



(11) **EP 1 905 857 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.04.2008 Patentblatt 2008/14

(51) Int Cl.:
C22C 38/18 (2006.01) C22C 38/38 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07116927.0**

(22) Anmeldetag: **21.09.2007**

(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 MT NL PL PT RO SE
SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **29.09.2006 DE 102006046481**

(71) Anmelder: **EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH
53800 Wetter (DE)**

(72) Erfinder: **Dr. Engineer, Serosh
47804, Krefeld (DE)**

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack
Patent- und Rechtsanwälte
Bleichstrasse 14
40211 Düsseldorf (DE)**

(54) **Hochfester Stahl und Verwendungen eines solchen Stahls**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft einen Stahl mit einer hohen Zugfestigkeit, enthaltend (in Gew.-%) C: 0,15 - 0,3 %, Si: 0,1 - 0,5 %, Mn: 0,6 - 1,8 %, Cr: 1,0 - 1,8 %, Mo: 0,10 - 0,50 %, Ni: bis zu 0,50 %, Nb: 0,030 - 0,150 %, Ti: 0,020 - 0,060 %, Al: 0,010 - 0,060 %, N: 0,008 - 0,030 %, P: < 0,030 %, S: < 0,030 %, Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, sowie Verwen-

dungen eines solchen Stahls. Der erfindungsgemäße Stahl erreicht unter Verwendung von kostengünstig erhältlichen Legierungszusätzen und ohne nachträgliche Vergütungsbehandlung über 1100 N/mm² liegende Zugfestigkeitswerte.

EP 1 905 857 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Stahl mit einer hohen Zugfestigkeit und Verwendungen eines solchen Stahls.

[0002] Seitens der Industrie werden für immer höhere mechanische Beanspruchungen von Bauteilen für Maschinen und Motoren kostengünstige Werkstoffe gesucht, die ausgehend von hohen Mittelspannungen steigenden Dauerbelastungen im Zug-Schwell-Bereich ausgesetzt sind. Je höher die Mittelspannung ist, von der die Zug-Schwell-Beanspruchung angelegt wird, desto größer ist die Empfindlichkeit hochfester Stähle gegenüber einer Dauerbeanspruchung. Gerade für Bauteile, die bei hohen Drücken von über 2000 bar beansprucht werden, kommt der Mittelspannungsempfindlichkeit eines Werkstoffes eine große Bedeutung zu. Zudem werden den Werkstoffen eine gute Schweißseignung und eine ausreichende spanabhebende Bearbeitbarkeit abverlangt.

[0003] Aus dem Stand der Technik ist eine ganze Reihe von hochfesten Stählen bekannt. Dazu zählen die in der DIN EN 10084, 10269 oder 10083 genormten Stähle (z. B. die Stähle 30CrNiMo8 (1.6580); 34CrNiMo6 (1.6582), 36CrNiMo4 (1.6511), 18CrNiMo 7-6 (1.6587), 17CrNi6-6 (1.5918), 14NiCrMo13-4 (1.6657)) oder die Stähle 31CrMoV9 (1.8519), 33CrMoV12-9(1.8522) oder 21CrMoV5-7 (1.7709), die unter die DIN EN 10085 fallen. Allerdings sind diese bekannten hochfesten Stähle jeweils mit Nickel, Molybdän bzw. Vanadium legiert.

[0004] Diese Legierungselemente leiden in letzter Zeit unter stark schwankenden Preisen. Aufgrund dieser Preisvolatilität können die Kosten der Herstellung von Bauteilen, die aus Stählen der voranstehend angegebenen Art hergestellt sind, nicht mit der für eine vernünftige kaufmännische Planung notwendigen Sicherheit abgeschätzt werden. Im Ergebnis erweist sich daher die Erzeugung von Bauteilen aus den bekannten Stählen vielfach als unwirtschaftlich.

[0005] Andere Werkstoffe, wie die in der DIN EN 10084 oder 10089 genormten Stähle 51CrV4 (1.8159), 50 CrMo4 (1.7228), 42CrMo4 (1.7225) oder 46SiCrMo6 (1.8062), enthalten zwar hinsichtlich ihrer Preisentwicklung weniger kritische Legierungselemente, besitzen jedoch eine für die hier interessierenden Anwendungen nur unzulängliche Schweißbarkeit.

[0006] Andere Stähle, wie die in der DIN EN 10267 genormten, ein Ferrit-/Perlit-Gefüge aufweisenden so genannten "AFP-Stähle", erreichen die hier geforderte Kombination aus hoher Festigkeit und Bruchverformungskennwerten nicht.

[0007] Ein gemeinsamer Nachteil der bekannten hochfesten Werkstoffe besteht darüber hinaus darin, dass sie nur nach einer zusätzlichen Vergütungsbehandlung das jeweilige Festigkeitsniveau erreichen.

[0008] Ein Stahl mit guten Verformungseigenschaften, der jedoch gleichzeitig auch über eine ausreichende Festigkeit verfügen soll, ist aus der EP 1 264 910 A1 bekannt. Der bekannte Stahl enthält (in Gew.-%) neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen als wesentliche Bestandteile 0,0005 - 0,30 % C, 0,001 - 2,0 % Si und 0,01 - 3,0 % Mn. Zusätzlich kann der bekannte Stahl eine Vielzahl weiterer wahlweise zugegebener Legierungselemente enthalten, um bestimmte Eigenschaften dieses Stahls zu betonen. So können dem bekannten Stahl zur Steigerung seiner Festigkeit auch wahlweise Gehalte an Nb, Ti und V mit einer Summe der Gehalte dieser Elemente 0,001 - 0,5 Gew.-% und 0,001 - 0,20 Gew.-% P sowie 0,0001 - 0,03 Gew.-% N zugegeben werden. Zur Härtesteigerung kann der bekannte Stahl darüber hinaus in Summe 0,001 - <1,5 Gew.-% Cr, Mo, Ni, Co und/oder W enthalten. Bei den gemäß der EP 1 274 910 A1 konkret erprobten Stählen lagen die Cr-Gehalte regelmäßig bei 0,2 Gew.-%, während die Gehalte an Nb regelmäßig 0,02 Gew.-% betragen. Welches Festigkeitsniveau der bekannte Stahl durch die Zugabe der härte- und festigkeitssteigernden Legierungselemente jeweils tatsächlich erreicht hat, geht aus der EP 1 264 910 A1 allerdings nicht hervor.

[0009] Aus der EP 0 725 156 B1 ist ebenfalls ein Stahl mit hoher Dehnbarkeit bekannt, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,15 % - 0,303 % C, ≤ 3 % Si, ≤ 3 % Al, 0,1 % - 4,5 % Mn, < 9 % Ni, ≤ 5 % Cr, ≤ 3 % Mo + W/2, $\leq 0,5$ V, $\leq 0,5$ % Nb, $\leq 0,5$ % Zr und N $\leq 0,3$ % enthält, wobei die Summe der Gehalte an Al und Si mindestens 1 % und höchstens 3 % betragen soll. Zusätzlich kann dieser bekannte Stahl wahlweise 0,0005 % - 0,005 % B, 0,005 % - 0,1 % Ti und gegebenenfalls mindestens eines der Elemente Ca, Se, Te, Bi und Pb jeweils mit Gehalten kleiner als 0,2 % aufweisen. Des Weiteren sollen die Gehalte an C, Mn, Ni, Mo, W und Cr des bekannten Stahls in Abhängigkeit vom B-Gehalt des Stahls näher bestimmt werden. Wie bei dem voranstehend erläuterten Stahl können dabei auch dem in der EP 0 725 156 B1 beschriebenen Stahl neben anderen Legierungselementen Gehalte an Cr, N, Mo, Nb zugegeben werden, um seine Festigkeit zu steigern. Über den Einfluss von Ti auf den bekannten Stahl geht aus der EP 0 725 156 B1 jedoch nichts hervor. Auch findet sich in der EP 0 735 156 B1 kein Ausführungsbeispiel, aus dem sich die Wirkung von Nb, Ti oder N bei dem bekannten Stahl nachvollziehen ließe.

[0010] Schließlich ist aus der EP 0 974 678 B1 ein Verfahren zur Herstellung von Behältern bekannt, die aus einem Stahl bestehen, der neben Eisen und unvermeidbaren Verunreinigungen (in Gew.-%) 0,03 - 0,15 % C, $\leq 0,5$ % Si, 0,4 % - 2,5 % Mn, 0,5 % - 3 % Ni, ≤ 1 % Cr, $\leq 0,5$ % Mo, $\leq 0,07$ % Al, $\leq 0,04$ % Ti, $\leq 0,004$ % B, $\leq 0,02$ % V, $\leq 0,05$ % Nb, ≤ 1 % Cu, $\leq 0,015$ % S, $\leq 0,03$ % P enthält. Die Gehalte an C, Mn, Mo, Cr, Cu und Ni sind dabei in bestimmter Weise so aufeinander abgestimmt, dass eine gute Schweißbarkeit erreicht wird. Um dabei insbesondere im Bereich der Schweißnähte der aus dem bekannten Stahl geformten Behälter eine ausreichend geringe Härte sicherzustellen, soll der Cr-Gehalt des bekannten Stahls bevorzugt unter 0,6 % liegen. Dementsprechend enthalten die in der EP 0 974 678 B1 erläuterten Ausführungsbeispiele jeweils Cr-Gehalte im Bereich von weniger als 0,3 %. Darüber hinaus weist keines dieser Ausführungsbeispiele wirksame Gehalte an Nb, Ti oder N auf, da auch diese Elemente nach den in der EP 0 974

678 B1 zusammengefassten Feststellungen die Härte im Bereich der Schweißnähte unerwünscht hoch ansteigen lassen.

[0011] Vor dem Hintergrund des voranstehend erläuterten Standes der Technik lag der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Stahl zu entwickeln, der unter Verwendung von kostengünstig erhältlichen Legierungszusätzen und ohne nachträgliche Vergütungsbehandlung über 1100 N/mm² liegende Zugfestigkeitswerte erreicht. Darüber hinaus sollten vorteilhafte Verwendungen eines solchen Stahls angegeben werden.

[0012] In Bezug auf den Werkstoff ist diese Aufgabe erfindungsgemäß durch den in Anspruch 1 angegebenen Stahl gelöst worden. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Stahls sind in den auf Anspruch 1 rückbezogenen Ansprüchen angegeben.

[0013] Vorteilhafte, die oben genannte Aufgabe ebenfalls lösende Verwendungen des erfindungsgemäßen Stahls sind beginnend mit Anspruch 12 genannt.

[0014] Ein erfindungsgemäßer Stahl ist durch eine geeignete Wahl der Legierungselemente so zusammengesetzt, dass er nach dem Abkühlen an Luft aus der Warmwalzhitze oder aus der Schmiedehitze in ein feinkörniges, zähes, martensitisches Gefüge umwandelt und auf diesem Wege ohne zusätzliche Wärmebehandlung hohe Zugfestigkeitswerte von mehr als 1100 N/mm² erreicht.

[0015] Zu beachten ist, dass die Unterscheidung der Härtungsgefügeanteile zwischen "Martensit" und "unterem Bainit" in einem feinkörnigen Gefüge unter einem Mikroskop in der Praxis oft schwierig ist. Daher kann häufig nicht ausgeschlossen werden, dass je nach Geschwindigkeit der Abkühlung aus der Warmumformhitze im Gefüge der erhaltenen Stäbe oder des erhaltenen Walzdrahts neben Martensit auch Anteile von unterem Bainit vorliegen, ohne dass dies ohne weiteres erkennbar ist. Sofern dies nicht ausdrücklich ausgeschlossen ist, sind daher nach Verständnis der vorliegenden Erfindung von dem jeweils erwähnten Martensit-Gefügeanteilen eines erfindungsgemäßen Stahls immer auch eventuell neben dem Martensit-Anteil zusätzlich vorhandene Anteile an unterem Bainit umfasst, ohne dass es dazu einer ausdrücklichen Erwähnung bedarf.

[0016] Praktische Untersuchungen haben ergeben, dass im Rahmen der erfindungsgemäßen Legierungsvorschrift zusammengesetzte Stähle regelmäßig Zugfestigkeiten erreichen, die mindestens 1200 N/mm² betragen, insbesondere bei über 1250 N/mm² liegen. Gleichzeitig weisen die erfindungsgemäß beschaffenen Stähle hohe Bruchverformungskennwerte auf, die unter anderem durch eine mehr als 30 %, insbesondere mehr als 35 %, betragende, eine hohe Duktilität kennzeichnende Brucheinschnürung gekennzeichnet sind. Gleichzeitig weisen erfindungsgemäß zusammengesetzte Stähle unter schwingender Beanspruchung eine hohe Dauerwechselfestigkeit im Zug-Schwell-Bereich mit einer geringen Mittelspannungsempfindlichkeit auf.

[0017] Das Gefüge des erfindungsgemäßen Stahls kann durch Wahl einer geeigneten Abkühlgeschwindigkeit zwischen einem im Wesentlichen rein martensitischen bzw. martensitischen, Anteile von unterem Bainit umfassenden und einem ferritisch-bainitisch-martensitischen Gefüge variiert werden. So stellt sich bei über 0,5 K/s liegenden Abkühlraten zwischen 800 und 500 °C zuverlässig ein vollständig martensitisches Gefüge oder ein Gefüge mit Martensit und unterem Bainit ein, während bei darunter liegenden Abkühlraten der Bainit-Anteil im Gefüge zunimmt und erst bei noch langsameren Abkühlungsgeschwindigkeiten von unter 0,2 K/s Ferritanteile im Gefüge auftreten.

[0018] Dem folgend lässt sich beispielsweise durch ein thermomechanisches Warmumformen (Walzen oder Schmieden) des erfindungsgemäßen Stahls zu Draht oder Stabstahl und einer anschließenden kontrollierten Abkühlung im Temperaturbereich zwischen 800 und 500 °C mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von rd. 0,05 K/s ein Duplex-Gefüge erzeugen, das zu 15 - 30 % aus Ferrit und zu 70 - 85 % aus Martensit (einschl. unterem Bainit) besteht.

[0019] Soll dagegen ein im Wesentlichen martensitisches Gefüge mit Anteilen von unterem Bainit erhalten werden, so kann dazu das warmumgeformte Halbzeug von Umformtemperaturen zwischen 950 und 1100 °C bis zu einem Querschnittsäquivalent von 2830 mm² an Luft abgekühlt werden.

[0020] Der C-Gehalt eines erfindungsgemäßen Stahls beträgt mindestens 0,15 Gew.-%, um die Schweißbarkeit und die Duktilität des eingestellten Härtungsgefüges sicherzustellen. Auf diese Weise wird auch ohne ein nachträgliches Anlassen des Gefüges eine gute Kombination von hoher Festigkeit und Duktilität erreicht.

[0021] Gleichzeitig ist der C-Gehalt auf maximal 0,3 Gew.-% beschränkt, um die Bildung von Heißrissen nach dem Schweißen und eine übermäßige Verzerrung der tetragonalen Gefügestruktur des Martensits zu vermeiden. Letzteres führt zu einer Verringerung der Duktilitätseigenschaften im nicht angelassenen Zustand.

[0022] Der Si-Gehalt eines erfindungsgemäßen Stahls liegt im Bereich von 0,1 - 0,5 Gew.-%, um eine zusätzliche Verfestigung der Stahlmatrix zu vermeiden und somit den Duktilitätsabbau im nicht angelassenen Zustand gering zu halten.

[0023] Mn ist in einem erfindungsgemäßen Stahl in Gehalten von mindestens 0,6 Gew.-% vorhanden, um eine ausreichende Härtbarkeit des Stahles mit Hilfe dieses preiswerten Legierungselements zu erreichen. Mehr als 1,8 Gew.-% sollen in erfindungsgemäßen Stahl nicht vorhanden sein, da andernfalls eine übermäßige Seigerung dieses Legierungselementes eintreten kann, welche die Kombination von Festigkeit und Duktilität beeinträchtigen würde. Optimal ist die erfindungsgemäß genutzte Wirkung von Mn in erfindungsgemäßen Stahl, wenn der Mn-Gehalt 1,6 - 1,8 Gew.-% beträgt.

[0024] Der Anwesenheit von Cr in Gehalten von 1,0 - 1,8 Gew.-% kommt beim erfindungsgemäß legierten Stahl eine

besondere Bedeutung zu. Durch Cr wird eine Erhöhung der Härbarkeit des Stahles erreicht, ohne die Temperatur der Umwandlung in die Martensitstufe (auch die Martensit-StartTemperatur "Ms" genannt) wesentlich zu verändern. Damit wird ein Selbstanlasseeffekt des Härungsgefüges infolge der Abkühlung von den Warmumformtemperaturen erzielt, was dem erfindungsgemäßen Stahl eine gute Kombination von hoher Festigkeit und Duktilität nach dem Abkühlen von den Warmumformtemperaturen ohne eine weitere Anlassbehandlung verleiht. Besonders sicher lässt sich diese Wirkung dann erzielen, wenn der Cr-Gehalt 1,5 - 1,8 Gew.-%, insbesondere 1,5 - 1,7 Gew.-%, beträgt.

[0025] Mo ist in einem erfindungsgemäßen Stahl in Gehalten von 0,10 - 0,50 Gew.-% vorhanden, um den Umwandlungsbereich in der Martensit- und der unteren Bainitstufe zu erweitern. Mit dieser Maßnahme lassen sich größere Halbzeugabmessungen mit den gewünschten Gefügebestandteilen einstellen, die die erfindungsgemäß erzielten Festigkeits- und Duktilitätskennwerte bedingen. Bei Gehalten von weniger als 0,1 Gew.-% tritt diese Wirkung nicht in dem gewünschten Maß ein, während Gehalte von über 0,5 Gew.-% zu keiner wesentlichen Verbesserung der Eigenschaften führen, sondern den erfindungsgemäßen Stahl lediglich unnötig verteuern würden. Besonders sicher tritt die erfindungsgemäß genutzte Wirkung von Molybdän ein, wenn der Mo-Gehalt im Bereich von 0,2 - 0,4 Gew.-% liegt.

[0026] Erfindungsgemäßer Stahl kann bis zu 0,50 Gew.-% Nickel enthalten, um die Duktilität der Stahlmatrix zu fördern. Bei höheren Gehalten an Ni treten keine für das erfindungsgemäß geforderte Eigenschaftsprofil wesentlichen Verbesserungen des erfindungsgemäßen Stahls auf. Deshalb soll der Ni-Gehalt von erfindungsgemäßigem Stahl bevorzugt maximal 0,2 Gew.-% betragen.

[0027] Der Anwesenheit von Nb in Gehalten von 0,030 - 0,150 Gew.-% kommt ebenfalls eine besondere Bedeutung zu. So wird bei einem Mindestgehalt von 0,030 Gew.-% Nb einerseits eine Verfeinerung des Gefüges erreicht. Andererseits erweitern geringe in der Stahlmatrix gelöste Niobanteile den Umwandlungsbereich der Martensit- / unteren Bainitstufe. Gleichzeitig sollten nicht mehr als 0,150 Gew.-% Nb in erfindungsgemäßigem Stahl vorhanden sein, um eine übermäßige Ausscheidung von Niobverbindungen auf den Korngrenzen während des Abkühlens von den Warmumformtemperaturen zu vermeiden. Optimierte Wirkungen von Nb in erfindungsgemäßigem Stahl werden dann erreicht, wenn der Nb-Gehalt 0,08 - 0,12 Gew.-% beträgt.

[0028] Ti ist in erfindungsgemäßigem Stahl in Gehalten von 0,020 - 0,060 Gew.-% vorhanden, um bei höheren Temperaturen die Feinkörnigkeit des Gefüges zu sichern. Besonders sicher wird diese Wirkung dann erreicht, wenn der Ti-Gehalt des erfindungsgemäßen Stahls 0,025 - 0,045 Gew.-% beträgt.

[0029] Al wird erfindungsgemäßigem Stahl zum Zwecke der Desoxidation in Gehalten von 0,010 - 0,060 Gew.-% zugegeben.

[0030] N wird erfindungsgemäßigem Stahl in Gehalten von 0,008 - 0,030 Gew.-% zugegeben, um die Bildung von Niob- und Titanitriden zu ermöglichen. Die Ausscheidungen von Niob- und Titanitriden sind sehr wirksam für die Kornverfeinerung.

[0031] Der in erfindungsgemäßigem Stahl vorhandene P-Gehalt wird auf weniger als 0,030 Gew.-% festgelegt. Bei höheren P-Gehalten ist mit einer Beeinträchtigung der Duktilitätseigenschaften zu rechnen.

[0032] Bei höheren S-Gehalten könnten die Mangansulfide im erfindungsgemäßen Stahl zu stark gestreckt werden und potentielle Bruchstellen der aus dem erfindungsgemäßen Stahl geformten Bauteile bilden. Diese Gefahr gilt es insbesondere dann zu vermeiden, wenn aus erfindungsgemäßigem Stahl hochfeste druckdichte Bauteile hergestellt werden. Daher ist der S-Gehalt des erfindungsgemäßen Stahles auf maximal 0,030 Gew.-% beschränkt.

[0033] Erfindungsgemäß zusammengesetzter Stahl weist nach dem Warmwalzen oder Warm Schmieden mit anschließendem Abkühlen an ruhender Luft ein feinkörniges zähes martensitisches Gefüge auf. Dies gilt insbesondere dann, wenn die in den auf Anspruch 1 rückbezogenen, jeweils als besonders günstig angesehenen Legierungsbereiche für Mn, Cr, Mo, Nb, Ti und Ni eingehalten werden.

[0034] Erfindungsgemäßer Stahl eignet sich aufgrund seines feinkörnigen, zähen Martensit enthaltenden Gefüges für druckdichte Bauteile für Dieseleinspritzsysteme, die bei Drücken bis zu 3000 bar beansprucht werden.

[0035] Des Weiteren lassen sich aus erfindungsgemäßigem Stahl Bauteile erzeugen, die einer Randschichthärtung, insbesondere durch Autofrettage, unterzogen werden.

[0036] Die niedrige Mittelspannungsempfindlichkeit erfindungsgemäßen Stahls macht erfindungsgemäßigem Stahl darüber hinaus auch für die Herstellung von Bauteilen besonders geeignet, die schwingend im Zug-Schwell- und im Zug-Druck-Bereich beansprucht werden. Bauteile dieser Art werden insbesondere im Bereich der Automobilindustrie oder allgemein im Bereich des Baus von Verbrennungsmotoren benötigt.

[0037] Aufgrund seines besonderen Eigenschaftsspektrums und seiner vergleichbar niedrigen, gut verlässlich abschätzbaren Herstellkosten sind erfindungsgemäße Stähle des Weiteren besonders geeignet für die Herstellung von hochfesten Bauteilen, wie Anschlagketten, Kettenschlösser, Bergbauketten und Ketten zur Sicherstellung von Motor- und Fahrrädern, oder für die Herstellung von Befestigungselementen, wie Schrauben und Muttern.

[0038] Auch lassen sich aus erfindungsgemäßigem Stahl bevorzugt kaltumgeformte, hochfeste Automobilbauteile, insbesondere Stabilisatoren oder Bauteile mit federähnlichen Charakteristiken, erzeugen.

[0039] Ebenso können aus erfindungsgemäßigem Stahl Bauteile hergestellt werden, die oberflächenbehandelt werden. Die Oberflächenbehandlung kann dabei als Einsatzhärten, Nitrieren, Nitrocarburieren oder als Laserstrahlbehandlung

durchgeführt werden. Bei den entsprechend behandelten Gegenständen kann es sich insbesondere um verschleißbeständige, druckdichte Bauteile handeln, die unter schwingender Beanspruchung auch bei Betriebstemperaturen bis 450 °C eingesetzt werden.

[0040] Eine andere erfindungsgemäße Verwendung eines erfindungsgemäßen Stahls besteht in Flachprodukten, die im Gesenk geschlagen und an Luft abgelegt sind. Bei einem solchen Flachprodukt kann es sich beispielsweise um die B-Säule einer Automobilkarosserie handeln.

[0041] Ebenso eignet sich erfindungsgemäßer Stahl besonders für die Herstellung von warmumgeformten und an Luft abgelegten Rohren und Flachstäben, die beispielsweise als Verstärkung von Türen gegen den Seitenaufprall in Personen- und Nutzfahrzeugen eingesetzt werden.

[0042] Auch lassen sich erfindungsgemäße Stähle besonders gut in allgemeiner Form zur Herstellung von warm- oder kaltumgeformten, hochfesten und im allgemeinen Maschinenbau eingesetzten Bauteilen verwenden.

[0043] Kaltgepilgerte Rohre oder kaltgewalzte Flachstäbe mit erhöhter Festigkeit lassen sich ebenso gut aus erfindungsgemäßen Stählen erzeugen. Dasselbe gilt für die Herstellung von Pistolen- und Gewehrläufen sowie Pistolen- und Gewehrverschlüssen aus erfindungsgemäßen Stählen.

[0044] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0045] In der Tabelle 1 ist beispielhaft eine Zusammensetzung eines erfindungsgemäßen Stahls angegeben. Dieser Stahl ist erschmolzen, zu einem Vorkblock im Strang vergossen und zu Stäben und Draht warmgewalzt worden. Anschließend sind verschiedene Proben dieses Stahls unterschiedlich schnell abgekühlt worden.

[0046] Die durchgeführten Untersuchungen haben für erfindungsgemäß legierte Stähle folgende Feststellungen ergeben:

- Bei einer von der Austenitisierungstemperatur ausgehenden Abkühlungsgeschwindigkeit von 1 bis 3 K/s wird eine relativ einheitliche Härte von rd. 460 HV erreicht, die einer Zugfestigkeit von umgerechnet 1485 N/mm² entspricht. Die genannte Abkühlungsgeschwindigkeit entspricht dem Abkühlen von Rundstäben mit einem Durchmesser von 10 bis etwa 30 mm an Luft.
- Bei einer von der Austenitisierungstemperatur ausgehenden relativ langsamen Abkühlungsgeschwindigkeit von 0,5 K/s wird ein martensitisches Gefüge erreicht. Diese Abkühlungsgeschwindigkeit entspricht dem Abkühlen von einem 70 mm Rundstab an ruhender Luft. In diesem Zustand ergibt sich eine Härte von 425 HV, die umgerechnet einer Zugfestigkeit von rd. 1370 N/mm² entspricht.
- Bei noch langsamerer Abkühlungsgeschwindigkeit von 0,2 K/s wandelt der Stahl in etwa 98 % Martensit mit einem minimalen Anteil von 2 % Ferrit um. Diese Abkühlungsgeschwindigkeit entspricht dem Abkühlen an ruhender Luft von einem 130 mm Rundstab. Die Härte in diesem Zustand liegt um 425 HV (rd. 1300 N/mm²).
- Bei einer von der Austenitisierungstemperatur ausgehenden Abkühlungsgeschwindigkeit von 0,05 K/s wird ein "Duplexgefüge" von rd. 16 % Ferrit und 84 % Martensit mit einer Härte von 360 HV (umgerechnet eine Festigkeit von rd. 1155 N/mm²) eingestellt. Dieses Mischgefüge ist für bestimmte Anwendungen, bei denen eine Randschichtverfestigung z. B. durch Autofrettage vorgenommen wird, sehr vorteilhaft.
- Die Temperatur für die Martensitumwandlung liegt bei rd. 370 °C. Nach dem Umwandeln in die Martensitstufe bei dieser Temperatur ergibt sich bei der anschließenden Abkühlung ein Selbstanlasseffekt. Dieser Selbstanlasseffekt führt zu einer Erhöhung der Zähigkeit des umgewandelten Martensites.
- Ein weiterer Vorteil ist, dass der Beginn der Umwandlung in die Austenitstufe (Ac1b-Temperatur von 739 °C) so hoch liegt, dass dieser Werkstoff durchaus auf unterschiedliche Festigkeiten nach dem Herstellen des Bauteiles angelassen werden kann. Somit ergibt sich ein vielfältiges Spektrum für die Anwendung dieses Stahles bei unterschiedlichen Festigkeiten je nach Bauteilanforderung, ausgehend von einem sehr geeigneten Basisgefüge bestehend aus feinkörnigem und zähem Martensit.

[0047] In Bild 1 ist das Gefüge des gemäß Tabelle 1 zusammengesetzten erfindungsgemäßen Stahles bei bestimmten Abkühlungsgeschwindigkeiten wiedergegeben. Es handelt sich um ein martensitisches Gefüge, das sehr feinkörnig ausgebildet ist.

[0048] Die Festigkeitskennwerte von zwei aus dem erfindungsgemäß gemäß Tabelle 1 zusammengesetzten Stahl erzeugten, jeweils mit einer Abkühlrate von 0,5 K/s abgekühlten Proben 1 und 2 sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Mit ihrem feinkörnigen, martensitischen Gefüge haben diese Proben Festigkeitswerte von rd. 1480 bis 1500 N/mm² in Verbindung mit überraschend hohen Brucheinschnürungswerten von rd. 45 % erreicht.

[0049] Der erfindungsgemäße Stahl wandelt also durch geeignete Abkühlung von der Austenitisierungstemperatur in

EP 1 905 857 A2

die Martensitstufe um und erreicht eine unerwartet gute Kombination von Festigkeit und Bruchverformungskennwerten (Duktilität) wegen der Feinkörnigkeit des Gefüges und des Selbstanlasseffektes während des Abkühlprozesses. Somit können Bauteileigenschaften ohne weitere nachträgliche Wärmebehandlungen eingestellt werden.

Tabelle 1

Element	Gehalt in [Gew.-%]
C	0,22
Si	0,24
Mn	1,69
P	0,020
S	0,020
Cr	1,66
Mo	0,32
Nb	0,10
Ti	0,03
Al	0,020
N	0,017
Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen	

Tabelle 2

Stahl	Wärmebehandlung	R _{p0,2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	Einschnürung [%]
Probe 1	870°C / 0,5K/s	1290	1496	45
Probe 2	870°C / 0,5K/s	1326	1484	46

Patentansprüche

1. Stahl mit einer hohen Zugfestigkeit, enthaltend (in Gew.-%)

C: 0,15 - 0,3 %,
 Si: 0,1 - 0,5 %,
 Mn: 0,6 - 1,8 %,
 Cr: 1,0 - 1,8 %,
 Mo: 0,10 - 0,50 %,
 Ni: bis zu 0,50 %,
 Nb: 0,030 - 0,150 %,
 Ti: 0,020 - 0,060 %,
 Al: 0,010 - 0,060 %,
 N: 0,008 - 0,030 %,

P: < 0,030 %,

S: < 0,030 %,

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen.

2. Stahl nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cr-Gehalt 1,5 - 1,8 Gew.-% beträgt.

3. Stahl nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** sein Cr-Gehalt 1,5 - 1,7 Gew.-% beträgt.

EP 1 905 857 A2

4. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sein Mn-Gehalt 1,6 - 1,8 Gew.-% beträgt.
- 5 5. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sein Mo-Gehalt 0,2 - 0,4 Gew.-% beträgt.
6. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sein Nb-Gehalt 0,08 - 0,12 Gew.-% beträgt.
- 10 7. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sein Ti-Gehalt 0,025 - 0,045 Gew.-% beträgt.
8. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sein Ni-Gehalt max. 0,2 Gew.-% beträgt.
- 15 9. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass er eine Zugfestigkeit von mindestens 1200 N/mm² aufweist.
- 20 10. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass er eine Brucheinschnürung von mindestens 30 % aufweist.
- 25 11. Stahl nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass er ein ferritisch-martensitisches Duplex-Gefüge mit einem Ferrit-Gehalt von 15 - 30 % und einem Martensit-Gehalt von 70 - 85 % aufweist.
12. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für druckdichte Bauteile für Dieseleinspritzsysteme, die bei Drücken bis zu 3000 bar beansprucht werden.
- 30 13. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für Bauteile, die einer Randschicht-
härtung unterzogen werden.
14. Verwendung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Randschichthärtung durch Autofrettage erzielt wird.
- 35 15. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für Bauteile, die schwingend im Zug-Schwell- und im Zug-Druck-Bereich beansprucht werden.
- 40 16. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für hochfeste Bauteile, wie Anschlagketten, Kettenschlösser, Bergbauketten sowie Ketten zur Sicherstellung von Motor- und Fahrrädern.
17. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für die Herstellung von Befestigungselementen, wie Schrauben und Muttern.
- 45 18. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für die Herstellung von kaltumgeformten, hochfesten Automobilbauteilen insbesondere Stabilisatoren oder Bauteilen mit federähnlichen Charakteristiken.
- 50 19. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für Bauteile, die oberflächenbehandelt, wie einsatzgehärtet, nitriert, nitrocarburiert oder mit Laserstrahl behandelt werden und für verschleißbeständige, druckdichte Bauteile unter schwingender Beanspruchung bestimmt sind.
20. Verwendung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bauteile bei Betriebstemperaturen bis 450 °C eingesetzt werden.
- 55 21. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für Flachprodukte, die im Gesenk geschlagen und an Luft abgelegt sind.
22. Verwendung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei dem Flachprodukt um die B-Säule

einer Automobilkarosserie handelt.

23. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für warmumgeformte und an Luft abgelegte Rohre oder Flachstäbe.

5 24. Verwendung nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohre oder Flachstäbe als Verstärkung der Türen gegen den Seitenaufprall in Personen- und Nutzfahrzeugen eingesetzt werden.

10 25. Verwendung eines gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 beschaffenen Stahles für die Herstellung von warm- oder kaltumgeformten, hochfesten und im allgemeinen Maschinenbau eingesetzten Bauteilen.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

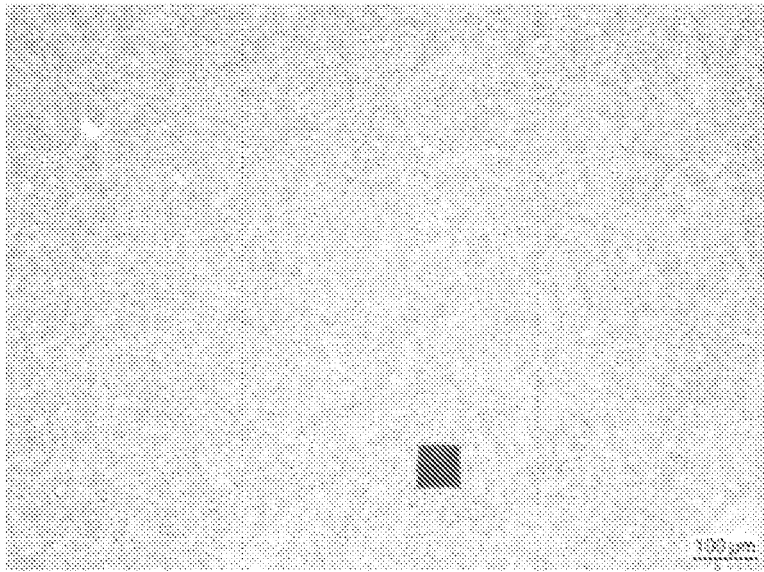


Bild 1: Typisches Gefüge (100 % feinkörniger Martensit) des erfindungsgemäßen Stahles nach Tafel 1 nach dem Abkühlen bei Geschwindigkeiten von 0,5 K/s bis 50 K/s

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1264910 A1 [0008] [0008]
- EP 1274910 A1 [0008]
- EP 0725156 B1 [0009] [0009] [0009]
- EP 0735156 B1 [0009]
- EP 0974678 B1 [0010] [0010] [0010]