 0,1% und angepaßten Gehalten an Chrom, Bor und Mangan, die ohne ein Anlassen auskommen. Diese Stähle enthalten 0,05% Kohlenstoff oder auch in Abwesenheit von Chrom 0,10% Kohlenstoff. Nachteilig an diesen Stählen ist, daß zum Einstellen des martensitischen Gefüges eine hohe Abkühlungsgeschwindigkeit erforderlich ist. Dies erfordert zusätzliche Einrichtungen am Umformaggregat zum Öl- oder Wasserabschrecken, die einen Teil der Kostenersparnis aufzehren. Weiterhin führt die hohe Abkühlungsgeschwindigkeit dazu, daß komplexe Teile oder solche mit großen Wanddicken-Unterschieden zum Verzug neigen und das Gefüge sowie die mechanischen Eigenschaften über den Querschnitt inhomogen sein können.

[0009] Eine ähnliche Entwicklung ging in der Vergangenheit dahin, auch Bauteile mit bainitischem Gefüge direkt aus der Schmiedehitze herzustellen. Das bainitische Gefüge soll die Gefahr von Verzug und Härteunterschieden wie beim Einstellen eines weichmartensitischen Gefüges vermeiden, da für ein bainitisches Gefüge geringere Abkühlungsgeschwindigkeiten ausreichen. So beschreibt die deutsche Offenlegungsschrift 36 28 264 A1 ein Verfahren zum Herstellen von Bauteilen mit hoher Festigkeit und Zähigkeit, beispielsweise von LKW-Achsschenkeln unter Verwendung eines niedrig gekohlten Stahls mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,3%, bei dem die Bauteile, beispielsweise Schmiedeteile von der Verformungstemperatur auf ein bainitisches Gefüge abgekühlt werden. Der Nachteil dabei ist jedoch, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom im allgemeinen lokal unterschiedlichen Querschnitt des Bauteils gezielt gesteuert werden muß. Dafür sind aufwendige, dem jeweiligen Bauteil angepaßte Kühlvorrichtungen erforderlich. Problematisch ist zudem, daß diese Stähle zwar hohe Festigkeiten erreichen, aber nur eine niedrige Streckgrenze. Für Anwendungsfälle, die ein hohes Verhältnis von Streckgrenze zu Zugfestigkeit erfordern, sind diese Stähle daher nicht geeignet.

[0010] Um die Vergütungsstähle und die damit verbundene Wärmebehandlung zu ersetzen, wurden die sogenannten AFP-Stähle, d.h. ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen Stähle entwickelt (beispielsweise nach DIN EN 10267). Diese erhalten ihre mechanischen Eigenschaften durch ein geregeltes Abkühlen aus der Warmformtemperatur und die Ausscheidung von Karbonitriden der Elemente Titan, Vanadium und Niob. Diese Stähle neigen weniger zu Verzug als die Schmiedemartensite oder -bainite. Im Vergleich zu den Vergütungsstählen besitzen sie aber eine niedrigere Streckgrenze und geringere Zähigkeit. Bei Festigkeiten von 800 bis 1000 MPa werden lediglich Streckgrenzen von maximal 600 MPa erreicht. Für die Anwendung im Bereich hoher Belastungen, die Festigkeiten um 1000 MPa bei Streckgrenzen

über 750 MPa erfordern, sind die konventionellen AFP-Stähle daher ungeeignet.

[0011] Eine Weiterentwicklung der AFP-Stähle geht in Richtung Vergütungsstähle mit höherer Festigkeit und höherer Streckgrenze bei guter Zähigkeit. Aktuell sind heute verbesserte Legierungskonzepte im Hinblick auf eine optimale Ausscheidung von Karbonitriden nach Größe und Zusammensetzung.

[0012] So beschreibt die europäische Offenlegungsschrift 1 408 131 A1 einen niedrig gekohlten ausscheidungsgehärtenden ferritisch-perlitischen Stahl mit 0,12 bis 0,45% Kohlenstoff, 0,10 bis 1,00% Silizium 0,50 bis 1,95% Mangan, 0,005 bis 0,060% Schwefel, 0,004 bis 0,050% Aluminium, 0,004 bis 0,050% Titan, bis 0,60% Chrom, bis 0,60% Niob, 0,10 bis 0,40% Vanadium und 0,015 bis 0,040% Stickstoff, Rest einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen Eisen. Dieser Stahl braucht zur Entwicklung seiner mechanischen Eigenschaften lediglich von seiner Umformtemperatur von 950 bis 1250°C mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von mindestens 0,2°C/s, beispielsweise an ruhender Luft abgekühlt zu werden. Um die Ausscheidung der Karbonitride optimal zu steuern, sind jedoch die Analysenvorgaben sowie definierte Parameter beim Aufheizen auf die Umformtemperatur und bei der Abkühlung genau einzuhalten.

[0013] Die Erfindung ist auf ein Verfahren gerichtet, mit dem sich ohne eine Wärmebehandlung eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig hoher Zähigkeit sowie ein hohes Verhältnis von Streckgrenze zu Festigkeit erreichen läßt.

[0014] Erfindungsgemäß läßt sich das bei einem Stahl mit 0,08 bis 0,25% Kohlenstoff, bis 1% Silizium, 0,5 bis 2,5% Mangan, bis 0,035% Phosphor, bis 0,055% Schwefel, 0,1 bis 1,5% Chrom, 0,1 bis 0,5% Molybdän, 0,2 bis 1,5% Nickel, bis 0,06% Aluminium, 0,0010 bis 0,006% Bor, jeweils bis 0,04% Vanadium, Niob und Titan, bis 0,5% Kupfer und bis 0,010% Stickstoff, Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen durch Einstellen eines martensitisch-bainitischen Gefüges durch bloßes Warmverformen und gesteuerte Abkühlung erreichen.

[0015] Dabei sollten die Gehalte an Titan, Vanadium und Niob der Bedingung

$$(\% \text{ Ti}) + (\% \text{ V}) + (\% \text{ Nb}) = 0,001 \text{ bis } 0,2\%$$

genügen. Die genannten Elemente, vorzugsweise Titan, werden zum Abbinden von Stickstoff benötigt. Dies ist erforderlich, damit das Bor härteerhöhend wirksam ist.

[0016] Durch die Legierungszusammensetzung und die Abkühlungsgeschwindigkeit werden die mechanischen Eigenschaften eingestellt. Beim Abkühlen von der Verformungstemperatur von etwa 1000 bis 1300°C stellt sich ein bainitisch-martensitisches Mischgefüge, dessen Anteil an Ferrit und Perlit insgesamt 10% nicht übersteigen sollte. Ein Abkühlen aus der Umformhitze mit Gas, Wasser oder Öl ist möglich, aber nicht erforderlich; um das bainitisch-martensitische Gefüge einzustellen, genügt ein Abkühlen an bzw. mit Luft. Einer Abkühlung mit bewegter Luft ist dabei der Vorzug zu geben, da dies die bevorzugte Mindestabkühlgeschwindigkeit von 0,3°C/s gewährleistet. Die Verwendung von ruhender oder bewegter Luft ist anderen Kühlmitteln vorzuziehen, da die Umwelt dann nicht durch Dämpfe belastet wird, keine zusätzlichen Hilfsstoffe wie Öl oder Gas und keine Entsorgungsaggregate wie Filter, Tanks und Auffangbecken erforderlich sind. Die Abkühlungsgeschwindigkeit sollte im Temperaturbereich zwischen etwa 1000 und 610°C mindestens 0,3°C/s betragen. Der Stahl besitzt dann nach dem Abkühlen von der Endtemperatur des Warmverformens auf Raumtemperatur nicht nur eine hohe Zähigkeit, sondern auch eine hohe Festigkeit. Das Verhältnis von Streckgrenze zu Festigkeit ist ebenfalls hoch.

[0017] Das erfindungsgemäß aus der Verformungshitze abgekühlte Vormaterial ist ohne weiteres für eine Kaltformgebung geeignet. Durch Kaltverfestigung lassen sich Zugfestigkeiten über 1200 MPa bei Streckgrenzen über 1050 MPa erreichen. Das Verhältnis von Streckgrenze zu Festigkeit liegt über 0,85. Die hohe Zähigkeit zeigt sich in Brucheinschnürungswerten von über 40% und Bruchdehnungen über 12%. Die mechanischen Eigenschaften sind also besser als die aus üblichen Stählen oder Dualphasenstählen.

[0018] So ergeben sich nahezu die Eigenschaften der Vergütungsstähle, ohne die Notwendigkeit einer kostenintensiven Wärmebehandlung.

[0019] Das erfindungsgemäß aus der Verformungshitze abgekühlte Vormaterial ist auch wiederum als Vormaterial für eine Warmformgebung geeignet. Bei einem solchen - zweiten - Warmverformen ergeben sich wiederum die originären mechanischen Eigenschaften ohne die Notwendigkeit eines Abschreckens in Wasser oder Öl, wenn die erfindungsgemäßen Abkühlungsbedingungen eingehalten werden. Im Vergleich zu den Schmiedemartensiten ist die Neigung zum Verzug wegen der mildereren Abschreckungsbedingungen geringer. Im Vergleich zu den bainitischen Stählen und den üblichen AFP-Stählen ergeben sich höhere Festigkeiten und insbesondere wesentlich höhere Streckgrenzen. Da dem erfindungsgemäßen Vormaterial eine Ausscheidungshärtung durch Karbonitride nicht festigkeitsbestimmend ist, ergibt sich ein größeres Fenster bei der Einstellung der Analyse und insbesondere bei den Bedingungen der Warmformgebung im Vergleich zu neueren AFP-Stählen.

[0020] Für das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders ein Stahl, der mindestens 0,10% Kohlenstoff, 0,3% Silizium, 1% Mangan, 0,2% Chrom, 0,2% Nickel, 0,2% Molybdän, 0,0015% Bor, 0,014% Titan einzeln oder nebeneinander enthält.

EP 1 780 293 A2

[0021] Des weiteren kann der Stahl - einzeln oder nebeneinander - auch jeweils höchstens 0,24% Kohlenstoff, 2% Mangan, 0,020% Phosphor, 0,045% Schwefel, 1,4% Chrom, 1,4% Nickel, 0,4% Molybdän, 0,05% Aluminium, 0,038% Titan, 0,02% Vanadium, 0,02% Niob, 0,3% Kupfer, 0,005% Bor und 0,010% Stickstoff enthalten.

[0022] Im Rahmen eines Ausführungsbeispiels wurde ein nach dem LD-Verfahren gefrischter Stahl zu Draht mit einem Durchmesser von 15 mm warmgewalzt, aus der Walzhitze an beschleunigter Luft abgekühlt und anschließend auf einen Enddurchmesser von 14 mm kaltgezogen.

[0023] Der Stahl bestand aus

0,205%	Kohlenstoff
0,56%	Silizium
1,62%	Mangan
0,011%	Phosphor
0,01%	Schwefel
0,54%	Chrom
0,32%	Molybdän
0,22%	Nickel
0,03%	Aluminium
0,0038%	Bor
0,036%	Titan
0,002%	Vanadium
0,002%	Niob
0,0044%	Stickstoff,
Rest	Eisen

einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen.

[0024] Das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften des Drahts nach dem Abkühlen aus der Walzhitze mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von 2°C/s unter Verwendung von beschleunigter Luft sowie nach dem Kaltziehen ergeben sich aus der nachfolgenden Tabelle.

Eigenschaften	Walzhart	Gezogen
Zugfestigkeit R _m [MPa]	1180	1230
Streckgrenze R _{p0.2} [MPa]	805	1070
Brucheinschnürung Z [%]	53,6	42
Bruchdehnung A5 [%]	14	14
Streckgrenzenverhältnis	0,72	0,86
Gefügeanteile [%]	Rand Kern	
Martensit	35 bis 50 30 bis 55	
Bainit	Rest Rest	

[0025] Die vorstehenden Daten zeigen, daß das erfindungsgemäße Verfahren ein Material ergibt, das sich sowohl im warmverformten als auch im kaltverformten Zustand durch eine hohe Festigkeit und Zähigkeit sowie ein hohes Streckgrenzenverhältnis auszeichnet und sich wegen des Wegfalls einer Wärmebehandlung kostengünstig und umweltfreundlich herstellen läßt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Vormaterial durch Warmverformen, bei dem ein Stahl mit folgenden Bestandteilen in Gewichtsprozent

0,08 bis 0,25%	Kohlenstoff
bis 1%	Silizium

EP 1 780 293 A2

(fortgesetzt)

5	0,5 bis 2,5%	Mangan
	bis 0,035%	Phosphor
	bis 0,055%	Schwefel
	0,1 bis 1,5%	Chrom
	0,1 bis 0,5%	Molybdän
	0,2 bis 1,5%	Nickel
10	bis 0,06%	Aluminium
	0,0010 bis 0,0060%	Bor
	bis 0,040%	Titan
	bis 0,04%	Vanadium
	bis 0,04%	Niob
15	bis 0,5%	Kupfer
	bis 0,010%	Stickstoff

Rest Eisen einschließlich erschmelzungsbedingter Verunreinigungen von der Verformungstemperatur durch eine gesteuerte Abkühlung auf ein martensitisch-bainitisches Gefüge eingestellt wird.

- 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** die Verwendung eines Stahls mit jeweils höchstens 0,24% Kohlenstoff, 2% Mangan, 0,020% Phosphor, 0,045% Schwefel, 1,4% Chrom, 1,4% Nickel, 0,4% Molybdän, 0,05% Aluminium, 0,038% Titan, 0,02% Vanadium, 0,02% Niob, 0,3% Kupfer, 0,005% Bor und 0,010% Stickstoff einzeln oder nebeneinander.
- 25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** die Verwendung eines Stahls mit mindestens 0,10% Kohlenstoff, 0,3% Silizium, 1,0% Mangan, 0,2% Chrom, 0,2% Molybdän, 0,2% Nickel, 0,0015% Bor, 0,014% Titan einzeln oder nebeneinander.
- 30
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Gehalte des Stahls an Titan, Vanadium und Niob der Bedingung

35

$$(\% \text{ Ti}) + (\% \text{ V}) + (\% \text{ Nb}) = 0,001 \text{ bis } 0,2\%$$

genügen.

- 40
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Stahl beim Abkühlen auf ein martensitisch-bainitisches Gefüge mit höchstens 10% Ferrit und Perlit eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Stahl im Bereich zwischen der Umformtemperatur und 610°C mit mindestens 0,3°C/s abgekühlt wird.
- 45
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Vormaterial kaltverformt wird.
8. Verwendung eines Vormaterials nach den Ansprüchen 1 bis 7 zum Herstellen von hochfestem Draht, Kfz-Fahrgestellteilen und -fahrwerken, Radträgern, Querlenkern, Lenk- und Radzapfen, von Kurbelwellen, Pleuelstangen, Lagern, Stabilisatoren und Verbindungselementen.
- 50
9. Verwendung eines Vormaterials nach den Verfahren der Ansprüche 1 bis 8 zum Herstellen von Schmiedeteilen.

55

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

- DE 3628264 A1 [0009]
- EP 1408131 A1 [0012]