



(11) **EP 1 681 365 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
29.09.2010 Patentblatt 2010/39

(51) Int Cl.:
C22C 38/04 ^(2006.01) *C21D 1/06* ^(2006.01)
C23C 8/44 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06450006.9**

(22) Anmeldetag: **12.01.2006**

(54) **Verfahren zur Herstellung hochbeanspruchter Maschinenbauteile**

Method of producing highly stressed machine components

Procédé de fabrication des composants fortement chargés

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **14.01.2005 AT 1105 U**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.07.2006 Patentblatt 2006/29

(73) Patentinhaber: **MAGNA Drivetrain AG & Co KG**
8502 Lannach (AT)

(72) Erfinder: **Kehrer, Oskar**
8044 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**
Postfach 31 02 20
80102 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 5 178 688

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** Bd. 1996, Nr. 08, 30. August 1996 (1996-08-30) & JP 08 092690 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 9. April 1996 (1996-04-09)
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** Bd. 1997, Nr. 03, 31. März 1997 (1997-03-31) & JP 08 311607 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 26. November 1996 (1996-11-26)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 681 365 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines hochbeanspruchbaren Maschinenteils.

[0002] Für hochbelastbare Maschinenteile bestehen Zukunftsentwicklungen darin, die Belastbarkeit zu erhöhen und hierbei jedoch deren Volumen zu minimieren, um auch in einem begrenzten Bauraum einen solchen Maschinenteil einsetzen zu können. Diese Problematik besteht insbesondere für Getriebe, zumal die Tendenz dahingehend gerichtet ist, immer drehmomentstärkere Motoren zu verwenden, sodass die Getriebe und insbesondere Getriebewellen immer höheren Belastungen ausgesetzt sind. Als weitere Forderungen sind noch ein geringes Gewicht, kurze Baulängen und kompakte Ausführungen von Getrieben gegeben.

[0003] Bei modernen Getrieben sind oftmals viele Funktionen für eine Getriebewelle vorgesehen und daher viele Funktionselemente auf einer Getriebewelle untergebracht. So hat beispielsweise eine Hauptwelle bei einem modernen Kfz-Verteilergetriebekonzept folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Eine starre Verbindung vom Schalt- oder Automatikgetriebe (über eine Steckverzahnung) zur Hinterachse über eine Außensteckverzahnung zum Hinterachsflansch,
- Bilden des Sitzes einer (regelbaren) nassen Lamellenkupplung,
- Bilden diverser Nadel- und Rollenlagersitze und Sprengtringnuten und Dichtringsitze,
- Abstützung der elektromechanischen Aktuatorik zur Betätigung der Lamellenkupplung,
- Lagerung des Kettenrades zum Drehmomenttransfer über eine Zahnlaschen-Wiegeelenkkette zur Vorderachse,
- Bilden des Sitzes einer Rotor-Ölpumpe, die die Kühl- und Schmierölversorgung der Lamellenkupplung und der restlichen Komponenten (Lager) sicherstellt,
- Aufnahme einer mittigen Ölbohrung durch die Welle und diverser Querbohrungen zur Speisung und Verteilung von Kühl- und Schmieröl.

[0004] Eine Getriebewelle dieser Art stellt ein zentrales Hauptbauelement eines Getriebes dar, das auch extremen Anforderungen ausgesetzt ist. Eine solche Welle muss hohe stoßartige Momente aufnehmen, und zwar bei relativ kleinem Außendurchmesser. Zudem sind meist starke Schwächungen infolge einer Kerbwirkung, verursacht durch Öl-Längs- und Querbohrungen, Nuten, etc., gegeben.

[0005] Um hohen Drehzahlen standzuhalten sind weiters nur sehr kleine maßliche Toleranzen, betreffend Rundlauf und Biegung, zulässig. Solche Toleranzen liegen beispielsweise unter 50 µm. Bei Großserienfertigungen kommen noch Anforderungen hinsichtlich des Werkstoffs für eine solche Getriebewelle hinzu. Der Werkstoff soll preisgünstig sein und Wärmebehandlungen und das Fertigen der Welle sollen trotz der oben beschriebenen Anforderungen kostengünstig sein.

[0006] Es ist Stand der Technik, solche hochbeanspruchbare Maschinenteile aus einem Einsatzstahl zu fertigen und einsatzzuhärten. Solche Einsatzstähle weisen einen C-Gehalt zw. 0,10 bis 0,20 Gew. % neben anderen für die Härtebarkeit vorgesehenen Legierungselementen, wie Cr, Mn, Ni, Mo und V - in teilweise hohen Legierungsanteilen - auf. Hierdurch sind hohe Kosten für das Rohmaterial, die Bearbeitung und den Wärmebehandlungsprozess gegeben, wobei jedoch oft die hohen Anforderungen betreffend höchster statischer und dynamischer Beanspruchung nicht vollständig erfüllt werden können.

[0007] Übliche Werkstoffe sind in Europa z.B. 16MnCr5, 20MnCr5, 18CrNiMo7-6 (DIN-EN10084) oder in US/Kanada der SAE8620H oder der SAE8630H (SAE J1268). Sie alle erfüllen weder die Forderung nach geringen Werkstoff- und Herstellkosten, noch erreicht man die notwendigen hohen Kernfestigkeiten für die heutzutage geforderten Beanspruchungen, schon gar nicht mit einer milden langsamen Abschreckung, die zur Minimierung von Härteverzügen zur Einhaltung der maßlichen Forderungen wünschenswert ist.

[0008] Aus der JP 08-092,690 ist eine Legierung bekannt, welche 0,1 bis 0,3 % C, 0,3 bis 2,0 % Mn, maximal 1,2 % Cr, 0,01 bis 0,06 % Al, 0,004 bis 0,02 % N, maximal 50 ppm B, gegebenenfalls maximal 0,3 % Si, gegebenenfalls maximal 0,03 % P, gegebenenfalls maximal 0,03 % S und Rest Eisen enthält.

[0009] In der JP 08-311,607 wird ein Stahl offenbart, welcher 0,3 bis 0,6 % C, maximal 1,5 % Si, maximal 2,5 % Mn, maximal 2,5 % Ni, maximal 2 % Cr, maximal 1,0 % Mo, 0,01 bis 0,06 % Al, maximal 50 ppm B, 0,004 bis 0,02 % N, gegebenenfalls weitere Legierungsbestandteile sowie Rest Eisen enthält.

[0010] In der US 5,178,688 wird ein Borstahl offenbart, welcher 0,18 bis 0,35 % C, 0,06 bis 0,15 % Si, 0,5 bis 1,0 % Mn, 0,4 bis 0,9 % Cr, 0,01 bis 0,05 % Al, 0,01 bis 0,04 % Ti, maximal 0,012 % N, maximal 0,003 % O, 5 bis 30 ppm B und Rest Eisen enthält.

[0011] Die Erfindung bezweckt die Vermeidung der oben geschilderten Nachteile und Schwierigkeiten und stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren zum Herstellen solcher hochbeanspruchbarer Maschinenteile zu schaffen, welche neben einer hohen Kernfestigkeit auch bei größeren Wanddicken durch Einsatzhärten auf sehr hohe Härten im Oberflächenbereich bringbar sind, und dies bei einem auch für komplizierte Maschinenteile vernachlässigbaren Verzug. Zudem soll eine gute mechanische Bearbeitbarkeit durch Zerspanen gegeben sein. Der hergestellte Stahl selbst soll kostengünstig sein, und zwar durch Verwendung preiswerter Legierungselemente und unter Vermeidung der sehr teuren Legierungs-

elemente wie z.B. Mo, und zudem sollen die Gehalte an Legierungselementen möglichst gering sein. Eine weitere Aufgabe ist darin zu sehen, dass ein Härten nach dem Einsätzen möglich sein soll, und zwar mit gegenüber Öl-, Wasser- und Salzbadabschreckung sehr geringen Abschreckgeschwindigkeiten, wie sie beispielsweise beim Abschrecken mittels Gasen möglich sind, um einen Verzug des fertig bearbeiteten Maschinenteils zu vermeiden.

[0012] Diese Aufgabe wird gemäß einer ersten Ausführungsform gelöst durch ein ein Verfahren zum Herstellen eines hochbeanspruchbaren Maschinenteils, wie einer Getriebewelle, welches durch die nachfolgenden Verfahrensschritte gekennzeichnet ist:

- Verwendung eines Stahles mit der folgenden chemischen Zusammensetzung:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %
 Si: 0,10 - 0,50 Gew. %
 Mn: 0,12 - 3,5 Gew. %
 Cr: $\leq 1,2$ Gew. %
 P: $\leq 0,05$ Gew. %
 B: 30 - 120 ppm sowie:
 gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %
 gegebenenfalls Ni: $\leq 1,0$ Gew. %
 Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen

- Herstellung eines Rohlings, vorzugsweise durch Schmieden, Rundkneten oder Fließpressen,
- Spanabhebende Endfertigung des Maschinenteils,
- Einsatzhärten des spanabhebend endgefertigten Maschinenteils und
- Härten durch
- Abschrecken mit Gas, vorzugsweise mit Stickstoff
- sowie Anlassen.

[0013] Der erfindungsgemäß hergestellte Stahl weist somit gegenüber klassischen Einsatzstählen einen wesentlich höheren C-Gehalt auf, nämlich über 0,20 Gew. %, wogegen er bei klassischen Einsatzstählen zw. 0,10 und 0,20 Gew. % liegt. Dieser höhere C-Gehalt wird üblicherweise nur bei Vergütungsstählen verwirklicht. Durch diesen höheren C-Gehalt erreicht man einerseits höhere Kernfestigkeiten beim Einsatzhärten, und auf der anderen Seite gestaltet sich der Übergang zur einsatzgehärteten Schicht - eine aufgekohlte Randschicht weist etwa einen C-Gehalt von 0,8 Gew. % auf - nicht so abrupt, sondern es findet ein eher sachter kontinuierlicher Festigkeitsübergang zwischen dem Rand und dem Kern statt. Hierdurch ist gewährleistet, dass der Rand sehr hart und verschleißfest ist und HRC-Werte in der Höhe von 58 bis 63 erreicht, wogegen der Kernquerschnitt wegen seiner hohen Kernfestigkeit nach dem Einsatzhärten (z.B. HRC-Werte zw. 42 und 46 beim Hochdruckgasabschrecken) sehr hohe statische und dynamische Festigkeiten aufweist und aufgrund seiner Legierung gegenüber der Randschicht trotzdem relativ zäh ist.

[0014] Der Bor-Anteil liegt zwischen 30 und 120 ppm, idealerweise zwischen 35 und 60 ppm. Bor bringt eine extrem starke Härtebarkeitssteigerung und steht als Legierungselement quasi "kostenlos" zur Verfügung.

[0015] Zur Herstellung von Getriebewellen weist der Stahl zweckmäßig einen C-Gehalt vor dem Einsatzhärten zw. 0,26 und 0,30 Gew. %, und einen Mn-Gehalt zw. 1,5 und 2 Gew. % auf.

[0016] Wenn die Kontur des Maschinenteiles bzw. der Welle durch Kaltfließpressen oder durch Rundkneten bei Raumtemperatur hergestellt wird, ist der Si-Gehalt zweckmäßig auf 0,15 bis 0,25 Gew. % zu begrenzen (ist auch wegen der geringeren Randoxidation zwecks erhöhter Dauerfestigkeit vorteilhaft). Bei Schmiedeteilen kann der Si-Gehalt bis 0,4 Gew. % betragen. Der Cr-Gehalt liegt vorzugsweise zw. 0,05 und 1,0 Gew. %, besser zw. 0,4 und 0,8 Gew. %, idealerweise bei etwa 0,6 Gew. %. Cr steigert die Härtebarkeit, ist aber teurer als Mn.

[0017] Der Schwefelgehalt wird vorteilhaft zw. 0,02 und 0,4 Gew. % eingeschränkt, was eine bessere Bearbeitbarkeit durch Zerspanen ergibt.

[0018] Optional können für extreme Belastungsanforderungen hinsichtlich Zähigkeit bis zu 1,0% Ni zulegiert werden.

[0019] Gemäß einer zweiten Ausführungsform betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines hochbeanspruchbaren Maschinenteils, wie einer Getriebewelle, gekennzeichnet durch die nachfolgenden Verfahrensschritte:

- Verwendung eines Stahles mit der folgenden chemischen Zusammensetzung:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %
 Si: 0,10 - 0,50 Gew. %
 Mn: 0,5 - 3,5 Gew. %

EP 1 681 365 B1

Cr: 0,009 - 1,2 Gew. %

P: $\leq 0,05$ Gew. %

B: 30 - 120 ppm

gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %

gegebenenfalls Ni: $\leq 1,0$ Gew. %

N: $< 0,016$ Gew. %

Al: 0,015 - 0,04 Gew. %, wobei der Al-Gehalt mindestens doppelt so hoch ist wie der Stickstoffgehalt,

S: 0,02 - 0,04 Gew. %

Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen

- Herstellung eines Rohlings, vorzugsweise durch Schmieden, Rundkneten oder Fließpressen,
- Spanabhebende Endfertigung des Maschinenteils,
- Einsatzhärten des spanabhebend endgefertigten Maschinenteils und
- Härten durch
- Abschrecken mit Gas, vorzugsweise mit Stickstoff
- sowie Anlassen.

[0020] Diese optimal abgestimmte Zusammensetzung der Legierungselemente hat den überraschenden Effekt, dass die Härbarkeit des Materials selbst unter mildesten Abschreckbedingungen extrem hoch ist. Aufgrund der Neuheit dieser Legierung ist die Härbarkeit natürlich auch in den neuesten Regelwerken (SEP1664, Juni 2004; "Ermittlung von Formeln durch multiple Regression zur Berechnung der Härbarkeit im Stimabschreckversuch aus der chemischen Zusammensetzung von Stählen" + Beiblatt zum SEP1664) nicht errechenbar, sondern nur durch praktische Versuche zu charakterisieren.

[0021] Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform ein Stahl mit der folgenden chemischen Zusammensetzung verwendet:

C: 0,26 - 0,46 Gew. %

Si: 0,15 - 0,25 Gew. %

Mn: 1,4 - 3,0 Gew. %

Cr: 0,05 - 1 Gew. %

P: $\leq 0,02$ Gew. %

B: 35 - 60 ppm sowie:

gegebenenfalls Ti: 0,035 - 0,05 Gew. %

gegebenenfalls Ni: $< 0,15\%$

Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen,

wobei die Herstellung des Rohlings durch Rundkneten oder Kaltfließpressen erfolgt.

[0022] Das Einsatzhärten erfolgt zweckmäßig in einem Temperaturbereich zw. 880 und 1050°C, vorzugsweise zw. 900 und 950°C beim Aufkohlen mit anschließendem Diffundieren zw. 840 und 880°C, vorzugsweise bei etwa 860°C, wobei zweckmäßig während des Einsatzhärtens ein C-Pegel von 0,7 bis 1,2 Gew. %, vorzugsweise von 1,0 bis 1,1 Gew. % beim Aufkohlen und von 0,7 bis 0,8 Gew. % beim Diffundieren eingestellt wird.

[0023] Das Härten wird vorteilhaft ausgehend von einer Temperatur von etwa 850 bis 910°C, vorzugsweise ausgehend von etwa 860°C, durchgeführt.

[0024] Das nachfolgende Anlassen erfolgt auf einem Temperaturbereich von max. 200°C, vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa 160°C, wobei vorteilhaft das Abschrecken extrem milde, vorzugsweise mit einem Gasdruck von etwa 2-3 bar Stickstoff oder Luft, durchgeführt wird.

[0025] Ein erfindungsgemäß hergestelltes hochbeanspruchbares Maschinenteil gemäß einer Ausführungsform ist gekennzeichnet durch folgende Stahlzusammensetzung:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %, vorzugsweise 0,26 - 0,46 Gew. %, insbes. 0,27-0,35 Gew. %

Si: 0,10 - 0,50 Gew. %, vorzugsweise 0,15 - 0,25 Gew. %

Mn: 0,12 - 3,5 Gew. %, vorzugsweise 1,4 - 3,0 Gew. %

Cr: $\leq 1,2$ Gew. %, vorzugsweise 0,05 - 1 Gew. %, insbesondere 0,4 - 0,8 Gew. %

P: $\leq 0,05$ Gew. %, vorzugsweise $\leq 0,02$ Gew. %

B: 30 - 120 ppm, vorzugsweise 35 - 60 ppm, insbesondere 40-55 ppm sowie gegebenenfalls:

Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %, vorzugsweise 0,035 - 0,05 Gew. %

Ni: $\leq 1,0$ Gew. %, vorzugsweise $< 0,15$ Gew. %

Rest Fe und erscheinungsbedingte Verunreinigungen,

wobei durch Aufkohlen der C-Gehalt im Randbereich in der Höhe von etwa 0,7 - 0,9 Gew.%, vorzugsweise von etwa 0,8 Gew.%, und im Mittenbereich in der Höhe zw. 0,26 und 0,46 Gew.% liegt.

[0026] Ein Maschinenteil dieser Art ist gekennzeichnet durch eine harte Oberflächenschicht > 58 HRC, vorzugsweise im Bereich zw. 61 und 62 HRC, und eine Kernfestigkeit > 42 HRC, vorzugsweise im Bereich zw. 46 und 48 HRC.

[0027] Ein bevorzugtes Maschinenteil gemäß einer anderen Ausführungsform ist gekennzeichnet durch eine Stahlszusammensetzung

C: 0,20 - 0,50 Gew.%

Si: 0,10 - 0,50 Gew.%

Mn: 0,5-3,5 Gew.%, vorzugsweise 1,4-3,0 Gew.%, insbesondere 1,66-1,90 Gew.%,

Cr: 0,009-1,2 Gew.%, vorzugsweise 0,05-0,7 Gew.%, insbesondere 0,3-0,5 Gew.%,

P: ≤ 0,05 Gew.%

B: 30-120 ppm, vorzugsweise 40-80 ppm, insbesondere 50-70 ppm, gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew.%
gegebenenfalls Ni: ≤ 1,0 Gew.%

N: <0,016 Gew.%,

Al: 0,015-0,04 Gew.%, wobei der Al-Gehalt mindestens doppelt so hoch ist wie der Stickstoffgehalt,

S: 0,02-0,04 Gew.%, vorzugsweise 0,02-0,035 Gew.%,

Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen.

[0028] Die Erfindung ist nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Fig. 1 zeigt eine Getriebewelle im Schnitt, die aus einem erfindungsgemäß hergestellten Stahl hergestellt und einsatzgehärtet wurde. Fig. 2 gibt die Härtewerte HRC eines erfindungsgemäß hergestellten Stahles im Vergleich zu diversen anderen einsatzgehärteten Stählen gemäß dem Stand der Technik wieder, wobei die dargestellten Streubreiten der Härtebänder besondere Beachtung finden sollten. Die Fig. 3, 4 und 5 zeigen weitere Vergleiche der erreichbaren Härten HRC zwischen einem erfindungsgemäß hergestellten Stahl und diversen herkömmlichen Stahlsorten. Die Fig. 6 bis 8 veranschaulichen Schliffbilder des Oberflächenbereiches eines Maschinenteils.

[0029] Die in Fig. 1 dargestellte Getriebewelle 1 stellt ein Maschinenteil dar, das nur schwierig einsatzgehärtet werden kann, zumal es eine sehr große Länge und stark divergierende Querschnittswerte aufweist. Ein solches Teil neigt zum Verzug und ist nach einem Einsatzhärten nur schwierig zu richten. Durch eine Innenverzahnung 2 und eine Außenverzahnung 3, diverse Sprengtringnuten 4, sowie Nuten und Bohrungen 6 zur Ölführung, ergeben sich Kerbwirkungen, die bei Einsatz von herkömmlichen Stählen nur eine geringe dynamische Belastbarkeit ergeben. Für den Sitz einer Lamellenkupplung sind enge Durchmesser-toleranzen einzuhalten.

[0030] Für diese Getriebewelle 1 wurde ein Stahl mit folgender chemischer Zusammensetzung eingesetzt:

Tabelle 1

Element	C	Mn	Si	Cr	B	S	P
Gew.%	0,27	1,67	0,28	0,51	37 ppm	0,023	0,012

[0031] Aus diesem Stahl wurde ein Rohling für die Getriebewelle (Welle I) durch Fließpressen hergestellt und anschließend, gemäß Fig. 1, fertig bearbeitet, und zwar inklusive aller Verzahnungen und Bohrungen bzw. Nuten.

[0032] Anschließend folgte das Einsatzhärten in einer Durchstoßanlage mit klassischer Gasaufkohlung, aber mit Hochdruckgasabschreckung mittels Stickstoff, mit einer typischen Aufkohlungstiefe Eht620HV1 von ca. 1,3 mm. Hierbei fand eine Aufkohlung bei 900°C (wegen der Einhaltung der genauen Verzahnungsdaten) über eine Zeitdauer von zwölf Stunden, mit einem C-Pegel von 1,05%, mit einem anschließenden Diffundieren bei 860°C in zwei Stunden, mit einem C-Pegel von 0,75%, statt. Anschließend erfolgte ein Härten, ausgehend von einer Härtetemperatur bei 860°C, wobei das Abschrecken mit Stickstoff mit einem Druck von 3,0 bar erfolgte. Hierauf wurde die Getriebewelle angelassen, und zwar auf eine Temperatur von 160°C und über eine Zeitdauer von drei Stunden.

[0033] Eine zweite Getriebewelle (Welle II) mit gleicher chemischer Zusammensetzung wurde mit einer Einsatzhärte-tiefe Eht620HV1 von ca. 0,7 mm hergestellt, und zwar durch Aufkohlung bei 900°C (wegen der Einhaltung der genauen Verzahnungsdaten), wobei die Aufkohlung über 4,7 Stunden mit einem C-Pegel von 1,05 % erfolgte. Das anschließende Diffundieren wurde bei 860°C über eine Zeitdauer von einer Stunde mit einem C-Pegel von 0,75 % durchgeführt. Das Härten erfolgte, wie bei der anderen Welle, ausgehend von einer Härtetemperatur von 860°C, einem Abschrecken mit 3,0 bar Stickstoff, und Anlassen auf 160°C, jedoch nur über 1,5 Stunden.

[0034] Bei beiden Getriebewellen konnte durch das Einsatzhärten eine sehr harte Oberflächenschicht von >58 HRC erzielt werden. Die Werte lagen bei 61 bis 62 HRC. Gleichzeitig ergab sich eine sehr hohe Kernfestigkeit von über 42 HRC, sie lag bei 46 bis 48 HRC, und dies trotz einer sehr milden Hochdruckgasabschreckung mit dem Abschreckmedium

Stickstoff.

[0035] Beide Getriebewellen wurden einem dynamischen Gewaltversuch zur Überprüfung der hohen Festigkeit bei hoher Zähigkeit unterworfen:

[0036] Bei einer Drehzahl von ca. 80 U/min. wurden, beginnend bei 100 Nm, Belastungszyklen auf die Getriebewellen aufgebracht. Jeder der Belastungszyklen bestand aus 5 stoßartigen Belastungen vorwärts und einem Belastungsstoß rückwärts, wobei von Zyklus zu Zyklus die Belastung um 100 Nm gesteigert wurde, und zwar so lange, bis 6.000 Nm erreicht wurden. Anschließend wurden beide Wellen begutachtet. Hierbei zeigten beide Wellen zwar plastische Verformungen durch die massiven Überlastungen, jedoch konnten keine Anrisse oder Brüche festgestellt werden.

[0037] Aufgrund der höheren Kernfestigkeit ergaben sich auch wesentlich höhere Bruchmomente, und zwar sowohl statisch (>6500 Nm) als auch dynamisch gegenüber Wellen gleicher Bauart, jedoch aus herkömmlichen Werkstoffen hergestellt.

[0038] In der nachstehenden Tabelle sind die an unterschiedlichen Stellen erreichten Härtewerte der beiden Wellen wiedergegeben, wobei die Schlitze 1, 2 und 3 aus der Fig. 1 ebenso wie die Prüfstellen der Oberflächenhärte ersehen werden können. Die Oberflächenhärte-Messstellen sind mit OH1, OH2 und OH3 in Fig. 1 angemerkt.

Tabelle 2 (M...Martensit; B...Bainit; RA...Restaustenit)

Prüfung	Schliff - Gefüge				Schliff 1		Schliff 2		Schliff 3	
	Rand	Kern	Oberflächenhärte (OH1)	Oberflächenhärte (OH2)	Eht 620 HV1	Kernhärte	Eht 620 HV1	Oberflächenhärte (OH3)	Kernhärte	Kernhärte 5mm unter der Oberfläche
Einheit			HRC	HRC	mm	HRC	mm	HV 1	HRC	HRC
Sollwert			min. 58	min. 58	0,7-1,4	min. 42	0,7-1,4	min. 654	min. 42	min. 42
Welle I	M+RA 10%	M+B	61,3	61,5	1,33	48,7	1,30	764	48,3	43,9
Welle II	M+RA 10%	M+B	62,3	61,3	0,77	48,3	0,75	767	45,7	43,4

[0039] Aus dem erfindungsgemäß hergestellten Stahl gemäß Tab. 1 wurden auch Testkörper für den Jominy Stirnabschreckversuch nach ISO642 gefertigt. Wie aus den Fig. 2, 3, 4 und 5 zu erkennen ist, weist der erfindungsgemäß hergestellte Stahl nach dem Einsatzhärten eine Überlegenheit im Vergleich zu bisher verwendeten Stahlsorten, vor allem im größeren Abstand von der Stirnfläche, auf. Er zeichnet sich im Vergleich zu den herkömmlichen Stahlsorten durch nur einen geringen Abfall der Härte mit größer werdendem Abstand von der Stirnfläche aus, wobei jene dem Stand der Technik zugehörenden Stahlsorten, die an der Stirnfläche eine besonders hohe Härte aufweisen, und zwar eine höhere als der erfindungsgemäß hergestellte Stahl, einen eklatanten Abfall der Härte mit zunehmendem Abstand von der Stirnfläche hinnehmen müssen, was bedeutet, dass bei diesen Stählen die hohe Härte nur in sehr geringem Abstand von der Stirnfläche vorhanden ist, wogegen sich der erfindungsgemäß hergestellte Stahl durch eine nahezu konstante Härte bis zum Abstand von etwa 20 mm von der Stirnfläche auszeichnet. Aber auch mit noch größerer Entfernung von der Stirnfläche, also in dem Bereich von 20 bis 50 mm ist der Abfall der Härte wesentlich geringer als bei herkömmlichen Stählen.

[0040] Fig. 6 zeigt ein Schliffbild des Oberflächenbereiches einer erfindungsgemäß hergestellten Getriebewelle, und zwar quer zur Längsachse der Getriebewelle entnommen. Es zeigt sich die aufgekohlte Randschicht R mit Martensit und Restaustenit, die in den Kernbereich K mit Martensit und Bainit übergeht. Fig. 7 zeigt ein Detail aus dem Randbereich und Fig. 8 ein Detail aus dem Kernbereich in vergrößertem Maßstab.

[0041] Der erfindungsgemäß hergestellte Stahl eignet sich nicht nur in besonderer Weise für Getriebewellen, sondern auch für andere einsatzgehärtete hochbeanspruchte Maschinenteile, wie z.B. Zahnräder, insbesondere Getriebezahnräder, Sonnenräder, Planetenräder, Hohlräder, Aktuatoren (Kurvenscheiben, Nocken, etc.) oder Triebsätze (Trieblinge und Tellerräder).

[0042] Die Vorteile des erfindungsgemäß hergestellten Stahles lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

EP 1 681 365 B1

- Extrem hohe Härbarkeit (ISO642) des Werkstoffes auch im Vollquerschnitt: J50 ca. 40 HRC. Vergleich mit dem Werkstoff Ovatec 277 der Fa. Ovako Steel - Lufthärter: J50 = 38 HRC trotz des sehr hohen Anteils an teuren Legierungselementen wie Cr ca. 2,20%, Ni ca. 0,50%, Mo ca. 0,50% und V ca. 0,20%.
- Beste mechanisch-technologische Eigenschaften (statisch und dynamischzyklisch),
- Hohe Sicherheiten gegen Bruch bei statischer und/oder dynamischer Beanspruchung durch hohe Kernfestigkeiten bzw. Kernhärte.
- Kaum Umwandlungsplastizität (Verzug) beim Härten mit Hochdruckgasabschreckung (milde Abschreckung = geringste Abschreckdrücke unter Verwendung eines billigen Abschreckmediums, z.B. Stickstoff oder Luft; z.B. Durchmesser 35 mm Wellen-Vollquerschnitt, mit Stickstoff 3,0 bar Abschreckdruck: Kernhärte 46 - 48 HRC).
- Ausschussvermeidung beim mechanischen Richten des Werkstückes durch geringsten Verzug (<50µm).
- Sehr kostengünstiger Stahl (keine teuren Legierungselemente).
- Schwankungsbreite der Legierungselemente stark reduziert (geringe Legierungsgehalte):
 - o damit extrem geringes Härtestreuband,
 - o reproduzierbares vorhersagbares Ergebnis beim Härten,
 - o geringe Schwankungen der mechanisch-technologischen Eigenschaften am fertigen Bauteil.
- Geringere Aufkohlungszeit bei gleicher Diffusionsrate durch den höheren Kohlenstoffgehalt des Wellen-Werkstoffes (von 0,2% C auf 0,3% C im Ausgangszustand vor dem Aufkohlen ca. 30% geringere Aufkohlungszeit bei einer Einhärtetiefe von ca. 0,5 - 0,6 mm!).

[0043] Bei gleichem C-Pegel während des Aufkohlens eine um 30% verkürzte Taktzeit gegenüber herkömmlichen bisher verwendeten Stählen, woraus sich der Vorteil einer kürzeren Durchstoßanlage ergibt (ca. 5% geringere Investitionskosten, ca. 10% geringere Betriebskosten).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines hochbeanspruchbaren Maschinenteils, wie einer Getriebewelle, **gekennzeichnet durch** die nachfolgenden Verfahrensschritte:

- Verwendung eines Stahles mit der folgenden chemischen Zusammensetzung:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %
Si: 0,10 - 0,50 Gew. %
Mn: 0,12 - 3,5 Gew. %
Cr: ≤1,2 Gew. %
P: ≤ 0,05 Gew. %
B: 30 - 120 ppm sowie:
gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %
gegebenenfalls Ni: ≤ 1,0 Gew. %
Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen

- Herstellung eines Rohlings, vorzugsweise **durch** Schmieden, Rundkneten oder Fließpressen,
- Spanabhebende Endfertigung des Maschinenteils,
- Einsatzhärten des spanabhebend endgefertigten Maschinenteils und
- Härten **durch**
- Abschrecken mit Gas, vorzugsweise mit Stickstoff
- sowie Anlassen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahl mit der folgenden chemischen Zusammensetzung verwendet wird:

C: 0,26 - 0,46 Gew. %
Si: 0,15 - 0,25 Gew. %
Mn: 1,4 - 3,0 Gew. %
Cr: 0,05 - 1 Gew. %
P: ≤ 0,02 Gew. %

EP 1 681 365 B1

B: 35 - 60 ppm sowie:
gegebenenfalls Ti: 0,035 - 0,05 Gew. %
gegebenenfalls Ni: < 0,15 %
Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen,
wobei die Herstellung des Rohlings durch Rundkneten oder Kaltfließpressen erfolgt.

3. Verfahren zum Herstellen eines hochbeanspruchbaren Maschinenteils, wie einer Getriebewelle, **gekennzeichnet durch** die nachfolgenden Verfahrensschritte:

- Verwendung eines Stahles mit der folgenden chemischen Zusammensetzung:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %
Si: 0,10 - 0,50 Gew. %
Mn: 0,5 - 3,5 Gew. %
Cr: 0,009 - 1,2 Gew. %
P: $\leq 0,05$ Gew. %
B: 30 - 120 ppm
gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %
gegebenenfalls Ni: $\leq 1,0$ Gew. %
N: < 0,016 Gew. %
Al: 0,015 - 0,04 Gew. %, wobei der Al-Gehalt mindestens doppelt so hoch ist wie der Stickstoffgehalt,
S: 0,02 - 0,04 Gew. %
Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen

- Herstellung eines Rohlings, vorzugsweise **durch** Schmieden, Rundkneten oder Fließpressen,
- Spanabhebende Endfertigung des Maschinenteils,
- Einsatzhärten des spanabhebend endgefertigten Maschinenteils und
- Härten **durch**
- Abschrecken mit Gas, vorzugsweise mit Stickstoff
- sowie Anlassen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Stahl mit der folgenden chemischen Zusammensetzung verwendet wird:

C: 0,20 - 0,50 Gew. %
Si: 0,10 - 0,50 Gew. %
Mn: 1,4 - 3,0 Gew. %
Cr: 0,05 - 0,7 Gew. %
P: $\leq 0,05$ Gew. %
B: 40 - 80 ppm
gegebenenfalls Ti: 0,020 - 0,07 Gew. %
gegebenenfalls Ni: $\leq 1,0$ Gew. %
N: < 0,016 Gew. %
Al: 0,015 - 0,04 Gew. %, wobei der Al-Gehalt mindestens doppelt so hoch ist wie der Stickstoffgehalt,
S: 0,02 - 0,035 Gew. %
Rest Fe und erschmelzungsbedingte Verunreinigungen.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einsatzhärten in einem Temperaturbereich zwischen 880 und 1050 °C sowie vorzugsweise zwischen 900 und 950 °C beim Aufkohlen mit anschliessendem Diffundieren zwischen 840 und 880 °C, vorzugsweise bei etwa 860 °C, erfolgt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Einsatzhärtens ein C-Pegel von 0,7 bis 1,2 Gew. % beim Aufkohlen und von 0,7 bis 0,8 Gew. % beim Diffundieren eingestellt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Einsatzhärtens ein C-Pegel von 1,0 bis 1,1 Gew. % beim Aufkohlen und von 0,7 bis 0,8 Gew. % beim Diffundieren eingestellt wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Härten ausgehend von einer Temperatur von etwa 850 bis 910 °C, vorzugsweise ausgehend von etwa 860 °C, erfolgt.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Anlassen auf einen Temperaturbereich von max. 200 °C, vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa 160 °C, erfolgt.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abschrecken mit einem Gasdruck von 3 bar durchgeführt wird.

Claims

1. A method for the manufacture of a highly stressable machine part, such as a transmission shaft, **characterised by** the following method steps:

- use of a steel having the following chemical composition:

C: 0.20 - 0.50% by weight
 Si: 0.10 - 0.50% by weight
 Mn: 0.12 - 3.5% by weight
 Cr: $\leq 1.2\%$ by weight
 P: $\leq 0.05\%$ by weight
 B: 30 - 120 ppm and:
 optionally Ti: 0.020 - 0.07% by weight
 optionally Ni: $\leq 1.0\%$ by weight
 remainder Fe and contaminants due to melting;

- manufacture of a blank, preferably by forging, rotary swaging or impact extrusion;
 - chip-forming final production of the machine part;
 - case hardening of the machine part finally produced by chip forming; and
 - hardening by
 - quenching with gas, preferably with nitrogen;
 - as well as tempering.

2. A method in accordance with claim 1, **characterised in that** a steel is used having the following chemical composition:

C: 0.26 - 0.46% by weight
 Si: 0.15 - 0.25% by weight
 Mn: 1.4 - 3.0% by weight
 Cr: 0.05 - 1% by weight
 P: $\leq 0.02\%$ by weight
 B: 35 - 60 ppm and:
 optionally Ti: 0.035 - 0.05% by weight
 optionally Ni: $< 0.15\%$
 remainder Fe and contaminants due to melting,
 wherein the manufacture of the blank takes place by rotary swaging or cold impact extrusion.

3. A method for the manufacture of a highly stressable machine part, such as a transmission shaft, **characterised by** the following method steps:

- use of a steel having the following chemical composition:

C: 0.20 - 0.50% by weight
 Si: 0.10 - 0.50% by weight
 Mn: 0.5 - 3.5% by weight
 Cr: 0.009 - 1.2% by weight
 P: $\leq 0.05\%$ by weight
 B: 30 - 120 ppm

optionally Ti: 0.020 - 0.07% by weight
 optionally Ni: $\leq 1.0\%$ by weight
 N: $< 0.016\%$ by weight
 Al: 0.015 - 0.04% by weight, wherein the Al content is at least twice as high as the nitrogen content;
 S: 0.02 - 0.04% by weight
 remainder Fe and contaminants due to melting

- manufacture of a blank, preferably by forging, rotary swaging or impact extrusion;
- chip-forming final production of the machine part;
- case hardening of the machine part finally produced by chip forming; and
- hardening by
- quenching with gas, preferably with nitrogen;
- as well as tempering.

4. A method in accordance with claim 3, **characterised in that** a steel is used having the following chemical composition:

C: 0.20 - 0.50% by weight
 Si: 0.10 - 0.50% by weight
 Mn: 1.4 - 3.0% by weight
 Cr: 0.05 - 0.7% by weight
 P: $\leq 0.05\%$ by weight
 B: 40 - 80 ppm
 optionally Ti: 0.020 - 0.07% by weight
 optionally Ni: $\leq 1.0\%$ by weight
 N: $< 0.016\%$ by weight
 Al: 0.015 - 0.04% by weight, wherein the Al content is at least twice as high as the nitrogen content;
 S: 0.02 - 0.035% by weight
 remainder Fe and contaminants due to melting.

5. A method in accordance with one or more of the claims 1 to 4, **characterised in that** the case hardening takes place in a temperature range between 880 and 1050°C as well as preferably between 900 and 950°C on carburising with subsequent diffusion between 840 and 880°C, preferably at approximately 860°C.

6. A method in accordance with one or more of the claims 1 to 5, **characterised in that** during the case hardening a C level from 0.7 to 1.2% by weight is set on carburising and from 0.7 to 0.8% by weight on diffusing.

7. A method in accordance with claim 6, **characterised in that** during the case hardening a C level from 1.0 to 1.1% by weight is set on carburising and from 0.7 to 0.8% by weight on diffusing.

8. A method in accordance with one or more of the claims 1 to 7, **characterised in that** the hardening takes place starting from a temperature of approximately 850 to 910°C, preferably starting from approximately 860°C.

9. A method in accordance with one or more of the claims 1 to 8, **characterised in that** the tempering takes place to a temperature range of max. 200°C, preferably to a temperature of approximately 160°C.

10. A method in accordance with one or more of the claims 1 to 9, **characterised in that** the quenching is carried out with a gas pressure of 3 bar.

Revendications

1. Procédé pour fabriquer une partie de machine pouvant être fortement sollicitée, comme un arbre de transmission, **caractérisé par** les étapes de procédé suivantes :

- utilisation d'un acier présentant la composition chimique suivante :

C : 0,20-0,50 % en poids
 Si : 0,10-0,50 % en poids

EP 1 681 365 B1

Mn : 0,12-3,5 % en poids

Cr: $\leq 1,2$ % en poids

P: $\leq 0,05$ % en poids

B : 30-120 ppm ainsi que :

éventuellement Ti : 0,020-0,07 % en poids éventuellement Ni : $\leq 1,0$ % en poids

le reste du Fe et des impuretés dus à la fusion

- fabrication d'une ébauche, de préférence par forgeage, rétreint ou extrusion

- finition avec enlèvement de copeaux de la partie de machine,

- cémentation de la partie de machine ayant subi une finition avec enlèvement de copeaux et

- trempe par

- refroidissement brusque avec du gaz, de préférence avec de l'azote

- et recuit.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**on utilise un acier présentant la composition chimique suivante :

C : 0,26-0,46 % en poids

Si : 0,15-0,25 % en poids

Mn : 1,4-3,0 % en poids

Cr : 0,05-1% en poids

P: $\leq 0,02$ % en poids

B : 35-60 ppm et :

éventuellement Ti : 0,035-0,05 % en poids

éventuellement Ni : $< 0,15$ %

le reste du Fe et des impuretés dues à la fusion

- la fabrication de l'ébauche s'effectuant par rétreint ou extrusion à froid.

3. Procédé pour la fabrication d'une partie de machine pouvant être fortement sollicitée, comme un arbre de transmission, **caractérisé par** les étapes de procédé suivantes :

- utilisation d'un acier présentant la composition chimique suivante :

C : 0,20-0,50 % en poids

Si : 0,10-0,50 % en poids

Mn : 0,5-3,5 % en poids

Cr : 0,009-1,2 % en poids

P : $\leq 0,05$ % en poids

B : 30-120 ppm

éventuellement Ti : 0,020-0,07 % en poids éventuellement Ni $\leq 1,0$ % en poids

N : $< 0,016$ % en poids.

Al : 0,015-0,04 % en poids, la teneur en Al étant au moins le double de la teneur en azote,

S : 0,02-0,04 % en poids

le reste du Fe et des impuretés dues à la fusion

- fabrication d'une ébauche, de préférence par forgeage, rétreint ou extrusion,

- finition avec enlèvement de copeaux de la partie de machine

- cémentation de la partie de machine ayant subi une finition avec enlèvement de copeaux et

- trempe par

- refroidissement brusque avec du gaz, de préférence avec de l'azote

- et recuit.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'**on utilise un acier présentant la composition chimique suivante :

C : 0,20-0,50 % en poids

Si : 0,10-0,50 % en poids

EP 1 681 365 B1

Mn : 1,4-3,0 % en poids

Cr : 0,05-0,7% en poids

P : $\leq 0,05$ % en poids

B : 40-80 ppm

éventuellement Ti : 0,020-0,07 % en poids éventuellement Ni : $\leq 1,0$ % en poids

N : $< 0,016$ % en poids.

Al : 0,015-0,04 % en poids, la teneur en Al étant au moins le double de la teneur en azote,

S : 0,02-0,35 % en poids

le reste du Fe et des impuretés dues à la fusion.

5. Procédé selon l'une quelconque ou plusieurs des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la cémentation s'effectue dans une plage de températures comprise entre 880 et 1050°C et de préférence entre 900 et 950°C lors de la carburation avec diffusion consécutive entre 840 et 880°C, de préférence à environ 860°C.
6. Procédé selon l'une quelconque ou plusieurs des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** pendant la cémentation, on règle un niveau C de 0,7 à 1,2 % en poids lors de la carburation et de 0,7 à 0,8 % en poids lors de la diffusion.
7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que**, pendant la cémentation, on règle un niveau C de 1,0 à 1,1 % en poids lors de la carburation et de 0,7 à 0,8 % en poids lors de la diffusion.
8. Procédé selon l'une quelconque ou plusieurs des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la trempe s'effectue à partir d'une température d'environ 850 à 910°C, de préférence à partir d'environ 860°C.
9. Procédé selon l'une quelconque ou plusieurs des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le recuit s'effectue sur une plage de températures de maximum 200°C, de préférence à une température d'environ 160°C.
10. Procédé selon l'une quelconque ou plusieurs des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** le refroidissement brusque est effectué avec une pression de gaz de 3 bars.

FIG. 1

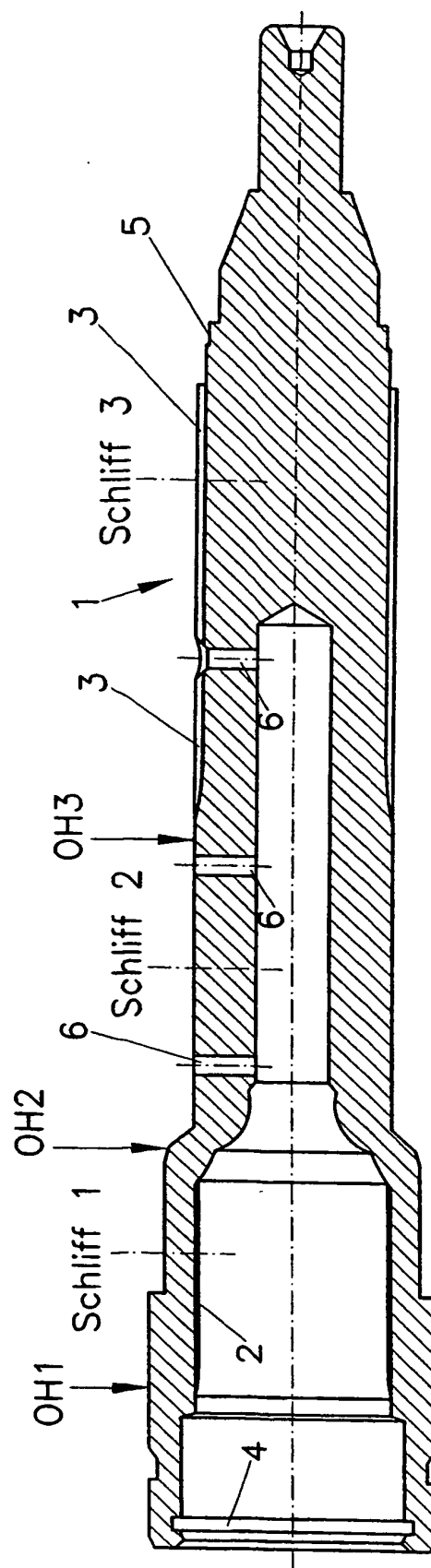


FIG. 3

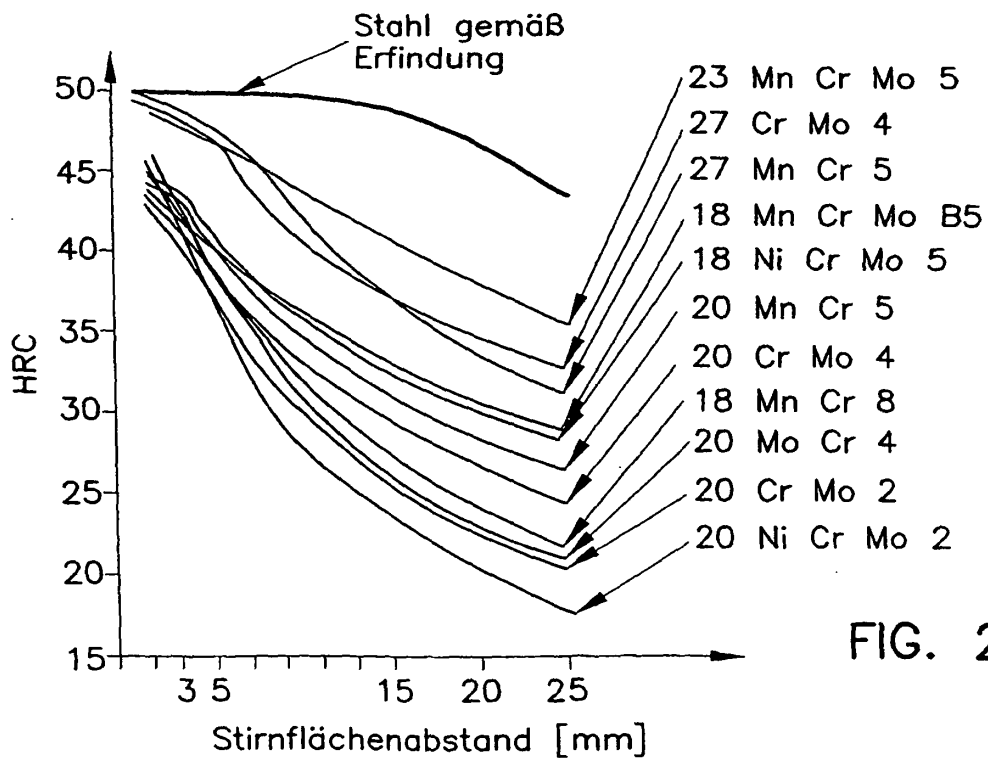
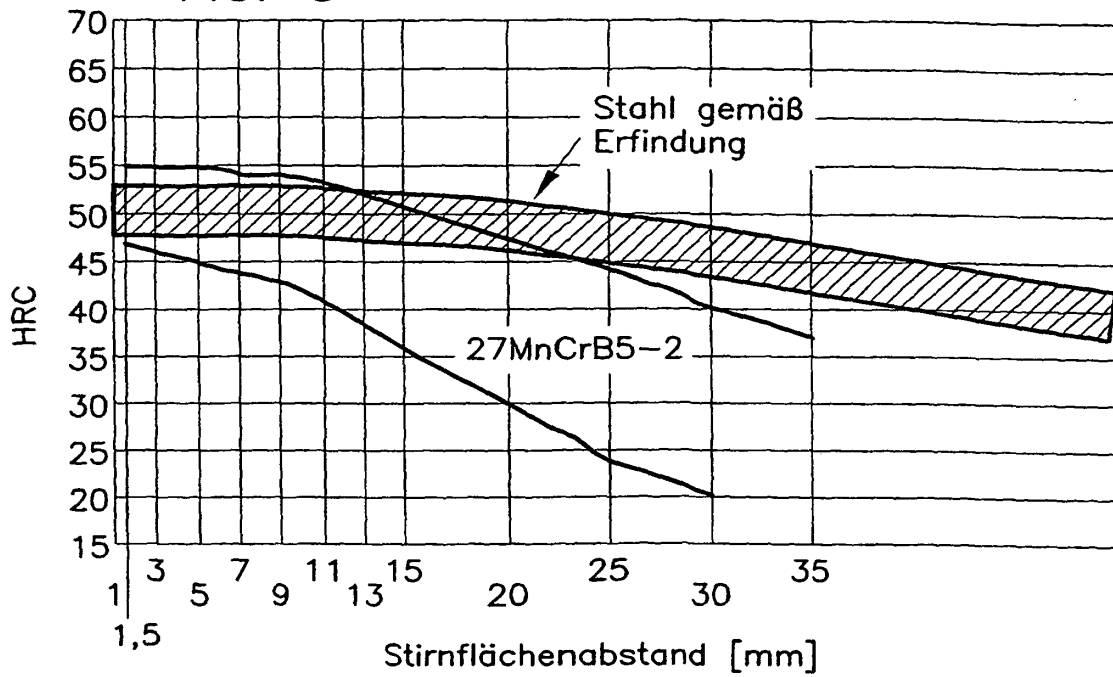


FIG. 2

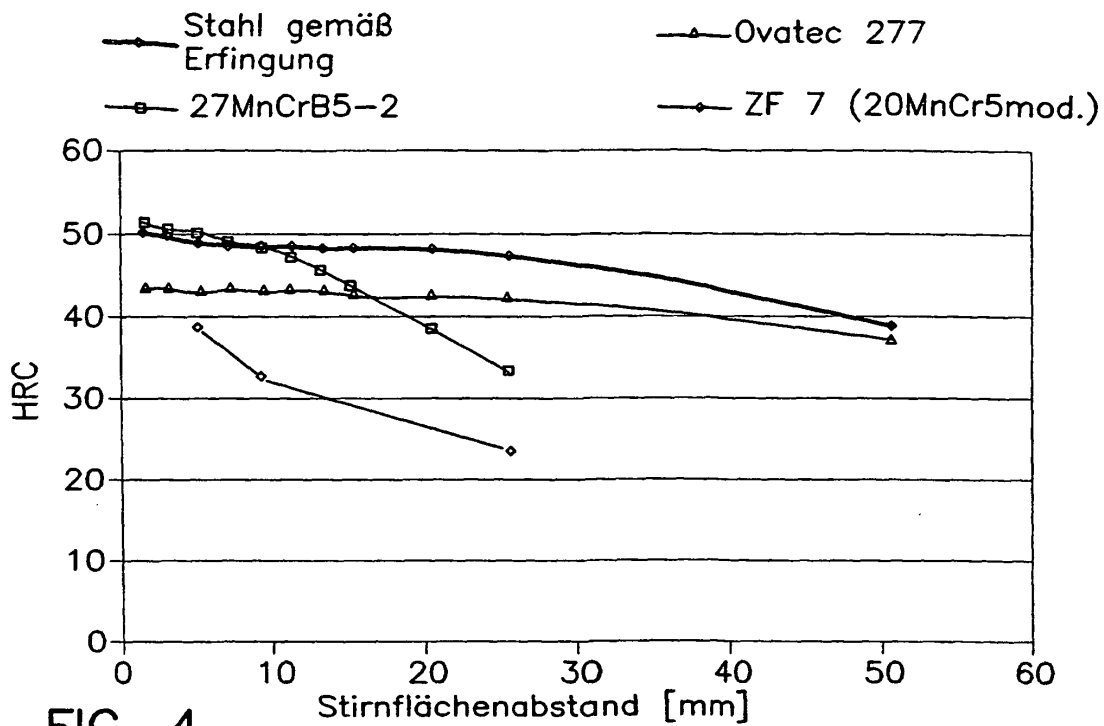
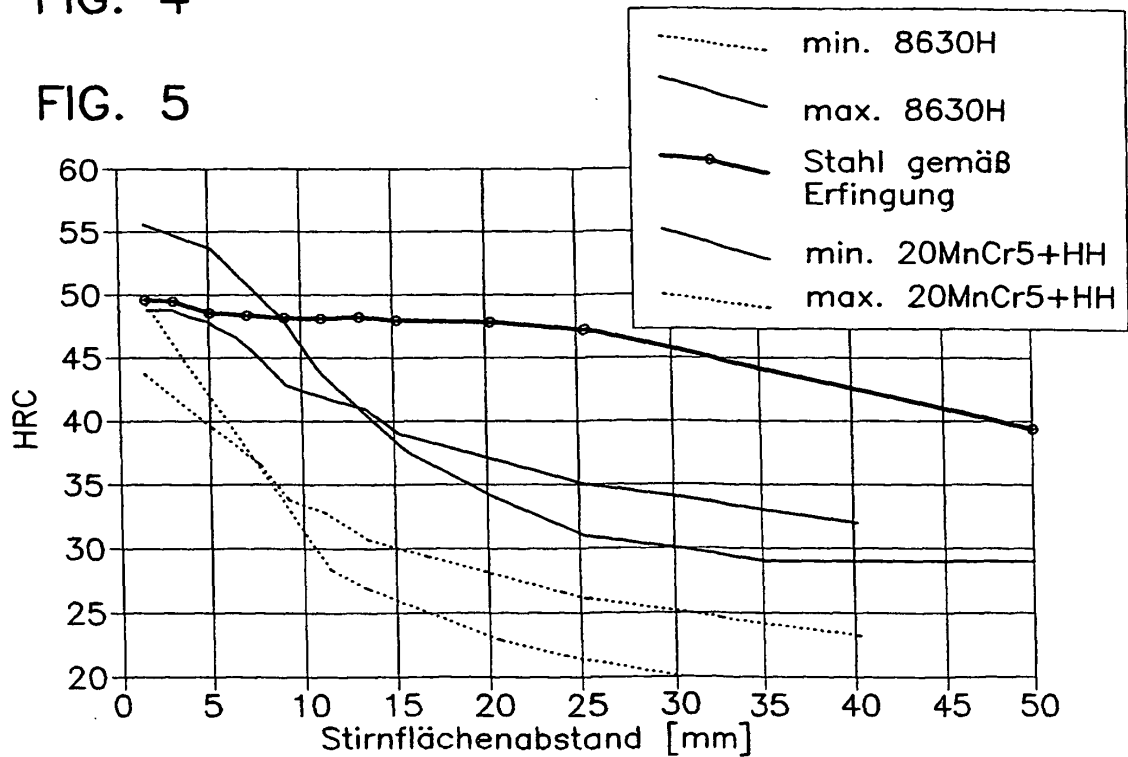


FIG. 4

FIG. 5



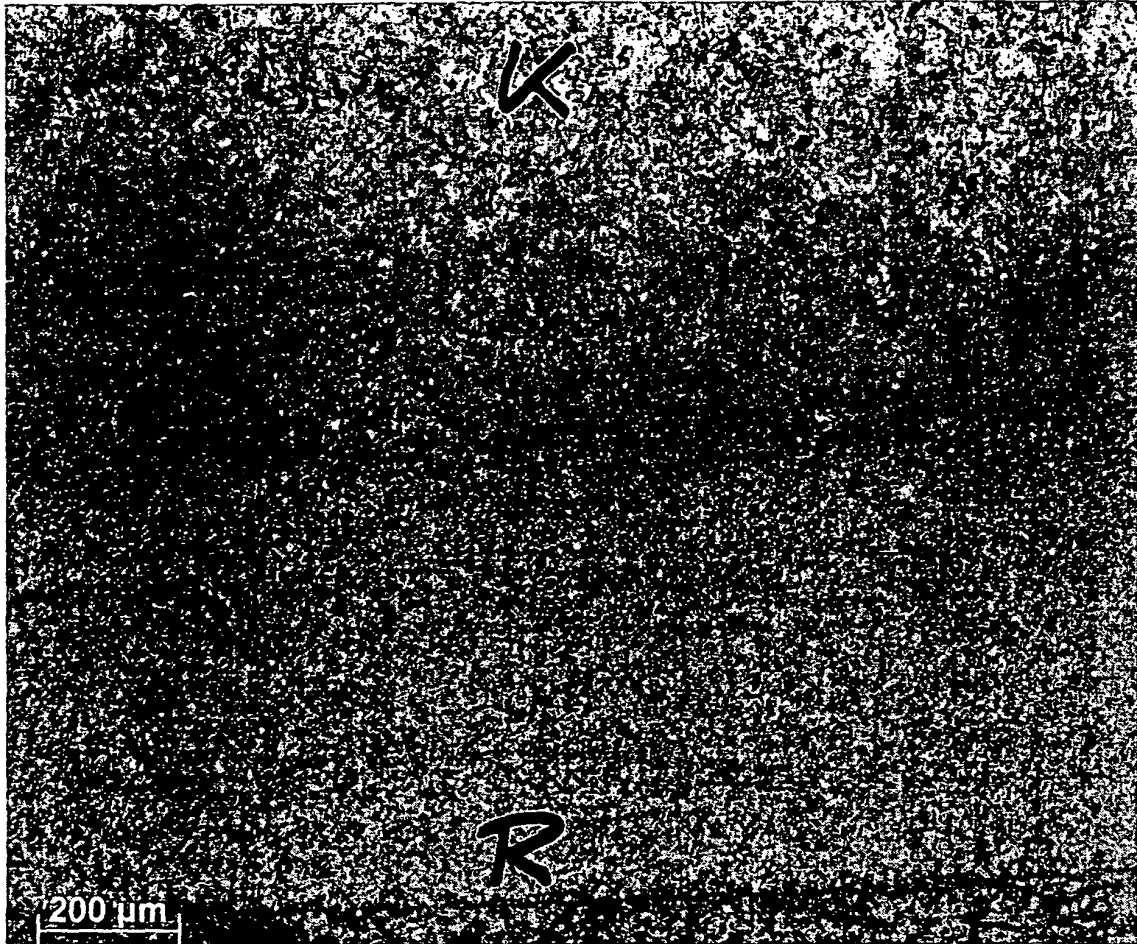


Fig. 6

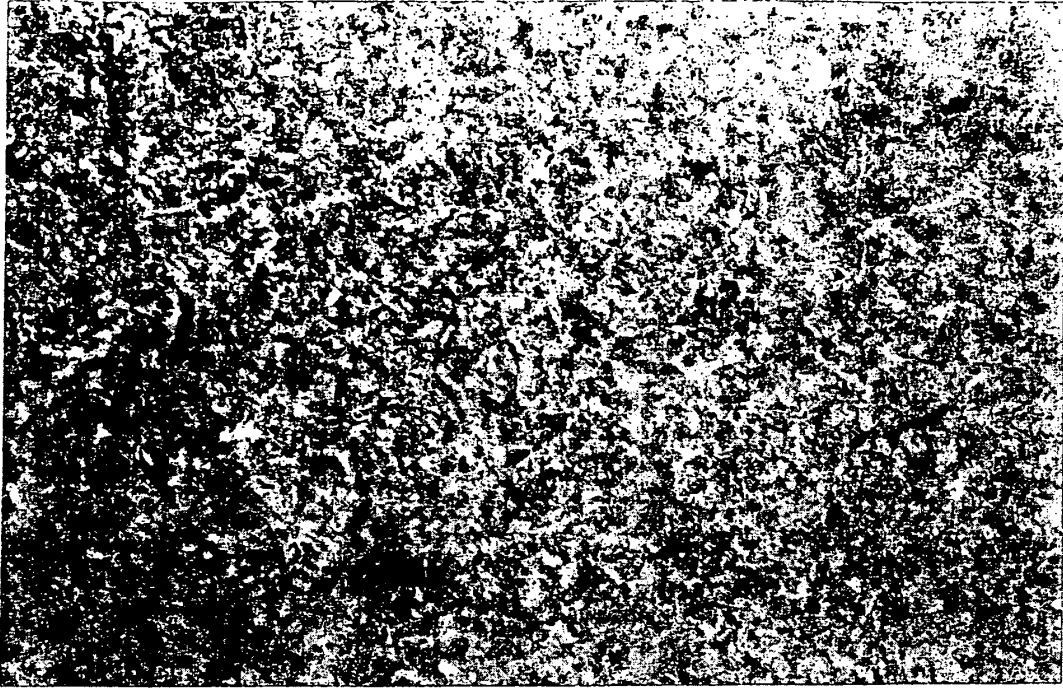


Fig. 7

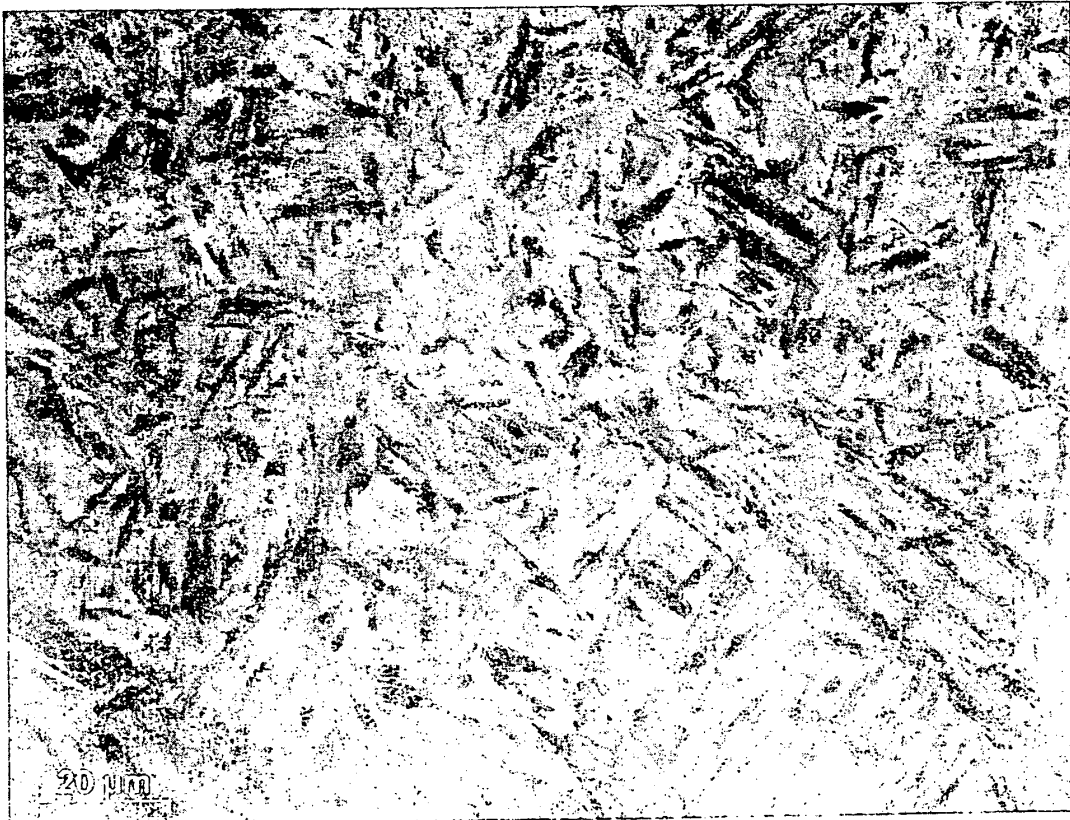


Fig. 8

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

- JP 8092690 A [0009]
- JP 8311607 A [0010]
- US 5178688 A [0011]