

(19)



(11)

EP 2 535 430 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
19.12.2012 Patentblatt 2012/51

(51) Int Cl.:
C21D 1/18 (2006.01) **C21D 7/13** (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01) **C22C 38/46** (2006.01)
C22C 38/48 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11008259.1**

(22) Anmeldetag: **07.10.2011**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Hippenstiel, Frank, Dr.**
57080 Siegen (DE)
• **Vetter, Peter**
35789 Weilmünster (DE)

(30) Priorität: **15.06.2011 EP 11004855**
25.06.2011 EP 11006269

(74) Vertreter: **Erb, Henning**
Hanauer Landstraße 126-128
60314 Frankfurt am Main (DE)

(71) Anmelder: **Buderus Edelstahl GmbH**
35576 Wetzlar (DE)

(54) **Werkzeugstahl für höher beanspruchte Warmumformungswerkzeuge sowie dessen Herstellungsprozess**

(57) Die Erfindung betrifft einen Werkzeugstahl für höher beanspruchte Warmumformwerkzeuge. Um Warmfestigkeit und Zähigkeit vorteilhaft derart zu kombinieren, dass ein wirtschaftlicher Einsatz des Stahles bei Temperaturen von 200 bis 600 °C möglich ist, wird folgende Zusammensetzung vorgeschlagen:
Kohlenstoff: 0,28 bis 0,40 Massen-%,
Silizium: 0,03 bis 0,50 Massen-%,

Mangan: 0,03 bis 0,70 Massen-%,
Chrom: 2,00 bis 3,5 Massen-%,
Nickel: 0,30 bis 1,00 Massen-%,
Molybdän: 0,60 bis 1,60 Massen-%,
Vanadium: 0,15 bis 0,35 Massen-%,
Wolfram: 0,001 bis 1,00 Massen-%,
Niob: 0,01 bis 0,10 Massen-% und einem Rest aus Eisen und
üblichen, herstellungsbedingten Verunreinigungen.

Lfd. Nr.	Kurzname	Werkstoff Nr.	Chemische Zusammensetzung Hauptbestandteile (Massen-%)												
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Co	Nb	
Erfindungsgemäßer Stahl gemäß Hauptanspruch															
1	CrMoNiV-Warmarbeitsstahl		0,28-0,40	0,03-0,50	0,03-0,70	-	-	2,00-3,50	0,30-1,00	0,60-1,50	0,15-0,35	0,01-1,00	-	0,01-0,10	
Gebräuchliche Warmarbeitsstähle für Werkzeuge (nach Stahl-Eisen-Liste)															
Gruppe I: nickellegierte NiCrMo und NiCrMoV-Warmarbeitsstähle															
2	55NiCrMoV7	1.2714	0,50-0,60	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,030	0,80-1,20	1,50-1,80	0,35-0,55	0,05-0,15	-	-	-	
3	57NiCrMoV7-7	1.2744	0,50-0,60	0,15-0,35	0,60-0,80	≤ 0,035	≤ 0,035	0,90-1,20	1,50-1,80	0,70-0,90	0,07-0,12	-	-	-	
4	45NiCrMoV16-6	1.2746	0,41-0,49	0,15-0,35	0,60-0,80	≤ 0,025	≤ 0,020	1,40-1,60	3,80-4,20	0,73-0,85	0,45-0,55	-	-	-	
5	28NiMo17	1.2747	0,24-0,31	0,15-0,35	0,20-0,40	≤ 0,030	≤ 0,030	0,30-0,50	4,20-4,70	1,15-1,25	0,15-0,20	-	-	-	
6	35NiCrMo16	1.2766	0,32-0,38	0,15-0,30	0,40-0,60	≤ 0,035	≤ 0,035	1,20-1,50	3,80-4,30	0,20-0,40	-	-	-	-	
7	45NiCrMo16	1.2767	0,40-0,50	0,10-0,40	0,20-0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	1,20-1,50	3,80-4,30	0,15-0,35	-	-	-	-	
Gruppe II: CrMoV-legierte Warmarbeitsstähle															
8	X37CrMoV5-1	1.2343	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,50	-	1,10-1,50	0,30-0,50	-	-	-	
9	X40CrMoV5-1	1.2344	0,35-0,42	0,80-1,20	0,25-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,50	-	1,20-1,50	0,85-1,15	-	-	-	
10	32CrMoV12-28	1.2366	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	≤ 0,030	≤ 0,020	2,70-3,20	-	2,50-3,00	0,40-0,70	-	-	-	
11	X38CrMoV5-3	1.2367	0,35-0,40	0,30-0,50	0,30-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,20	-	2,70-3,20	0,40-0,60	-	-	-	
Gruppe III: WCrCoV-legierte Warmarbeitsstähle															
12	X30WCrCoV9-3	1.2662	0,27-0,32	0,15-0,30	0,20-0,40	≤ 0,035	≤ 0,035	2,20-2,50	-	-	0,20-0,30	8,00-9,00	1,80-2,30	-	
13	X45CoCrWV5-5-5	1.2678	0,40-0,50	0,30-0,50	0,30-0,50	≤ 0,025	≤ 0,025	4,00-5,00	-	0,40-0,60	1,80-2,10	4,00-5,00	4,00-5,00	-	

Bild 2

EP 2 535 430 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Werkzeugstahl für höher beanspruchte Warmumformwerkzeuge sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

[0002] Warmarbeitsstähle sind legierte Stähle für Anwendungszwecke, bei denen die Oberflächentemperatur der Werkzeuge im Allgemeinen über 200 °C liegt. Die Stahlgruppe ist zur Einstellung der erforderlichen Warmhärte und Anlassbeständigkeit mit entsprechend hohen Gehalten an Legierungselementen, vorzugsweise Chrom, Molybdän und Vanadium (CrMoV-Stähle) legiert. Bestimmte Stahlsorten enthalten als bevorzugtes Legierungselement Nickel. In der Regel liegen die Kohlenstoffgehalte der Warmarbeitsstähle zwischen 0,30 bis 0,55 Massen-%.

[0003] Warmarbeitsstähle werden für sämtliche Werkzeuge der spanlosen Umformung von Metallen und anderen Werkstoffen bei erhöhten Temperaturen verwendet. Ur- und Umformverfahren bei erhöhten Temperaturen sind u.a. das Druckgießen, das Schmieden und das Strangpressen. Weiter sind die Glasverarbeitung, das Walzen, das Warmfließpressen sowie das so genannte Presshärten von hochfesten Karosseriebauteilen zu nennen.

[0004] Die heute zur Anwendung kommenden Warmarbeitsstähle sind in der DIN EN ISO 4957 genormt und in **Bild 1** ersichtlich. Derzeit werden üblicherweise die sekundärhärtenden Chrom-Molybdän-Vanadiumstähle am häufigsten genutzt. Neben dieser Gruppe bilden die Nickel-Chrom-Molybdän- und die Nickel-Chrom-Molybdän-Vanadium-Stähle sowie die Wolfram-Chrom-Cobalt-Vanadium-Stähle zwei weitere Gruppen. **Bild 2** bietet eine Übersicht der gebräuchlichen Warmarbeitsstähle gemäß Stahl-Eisen-Liste.

[0005] Die sekundärhärtenden Chrom-Molybdän-Vanadiumstähle finden vorzugsweise Verwendung beim Druckgießen und Strangpressen von Leichtmetall sowie für hoch beanspruchte Schmiedepressenwerkzeuge für das Gesenkschmieden von Stahl. Aufgrund der geforderten Anlass- und Verschleißbeständigkeit erfolgt ein entsprechender Legierungseinsatz, in der Regel mit Chromgehalten von 5,0 Massen-% sowie etwa 1,0 Massen-% Molybdän sowie 0,5 bis 1,0 Massen-% Vanadin. Da diese Elemente zur Carbidbildung neigen, werden Ausscheidungen im Vergütungsgefüge gebildet, die die geforderten Eigenschaften gewährleisten, aber die Zähigkeit des Werkstoffes herabsetzen. Ein Ansatz die Zähigkeit dieser Werkstoffe zu erhöhen, war bislang die Verbesserung der Carbidausbildung hinsichtlich Größe und Verteilung in der Stahlmatrix. Hierzu wurden entsprechende Änderungen im Herstellungsprozess vorgenommen. Dies ist zum Beispiel das Herstellen solcher Güten mittels sondermetallurgischen Verfahren wie (Druck)Elektro-Schlacke-Umschmelzen oder Vakuum-Induktions-Schmelzen bzw. Umschmelzen im Vakuum-Elektrolichtbogenofen, dem Homogenisieren bzw. Diffusionsglühen von Rohblöcken oder von geeigneten Zwischenabmessungen während der Warmumformung des Stahles, spezielle Schmiedetechnologien, die in der Lage sein sollen, einen quasi-isotropen Werkstoffzustand einzustellen, sowie besondere Feinstruktur-Glühverfahren. Mit diesen Maßnahmen, in der Regel sogar Kombinationen von einzelnen Maßnahmen, ist es gelungen, die Lebensdauer der Chrom-Molybdän-Vanadium Warmarbeitsstähle zu verbessern. Dies wird im Wesentlichen auf den Zähigkeitszuwachs in Folge einer homogenen Verteilung der Carbide im Vergütungsgefüge zurückgeführt.

[0006] Die Gruppe der Nickel-Chrom-Molybdän- und die Nickel-Chrom-Molybdän-Vanadium-Stähle finden in der Regel für dynamisch beanspruchte, rissempfindliche Schmiedewerkzeuge für das Gesenkschmieden vorzugsweise Verwendung. Der Grund liegt vor allem in der relativ guten Zähigkeit, die im Wesentlichen auf den Nickelgehalt zurückzuführen ist. Allerdings fehlt bei dieser Stahlgruppe eine Anlassbeständigkeit im Temperaturbereich zwischen 350 bis 600 °C, hier fällt die Härte signifikant ab. Daher ist beim Gebrauch mit einem entsprechend höheren Verschleiß zu rechnen, der höhere Werkzeugkosten verursacht.

[0007] Die Wolfram-Chrom-Cobalt-Vanadium-Stähle werden aufgrund der sehr hohen Herstellungskosten nur selten für Standardanwendungen eingesetzt. Daher ist die Verwendung nur auf Anwendungen begrenzt, bei denen eine deutlich höhere Warmfestigkeit im Vergleich zu den Chrom-Molybdän-Vanadium Warmarbeitsstählen erforderlich ist. Beim Einsatz dieser Stahlgruppe ist zu beachten, dass zum Teil das Zähigkeitsverhalten geringer ist als bei den Chrom-Molybdän-Vanadium Warmarbeitsstählen.

[0008] Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es abgestimmt auf die jeweiligen Anforderungen im Bereich der Urformung sowie der spanlosen Umformung Warmarbeitsstähle gibt. Allerdings besteht zum Teil eine ungeklärte Fragestellung in der Werkstoffentwicklung, nämlich in wie weit sich die Warmfestigkeit und die Zähigkeit bei neuen Stahlgüten erhöhen lassen. Hierzu gab es in der jüngsten Zeit einige Bemühungen, so wird in DE 195 31 260 C5 ein Verfahren zur Herstellung eines Warmarbeitsstahles beschrieben. Auf Basis eines Nickel-Chrom-Molybdän-Vanadium Stahles ist es gelungen, eine Stahllegierung einschließlich eines Herstellungsprozesses zu entwickeln, die sowohl eine höhere Festigkeit als auch eine höhere Zähigkeit bei vergleichbarer Verschleißbeständigkeit gegenüber den herkömmlichen Warmarbeitsstählen aufweist.

[0009] In EP 1 887 096 A1 wird ebenfalls ein Warmarbeitsstahl beschrieben, wobei eine Legierungszusammensetzung entwickelt wurde, die im Wesentlichen die Reduzierung von Chrom vorsieht und die anderen Carbid bildenden Elemente (wie Molybdän, Wolfram oder Vanadium) je nach Anwendungsgebiet entsprechend den Verschleißanforderungen zu legiert werden.

[0010] Die Aufgaben der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Stahl für höher beanspruchte Warmumform-

werkzeuge zu entwickeln, der folgende, wesentliche Gebrauchseigenschaften besitzt:

- feinkörniger, zäher Gefügezustand
- gute Zerspanbarkeit bei hoher Verschleißbeständigkeit
- ausreichende Warmfestigkeit bei sehr guten Zähigkeitseigenschaften
- hohe Wärmeleitfähigkeit
- ressourceneffizienter Einsatz von Legierungselementen

[0011] Im Vergleich zu den Nickel-Chrom-Molybdän-Vanadium-Stählen sollte die Anlassbeständigkeit deutlich höher sein, so dass ein möglichst breites Anwendungsspektrum im Werkzeugbau abgedeckt wird. In **Bild 4** ist die Entwicklungsaufgabe hinsichtlich der Anlassbeständigkeit, die als Maß für die Warmfestigkeit gilt, dargestellt.

[0012] Die geforderte Ressourceneffizienz bezieht sich im Wesentlichen auf die Legierungskosten. Die unabdingbaren Werkstoffeigenschaften sollen mit möglichst wenig edlen Legierungselementen eingestellt werden. Des Weiteren ist der Herstellungsprozess so abzustimmen, dass sich der Werkstoff durch eine hohe metallurgische Reinheit, Seigerungsarmut sowie die Fähigkeit zu einer späteren Oberflächenveredelung - durch z. B. Schweißen und / oder thermisches Beschichten - auszeichnet.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein Werkzeugstahl mit folgender chemischer Zusammensetzung (Angaben in Massen-%) vorgeschlagen:

Kohlenstoff: 0,28 bis 0,40 Massen-%
 Silizium: 0,03 bis 0,50 Massen-%
 Mangan: 0,03 bis 0,70 Massen-%
 Chrom: 2,00 bis 3,50 Massen-%
 Nickel: 0,30 bis 1,00 Massen-%
 Molybdän: 0,60 bis 1,60 Massen-%
 Vanadium: 0,15 bis 0,35 Massen-%
 Wolfram: 0,001 bis 1,00 Massen-%
 Niob: 0,01 bis 0,10 Massen-%
 Rest aus Eisen und üblichen Verunreinigungen.

[0014] Im Gegensatz zu den üblichen Stählen für Warmumformwerkzeuge (auch Warmarbeitsstähle genannt) werden bei der patentgemäßen Erfindung die Gebrauchseigenschaften Warmfestigkeit und Zähigkeit derart kombiniert, dass ein sehr wirtschaftlicher Einsatz dieses Stahles bei Temperaturen zwischen 200 bis 600 °C in Frage kommt. Im Vergleich zu konventionellen, bekannten Warmarbeitsstählen werden geringere Gehalte an Legierungselementen benötigt.

[0015] Vorzugsweise ist zur Gewährleistung der Verschleißbeständigkeit noch folgende Spanne einzuhalten:

$$9,5 \leq \%C \times 10 + \%V \times 5 + \%Mo \times 3 + \%W \times 2 + \%Cr + \%Nb \times 3 \leq 16.$$

[0016] Alternativ zu dem Gehalt an Vanadium kann ein Gehalt von 0,15 bis 0,35% an Niob und / oder Titan zulegiert werden.

[0017] Die vorgeschlagene Legierungszusammensetzung führt zu einer hervorragenden Kombination von hoher Warmfestigkeit und Zähigkeit im vergüteten Zustand. Mit dem vorgesehenen Kohlenstoffgehalt von 0,28 bis 0,40 Massen-% lassen sich Vergütungsfestigkeiten in dem für Chrom-Molybdän-Vanadium Warmarbeitsstählen üblichen Festigkeitsbereich von 1400 bis 1600 MPa erzielen. Die anderen Legierungselemente wurden so gewählt, dass eine sehr gute Warmfestigkeit sichergestellt wird. Zur Verbesserung der Zähigkeit gegenüber den bekannten Warmarbeitsstählen wurde der Chrom- und auch der Vanadiumgehalt deutlich abgesenkt. Dies führt dazu, dass die Anzahl an Carbiden im Vergütungsgefüge etwas reduziert wurde. Damit kann das Zähigkeitspotenzial der erfindungsgerechten

[0018] Zusammensetzung erhöht werden. Die marginale Absenkung der Verschleißbeständigkeit wurde durch die gezielte Zugabe von Niob ausgeglichen. Niob hat zusätzlich den Vorteil, dass während der zur Auflösung von möglichen Korngrenzencarbiden erforderlichen Austenitisierung beim Vergüten bzw. bei der Wärmebehandlung, ein mögliches Kornwachstum verhindert wird. Daher können entsprechend höhere Austenitisierungstemperaturen genutzt werden, als dies bei vergleichbaren Stählen der Fall ist. Zur Einstellung der erforderlichen Anlasstemperaturen von über 550 °C, die alleine schon zum Abbau der wärmebehandlungsbedingten Eigenspannungen zweckmäßig sind, sind Kohlenstoffgehalte von mindestens 0,28 Massen-%, Chromgehalte von mindestens 2,00 Massen-%, Molybdängehalte von mindestens 0,60 Massen-% und Vanadiumgehalte von mindestens 0,15 Massen-% notwendig. Werden diese Elemente, die

die Warmfestigkeit von Stählen steigern, in ihren Mindestgehalten zu legiert, so kann eine Warmstreckgrenze von über 800 MPa bei Temperaturen bis 550 °C erwartet werden.

[0019] Bei den Zähigkeitseigenschaften ist der erfindungsgemäße Warmarbeitsstahl den bekannten Warmarbeitsstählen bei gleicher Festigkeitslage deutlich überlegen. Im Kerbschlagbiegeversuch lassen sich an ISO-V-Proben etwa 20 Prozent höhere Schlagenergiewerte als bei den herkömmlichen CrMoV- und NiCrMoV-Warmarbeitsstählen ermitteln. Die sehr guten Werkstoffeigenschaften konnten in Labortests, die den Verschleiß von Warmarbeitswerkzeugen unter Betriebsbedingungen ermitteln sollen, durch ungewöhnlich hohe Lebensdauer kennzahlen belegt werden.

[0020] Die Rohstahlerzeugung erfolgt in einem Elektrolichtbogenofen oder LD-Konverter mit anschließender sekundärmetallurgischen Behandlung der Schmelze im Pfannenofen und / oder Entgasungsanlagen. Als Desoxidationsprozess kann entweder eine Si- und / oder Al- sowie eine Diffusions- oder Kohlenstoffdesoxidation gewählt werden. Die Nutzung von sekundärmetallurgischen Maßnahmen zur Einförmung von Einschlüssen wie z. B. das Einspulen von Calcium oder die Verwendung von vorgeschmolzenen Top-Schlacken kann zur Einstellung des geforderten Reinheitsgradniveaus genutzt werden. Anschließend erfolgt das Vergießen des Stahles im Strang- oder Blockgussverfahren zu einer Bramme (oder Knüppel) bzw. Vorblock oder einem Rohblock, der zu verwendende Erstarrungsquerschnitt ist auf die spätere Abmessung der Werkzeugstahlblockes und den gewählten Warmumformprozess abzustimmen.

[0021] Vor der Warmumformung des Vorblocks bzw. Rohblocks findet eine Homogenisierungsbehandlung bzw. ein Diffusionsglühen bei etwa 1250 bis 1300 °C statt. Die Dauer richtet sich nach der Größe des Gussblockes, beträgt aber mindestens etwa 24 Stunden. Das Diffusionsglühen dient der Homogenisierung der chemischen Zusammensetzung und minimiert mögliche Kristallseigerungen.

[0022] Die im Anschluss daran stattfindende Warmumformung findet vorzugsweise durch Schmieden bei Temperaturen von etwa 1200 bis 850 °C und mit einem mindestens dreifachen Verformungsgrad statt. Das umgeformte Werkstück wird nach der anschließenden Abkühlung des Werkstoffes bei ca. 850 bis 900 °C austenitisiert und dann etwa 50 bis 100 Stunden bei einer Temperatur im Bereich von 680 bis 710 °C isotherm zwecks

[0023] Umwandlung in der Perlitstufe gehalten. Anschließend erfolgt eine Feinstrukturbehandlung zur Einstellung eines feinkörnigen Gefüges bei gleichmäßiger Carbidgebung.

[0024] Nach dieser Behandlung werden die Rohlinge für die herzustellenden Warmarbeitswerkzeuge mechanisch aus dem Schmiedestück herausgearbeitet, ggf. entsprechend den jeweiligen Fertigungszeichnungen bearbeitet und dann vergütet. Dabei werden die bei etwa 850 bis 950 °C austenitisierten Werkstücke in einem Medium, was Öl, Polymer oder Wasser sein kann, vergütet. Es können auch (vor-) bearbeitete Werkstücke in einem Blei- oder Salzbad oder alternativ beispielsweise mit einer Warmbadsimulation im Vakuum gehärtet werden. In jedem Fall werden die Werkstücke nach dem Abschrecken vorzugsweise an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt und dann entsprechend dem Anlassdiagramm auf die gewünschte Einsatzfestigkeit angelassen. Üblicherweise erfolgt nach dem Vergüten ein mindestens zweimaliges Anlassen auf eine Gebrauchshärte, in der Regel maximal 46 HRC. Nach dem Anlassen erfolgt ein langsames Abkühlen auf Raumtemperatur, um einen spannungsarmen Werkstoffzustand einzustellen.

[0025] Der neue CrMoNiV-Stahl eignet sich besonders als Warmarbeitsstahl durch seinen feinkörnigen, zähen Gefügestand und der im Vergleich zu den bekannten CrMoV-Stählen deutlich höheren Wärmeleitfähigkeit für alle Werkzeugarten der Metallumformung wie beispielsweise Schmiedegesenke oder aber Warmblechumformung, aber auch für Werkzeuge der Leichtmetallverarbeitung im erwärmten Zustand wie z. B. dem Druckgießen.

[0026] Das **Bild 3** stellt die wesentlichen Ergebnisse der Werkstoffuntersuchungen des erfindungsgemäßen Stahles den bekannten Warmarbeitsstählen gegenüber. Aus der Darstellung ist zu entnehmen, dass der erfindungsgemäße Stahl den bekannten CrMoV-legierten Warmarbeitsstählen keinesfalls nachsteht, sondern insbesondere im Temperaturbereich zwischen 500 und 600 °C bessere Festigkeits- und Zähigkeitswerte aufweist. Das höhere Zähigkeitspotenzial dient besonders in der Gesenkschmiedeindustrie der Vermeidung frühzeitiger Gesenkbrüche, die bei bruchgefährdeten, tiefen Gesenkgravuren, oder auch ungleichmäßigen Werkzeugtemperaturen die Kalkulierbarkeit von Schmiedeprozessen bzw. Werkzeugstandzeiten erschwert. Berechenbare Schmiedeprozesse sind aber für eine verlässliche Kostenkalkulation sowie für eine wirtschaftliche Produktion von Warmumformteilen notwendig. Ferner wird mit der Erhöhung des Zähigkeitspotenzials auch der Betriebssicherheit der Schmiedewerkzeuge Rechnung getragen. Des Weiteren zeichnet sich der erfindungsgemäße Stahl durch eine insbesondere gegenüber den bekannten CrMoV-Stählen deutlich besser Wärmeleitfähigkeit aus, was sich ebenfalls positiv in den Gebrauchseigenschaften widerspiegelt.

Patentansprüche

1. Werkzeugstahl für höher beanspruchte Warmumformwerkzeuge mit folgender Zusammensetzung:

Kohlenstoff: 0,28 bis 0,40 Massen-%,
Silizium: 0,03 bis 0,50 Massen-%,
Mangan: 0,03 bis 0,70 Massen-%,

Chrom: 2,00 bis 3,5 Massen-%,
 Nickel: 0,30 bis 1,00 Massen-%,
 Molybdän: 0,60 bis 1,60 Massen-%,
 Vanadium: 0,15 bis 0,35 Massen-%,
 Wolfram: 0,001 bis 1,00 Massen-%,
 Niob: 0,01 bis 0,10 Massen-% sowie
 einem Rest aus Eisen und üblichen Verunreinigungen, wobei der Stahl ein feinkörniges zähes Gefüge aufweist.

2. Werkzeugstahl nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusammensetzung folgende Bedingung einhält:

$$9,5 \leq \%C \times 10 + \%V \times 5 + \%Mo \times 3 + \%W \times 2 + \%CR + \%Nb \times 3 \leq 16.$$

3. Werkzeugstahl nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** er einen Schwefelgehalt von 0,01 bis 0,10 Massen-% aufweist.

4. Werkzeugstahl nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** an Stelle von oder in Kombination mit Vanadium ein Niob- und / oder Titangehalt von jeweils 0,15 bis 0,35 Massen-% vorgesehen ist.

5. Herstellung eines Werkzeugstahles nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohstahlerzeugung in einem Elektrolichtbogenofen oder LD-Konverter mit anschließender sekundärmetallurgischer Behandlung der Schmelze im Pfannenofen und / oder Entgasungsanlagen erfolgt, wobei als Desoxidationsprozess eine Si-, Al-, Kohlenstoff - und / oder Diffusionsdesoxidation gewählt wird.

6. Herstellungsverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der sekundärmetallurgischen Behandlung der Werkzeugstahl im Strang - oder Blockgussverfahren zu einer Bramme (oder Knüppel), einem Vorblock oder einem Rohblock vergossen wird, wobei der Erstarrungsquerschnitt auf die spätere Abmessung des Werkzeugstahlblockes abgestimmt ist.

7. Herstellungsverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vergossene Werkzeugstahl einer Homogenisierungsbehandlung bei etwa 1250 bis 1300 °C für eine Zeitdauer von wenigstens 24 Stunden unterzogen wird.

8. Herstellungsverfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Werkzeugstahl einer Warmumformung durch Schmieden bei Temperaturen von ca. 850 bis 1200 °C mit einem wenigstens dreifachen Verformungsgrad unterzogen wird.

9. Herstellungsverfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das umgeformte Werkstück nach der anschließenden Abkühlung des Werkstoffes bei ca. 850 bis 900 °C austenitisiert und dann etwa 50 bis 100 Stunden bei einer Temperatur im Bereich von 680 bis 710 °C isotherm zwecks Umwandlung in der Perlitstufe gehalten wird.

10. Herstellungsverfahren für Rohlinge für herzustellende Warmarbeitswerkzeuge aus einem nach einem der Ansprüche 6 bis 8 hergestellten Schmiedestück, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohlinge nach einer mechanischen Bearbeitung vergütet werden, wobei die bei etwa 850 bis 950 °C austenitisierten Werkstücke in einem Medium aus Öl, Polymer oder Wasser vergütet werden oder die bearbeiteten Werkstücke in einem Blei- oder Salzbad oder alternativ in einer Warmbadsimulation im Vakuum gehärtet werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Werkstücke nach dem Abschrecken an Luft auf Raumtemperatur abgekühlt und dann entsprechend dem Anlassdiagramm auf die gewünschte Einsatzfestigkeit angelassen werden.

12. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vergossene Stahl vor oder zwischen Schritten der Warmumformung einem Umschmelzverfahren mittels ESU unterzogen wird.

13. Herstellungsverfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Umschmelzung die Homogenisierung / Diffusionsglühbehandlung des vergossenen Stahles eingespart wird.

EP 2 535 430 A2

14. Verwendung eines Werkzeugstahles nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Herstellung von Warmumformwerkzeugen.
15. Verwendung eines Werkzeugstahles nach einem der Ansprüche 1 bis 4 zur Herstellung eines Kunststoffformwerkzeuges.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Lfd. Nr.	Kurzname	Werkstoff Nr.	Chemische Zusammensetzung Hauptbestandteile (Massen-%)							
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	andere
1	55NiCrMoV7	1.2714	0,50-0,60	0,10-0,40	0,60-0,90	0,80-1,20	0,35-0,55	0,05-0,15	-	Ni: 1,50-1,80
2	32CrMoV12-28	1.2365	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,70-3,20	2,50-3,00	0,40-0,70	-	-
3	X37CrMoV5-1	1.2343	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,10-1,50	0,30-0,50	-	-
4	X38CrMoV5-3	1.2367	0,35-0,40	0,30-0,50	0,30-0,50	4,80-5,20	2,70-3,20	0,40-0,60	-	-
5	X40CrMoV5-1	1.2344	0,35-0,42	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,20-1,50	0,85-1,15	-	-
6	50CrMoV13-15	1.2355	0,45-0,55	0,20-0,80	0,50-0,90	3,00-3,50	1,30-1,70	0,15-0,35	-	-
7	X30WCrV9-3	1.2581	0,25-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	2,50-3,20	-	0,30-0,50	8,50-9,50	-
8	X35CrWMoV5	1.2605	0,32-0,40	0,80-1,20	0,20-0,50	4,75-5,50	1,25-1,60	0,20-0,50	1,10-1,60	-
9	38CrCoWV18-17-17	1.2661	0,35-0,45	0,15-0,50	0,20-0,50	4,00-4,70	0,30-0,50	1,70-2,10	3,80-4,50	Co: 4,00-4,50

Bild 1

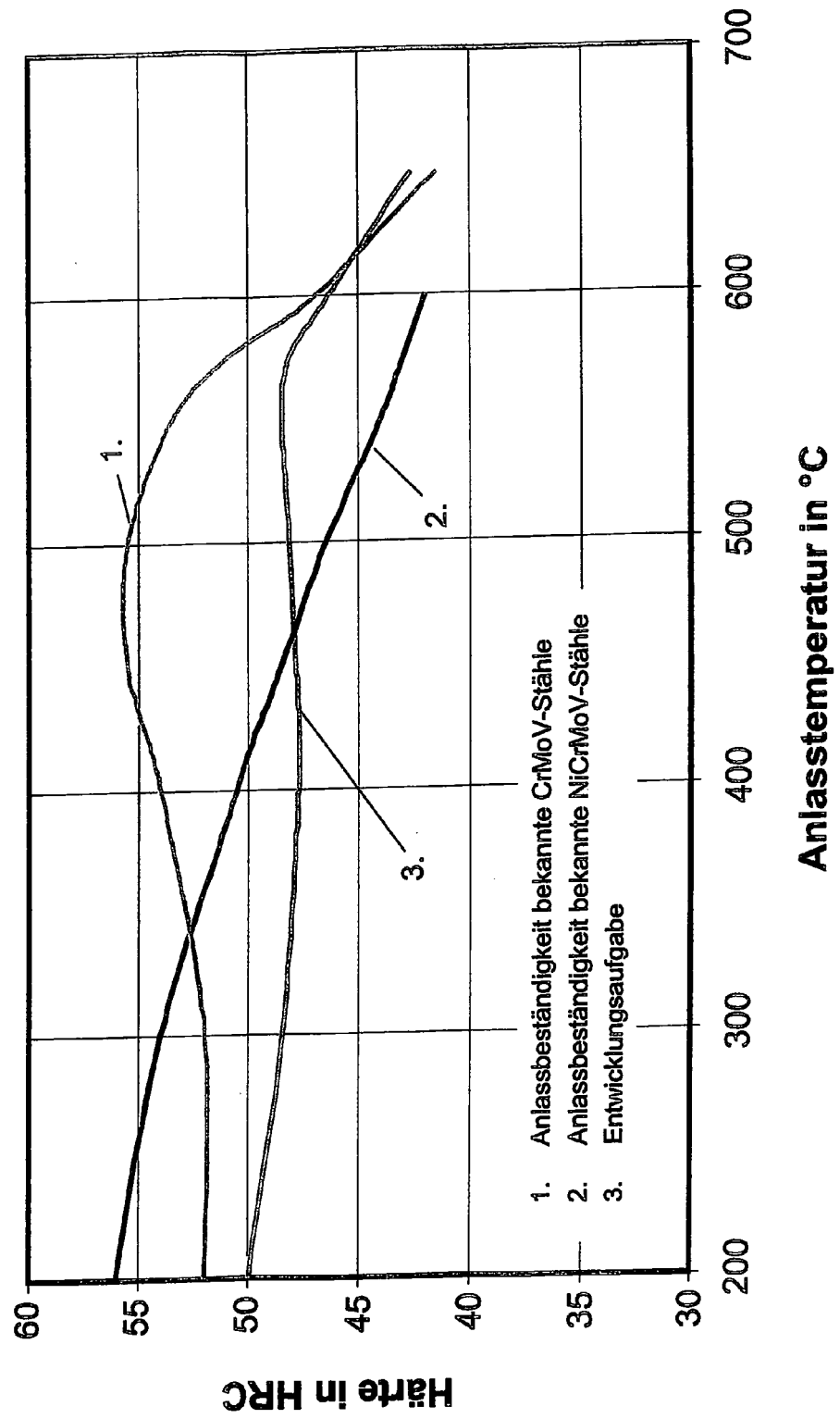
Lfd. Nr.	Kurzname	Werkstoff Nr.	Chemische Zusammensetzung Hauptbestandteile (Massen-%)											
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Co	Nb
Erfindungsgemäßer Stahl gemäß Hauptanspruch														
1	CrMoNiV-Warmarbeitsstahl		0,28-0,40	0,03-0,50	0,03-0,70	-	-	2,00-3,50	0,30-1,00	0,60-1,50	0,15-0,35	0,01-1,00	-	0,01-0,10
Gebräuchliche Warmarbeitsstähle für Werkzeuge (nach Stahl-Eisen-Liste)														
Gruppe I: nickellegierte NiCrMo und NiCrMoV-Warmarbeitsstähle														
2	55NiCrMoV7	1.2714	0,50-0,60	0,10-0,40	0,60-0,90	≤ 0,030	≤ 0,030	0,80-1,20	1,50-1,80	0,35-0,55	0,05-0,15	-	-	-
3	57NiCrMoV7-7	1.2744	0,50-0,60	0,15-0,35	0,60-0,80	≤ 0,035	≤ 0,035	0,90-1,20	1,50-1,80	0,70-0,90	0,07-0,12	-	-	-
4	45NiCrMoV16-6	1.2746	0,41-0,49	0,15-0,35	0,60-0,80	≤ 0,025	≤ 0,020	1,40-1,60	3,80-4,20	0,73-0,85	0,45-0,55	-	-	-
5	28NiMo17	1.2747	0,24-0,31	0,15-0,35	0,20-0,40	≤ 0,030	≤ 0,030	0,30-0,50	4,20-4,70	1,15-1,25	0,15-0,20	-	-	-
6	35NiCrMo16	1.2766	0,32-0,38	0,15-0,30	0,40-0,60	≤ 0,035	≤ 0,035	1,20-1,50	3,80-4,30	0,20-0,40	-	-	-	-
7	45NiCrMo16	1.2767	0,40-0,50	0,10-0,40	0,20-0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	1,20-1,50	3,80-4,30	0,15-0,35	-	-	-	-
Gruppe II: CrMoV-legierte Warmarbeitsstähle														
8	X37CrMoV5-1	1.2343	0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,50	-	1,10-1,50	0,30-0,50	-	-	-
9	X40CrMoV5-1	1.2344	0,35-0,42	0,80-1,20	0,25-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,50	-	1,20-1,50	0,85-1,15	-	-	-
10	32CrMoV12-28	1.2365	0,28-0,35	0,10-0,40	0,15-0,45	≤ 0,030	≤ 0,020	2,70-3,20	-	2,50-3,00	0,40-0,70	-	-	-
11	X38CrMoV5-3	1.2367	0,35-0,40	0,30-0,50	0,30-0,50	≤ 0,030	≤ 0,020	4,80-5,20	-	2,70-3,20	0,40-0,60	-	-	-
Gruppe III: WCrCoV-legierte Warmarbeitsstähle														
12	X30WCrCoV9-3	1.2662	0,27-0,32	0,15-0,30	0,20-0,40	≤ 0,035	≤ 0,035	2,20-2,50	-	-	0,20-0,30	8,00-9,00	1,80-2,30	-
13	X45CoCrWV5-5-5	1.2678	0,40-0,50	0,30-0,50	0,30-0,50	≤ 0,025	≤ 0,025	4,00-5,00	-	0,40-0,60	1,80-2,10	4,00-5,00	4,00-5,00	-

Bild 2

Vergleich der wesentlichen Eigenschaften				
Eigenschaft	bekannter NiCrMoV-Stahl 1.2714	bekannter CrMoV-Stahl 1.2344	erfindungsgemäßer CrMoNiV-Stahl	
Warmstreckgrenze (vergütet auf etwa 1400 MPa) [MPa]	500 °C	820	945	
	550 °C	640	850	
	600 °C	440	560	
Kerbschlagzähigkeit bei Raumtemperatur (vergütet auf 1400 MPa) [J/cm ²]	20	19	25	
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	20-100 °C	36,0	38,3	
	20-250 °C	37,5	37,1	
	20-500 °C	34,5	35,3	

Bild 3

Bild 4



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 19531260 C5 [0008]
- EP 1887096 A1 [0009]