

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 413 633 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
21.12.2005 Patentblatt 2005/51

(51) Int Cl.7: **C21D 8/00, C21D 9/00**

(21) Anmeldenummer: **03023140.1**

(22) Anmeldetag: **10.10.2003**

(54) **Verfahren zur Herstellung von gehärteten Bauteilen aus Stahl**

Process for manufacturing hardened components made of steel

Procédé pour la fabrication de composants durcis en acier

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR IT

(30) Priorität: **10.10.2002 DE 10247372**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.04.2004 Patentblatt 2004/18

(73) Patentinhaber: **Rexroth Star GmbH**
97424 Schweinfurt (DE)

(72) Erfinder:
• **Siebenlist, Norbert**
97490 Poppenhausen (DE)

• **Krauss, Walter, Dr.**
97440 Werneck-Schraudenbach (DE)

(74) Vertreter: **Herzog, Markus et al**
Weickmann & Weickmann
Patentanwälte
Postfach 86 08 20
81635 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 943 694 **DE-C- 19 821 797**
US-A- 4 973 368 **US-A- 5 496 425**
US-B1- 6 306 230 **US-B1- 6 334 370**

EP 1 413 633 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von gehärteten, insbesondere wälzbeanspruchten, Bauteilen aus Stahl, beispielsweise zur Herstellung von Muttern von Wälzkörpergewindetrieben.

[0002] Herkömmlich wird bei derartigen Herstellungsverfahren ein Halbzeug aus Wälzlagerstahl, beispielsweise 100 Cr 6, im weichen Zustand vorgeformt. Anschließend werden entweder das komplette Bauteil oder zumindest dessen Funktionsflächen wärmetechnisch behandelt, um eine geforderte Oberflächenhärte von ≥ 58 HRC zu erhalten, sowie die für die Belastung im Betrieb erforderliche Einhärtetiefe zu erzielen. Mittels der Wärmebehandlung werden dabei üblicherweise martensitische Gefügestrukturen erzeugt, die den genannten Bedingungen genügen. Auf Grund der komplexen, nicht-monokausalen Wechselwirkungen zwischen den inneren Spannungen des Bauteils im ungehärteten Zustand, den durch die Wärmebehandlung induzierten Thermospannungen auf Grund von Temperaturgradienten als auch den phasenumwandlungsbedingten Umwandlungsspannungen ergeben sich Form- und Maßänderungen des Bauteils (Härteverzug). Diese Form- und Maßänderungen sind zum großen Teil stochastischer Natur und können durch Optimierung des Vormaterials, der Weichteilbearbeitung sowie der Wärmebehandlung nur unzureichend berücksichtigt werden. Die für die Funktion von wälzbeanspruchten Bauteilen, beispielsweise Muttern von Wälzkörpergewindetrieben, benötigten hochgenauen Geometrien können daher nur dadurch erzielt werden, dass man das Bauteil im weichen Zustand mit einem entsprechenden Aufmaß vorformt und im Anschluss an die Wärmebehandlung im gehärteten Zustand zur Ausbildung der geforderten Geometrie mit definierter oder undefinierter Schneide nachbearbeitet. Dies ist äußerst aufwendig.

[0003] Es wurden daher bereits verschiedene alternative Herstellungsverfahren vorgeschlagen, welche das Ziel hatten, den Hartbearbeitungsprozess entfallen lassen zu können. Hierzu sei beispielsweise auf die US 6,334,370 B1 verwiesen. Diese Ansätze führten jedoch entweder dazu, dass die geforderten Maßgenauigkeiten nicht erfüllt werden konnten, oder dazu, dass durch das gleichzeitige Entfallen der Wärmebehandlung die allgemeinen Anforderungen an wälzbeanspruchte Bauteile nicht erfüllt werden konnten.

[0004] Aus der DE 198 21 797 C1 ist aber auch ein Verfahren zur Herstellung von gehärteten Bauteilen aus Stahl bekannt, bei welchem ein als lufthärtender Stahl bezeichneter Werkstoff eingesetzt wird. Dabei versteht diese Druckschrift, ebenso wie die vorliegende Erfindung, unter lufthärtenden Stählen eine Klasse von Werkstoffen, deren Zeit-Temperatur-Umwandlungsverhalten nach einer Austenitisierung unter der Annahme der Wärmeübergangskoeffizienten von Luft Abkühlgeschwindigkeiten ergibt, die ausreichen, um eine martensitische Phasenumwandlung zu initiieren. Bei dem be-

kannten Verfahren wird der Stahl auf über 1100°C erwärmt, bei dieser Temperatur erfolgt eine Warmumformung der Bauteile und die Bauteile werden anschließend unter gleichzeitiger thermomechanischer Behandlung in Luft abgekühlt. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass die bei der Warmumformung und der thermomechanischen Behandlung eingesetzten Werkzeuge den jeweils herrschenden Temperaturen von bis zu 1100°C widerstehen können müssen. Es ist also der Einsatz von Spezialwerkzeugen erforderlich. Darüber hinaus muss die Bearbeitung der Bauteile temperaturgesteuert erfolgen, d.h. unter räumlich und/oder anlagentechnisch eingeschränkten Bedingungen.

[0005] Demgegenüber ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von gehärteten Bauteilen aus Stahl, insbesondere wälzbeanspruchten Bauteilen, wie Muttern von Wälzkörpergewindetrieben, anzugeben, welches ohne spanabhebende Hartbearbeitung der Bauteile und ohne den Einsatz von Spezialwerkzeugen auskommt.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung von gehärteten Bauteilen aus Stahl, umfassend die im Anspruch 1 definierten Schritte.

[0007] Die in der vorliegenden Anmeldung als "lufthärtende" Stähle bezeichneten Werkstoffe zeichnen sich durch eine hohe Homogenität, sehr gute plastische Kaltbearbeitungseigenschaften, gute Zerspaneigenschaften im weichen Zustand sowie hervorragende Zerspaneigenschaften im gehärteten Zustand aus. Der Mindestkohlenstoffgehalt ist so gewählt, dass sichergestellt ist, dass die für den Verwendungszweck als wälzbelastetes Bauteil erforderliche Mindesthärte sichergestellt werden kann. Wie bereits erwähnt, erlaubt das spezielle Zeit-Temperatur-Umwandlungsverhalten dieser Stähle zur Ausbildung von martensitischen Strukturen eine derart genügend langsame Abkühlung, dass keine forcierte Abkühlung mittels Wasser, Polymerlösungen, Ölen, Salzschnmelzen oder über eine Gashochdruckabschreckung oder dergleichen durchgeführt werden muss.

[0008] In Folge der hierdurch möglichen Minimierung von Abkühlungseigenspannungen zeigt das Material im Rahmen einer Wärmebehandlung zur erzeugung martensitischer und/oder bainitischer Gefüge nur geringe Form- und Maßänderungen. Diese Werkstoffe zeigen ein hoch- und höchstlegierten Güten analoges Abkühlverhalten, ohne jedoch die bei diesen durch die hohen Anteile von Legierungselementen bedingten hohen Rohmaterialkosten zu verursachen. Im Unterschied zu hochlegierten Güten können die bei diesen auf Grund deren spezieller Mischphasenthermodynamik erforderlichen, kostenintensiven sekundärmetallischen Prozesse, wie ESR und VAR, entfallen. Insbesondere kann bei Einsatz lufthärtender Stähle durch eine langsame Abkühlung, beispielsweise eine Abkühlung an ruhender bzw. inerte Luft, die martensitische Gefügeumwandlung induziert werden, ohne dass kostenintensive Le-

gierungselemente in entsprechend hoher Konzentration vorhanden sein müssen.

[0009] Insgesamt hat sich gezeigt, dass lufthärtende Stähle die für gehärtete Bauteile, insbesondere die für wälzbeanspruchte Bauteile, erforderliche Maßhaltigkeit auch dann aufweisen, wenn sie bereits im kalten Zustand in ihre endgültige Form gebracht werden, und die Wärmebehandlung tatsächlich nur noch dem Härten des fertig geformten Bauteils dient. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es somit nicht nur möglich geworden, auf eine spanabhebende Hartbearbeitung nach der Wärmebehandlung zu verzichten, sondern auch die formgebende Bearbeitung des Bauteils im kalten Zustand und somit mit herkömmlichen Werkzeugen durchzuführen. Beides zusammen führt zu erheblichen Kosteneinsparungen und Vereinfachungen bei der Herstellung der Bauteile.

[0010] Unabhängig von der genauen Art der Wärmebehandlung kann ein geeigneter lufthärtender Stahl die folgende Zusammensetzung aufweisen:

etwa 0,31 Gew.-% bis etwa 0,85 Gew.-% Kohlenstoff (C),
 etwa 0,95 Gew.-% bis etwa 2,10 Gew.-% Silizium (Si),
 etwa 1,15 Gew.-% bis etwa 1,85 Gew.-% Mangan (Mn),
 etwa 0,00 Gew.-% bis etwa 1,65 Gew.-% Chrom (Cr),
 etwa 0,05 Gew.-% bis etwa 0,20 Gew.-% Nickel (Ni),
 etwa 0,10 Gew.-% bis etwa 0,70 Gew.-% Molybdän (Mo),

Rest Eisen und übliche Verunreinigungen, wobei die üblichen Verunreinigungen beispielsweise Sauerstoff (O) in einer Konzentration von bis zu 10 ppm und Titan (Ti) in einer Konzentration von bis zu 30 ppm sein können.

[0011] Vorzugsweise gelangt ein Stahl mit

etwa 0,67 Gew.-% Kohlenstoff (C),
 etwa 1,50 Gew.-% Silizium (Si),
 etwa 1,50 Gew.-% Mangan (Mn),
 etwa 1,00 Gew.-% Chrom (Cr),
 etwa 0,10 Gew.-% Nickel (Ni),
 etwa 0,25 Gew.-% Molybdän (Mo),

Rest Eisen und übliche Verunreinigungen zur Anwendung.

[0012] Die Formgebung des Bauteils kann beispielsweise durch Hämmern erfolgen. Alternativ ist es jedoch auch möglich, das Halbzeug durch Gewindebohren und Drücken kaltumzuformen. Diese beiden an sich bekannten Kaltumformungs-Varianten sollen nachfolgend am Beispiel der Herstellung der Mutter eines Wälzkörpergewindetriebs näher erläutert werden:

[0013] Beim Hämmern bzw. Rundkneten wird ein zylindrisches Halbzeug auf einen Profildorn aufgeschoben,

der die Innenkontur der Wälzkörperlaufbahn aufweist. Durch eine Mehrzahl von Stößen, die drehend und durch Fliehkraft eine Schlagbewegung ausführen, wird das Material des Halbzeugs auf den Profildorn geformt. Das Werkstück führt dabei eine Axialbewegung und damit einen Vorschub aus. Nach der Kaltverformung wird der Profildorn aus dem Bauteil herausgedreht und es folgt eine spanabhebende Bearbeitung der Außenkontur.

[0014] Beim Gewindebohren und Drücken wird das Bauteil bis auf die Wälzkörperlaufbahn durch spanende Bearbeitung hergestellt. Die Laufbahn wird zunächst durch Gewindebohren mit einem geringen Aufmaß in das Bauteil eingeformt. Anschließend wird sie durch einen Drückprozess auf Maß gebracht und ihre Oberfläche geglättet.

[0015] Als Beispiele für im Rahmen des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens geeignete Wärmebehandlungen seien hier das Durchhärten über das gesamte Bauteilvolumen mittels konventioneller Ofentechnik, sei es mit oder ohne spezielle Atmosphäre, mittels Vakuumhärteverfahren oder mittels magnetischer Erwärmung, das induktive Härten oder Flammhärten bestimmter Funktionsbereiche und das Nitrieren oder Karbonitrieren erwähnt. Als Eckdaten, die das Umwandlungsverhalten des Stahles und somit den Phasenraum einer thermo-mechanischen Bearbeitungsmöglichkeit beschreiben, sind zu nennen:

- Die Austenitisierung erfolgt bei einer Temperatur T_{Austenit} von mehr als 900°C , vorzugsweise zwischen etwa 920°C und etwa 950°C ,
- Die Perlitbildung erfolgt bei Abkühlgeschwindigkeiten von weniger als etwa $0,1\text{ K/sec}$ in einem Temperaturbereich zwischen einer Starttemperatur $T_{\text{Perlit,Start}}$ von etwa 680°C und einer Endtemperatur $T_{\text{Perlit,Finish}}$ von etwa 650°C .
- Die Martensitbildung beginnt bei einer Temperatur $T_{\text{Martensit,Start}}$ von etwa 200°C .

[0016] Während im Fall herkömmlich durchhärtender Wälzlagerstähle, beispielsweise SAE 52100, die Bauteile in Sekunden auf eine $T_{\text{Martensit,Start}}$ von etwa 290°C abgekühlt werden muss, stehen im Fall der vorliegenden Erfindung Stunden zur Verfügung. Bedingt durch die Legierungszusammensetzung sind jedoch im Rahmen einer industriellen Wärmebehandlung bzw. thermomechanischer Prozesse Abkühlungseffekte zu berücksichtigen.

[0017] Nach dem Härten kann das Bauteil dann noch einer Oberflächenveredelung unterzogen werden, wobei hierunter keine geometrieerzeugenden spanabhebenden Prozesse verstanden werden, sondern lediglich Prozesse wie beispielsweise Polieren, Schleifpolieren, Läppen oder dergleichen, die entscheidende Oberflächenkenngrößen beeinflussen, beispielsweise die Oberflächenrauigkeit, ausgedrückt beispielsweise als arithmetischer Mittenrauhwert R_a , der Rauhtiefe R_z

(arithmetischer Mittelwert der Einzelrauhtiefen Rzi aufeinanderfolgender Einzelstrecken), der maximalen Rauhtiefe R_{max} innerhalb einer vorbestimmten Messstrecke, dem Verhältnis R_{mr} der Länge des materialerfüllten Streckenabschnitts zur Länge der Gesamtmessstrecke, oder der Spitzenzahl HSC, d.h. der Anzahl der Profilspitzen, die ein vorgegebenes Schnittniveau überschreiten (vgl. DIN 4762 bzw. ISO 4287/1).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von gehärteten Bauteilen aus Stahl, umfassend die Schritte:

- Herstellen eines Halbzeugs aus luftgehärtetem Stahl, d.h. einem Stahl, dessen Zeit-Temperatur-Umwandlungsverhalten nach einer Austenitisierung unter der Annahme der Wärmeübergangskoeffizienten von Luft Abkühlgeschwindigkeiten ergibt, die ausreichen, um eine martensitische Phasenumwandlung zu initiieren,
- Kaltumformen des Halbzeugs in das fertig geformte Bauteil,
- Härten des fertig geformten Bauteils mittels einer Wärmebehandlung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein lufthärtender Stahl mit folgender Zusammensetzung verwendet wird:

etwa 0,31 Gew.-% bis etwa 0,85 Gew.-% Kohlenstoff (C),
 etwa 0,95 Gew.-% bis etwa 2,10 Gew.-% Silizium (Si),
 etwa 1,15 Gew.-% bis etwa 1,85 Gew.-% Mangan (Mn),
 etwa 0,00 Gew.-% bis etwa 1,65 Gew.-% Chrom (Cr),
 etwa 0,05 Gew.-% bis etwa 0,20 Gew.-% Nickel (Ni),
 etwa 0,10 Gew.-% bis etwa 0,70 Gew.-% Molybdän (Mo),
 Rest Eisen und übliche Verunreinigungen,

vorzugsweise ein lufthärtender Stahl mit folgender Zusammensetzung:

etwa 0,67 Gew.-% Kohlenstoff (C),
 etwa 1,50 Gew.-% Silizium (Si),
 etwa 1,50 Gew.-% Mangan (Mn),
 etwa 1,00 Gew.-% Chrom (Cr),
 etwa 0,10 Gew.-% Nickel (Ni),
 etwa 0,25 Gew.-% Molybdän (Mo),
 Rest Eisen und übliche Verunreinigungen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass das Halbzeug durch Hämmern kaltumgeformt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Halbzeug durch Gewindebohren und Drücken kaltumgeformt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil nach dem Härten allenfalls noch einer Oberflächenveredelung unterzogen wird.

Claims

1. Process for manufacturing hardened components made of steel, comprising the steps of:

- manufacturing a semi-finished product from air-hardened steel, i.e. a steel whose time-temperature-transformation properties following austenitization, assuming the heat transfer coefficient of air, produces cooling rates which are sufficient to initiate a martensitic phase transformation,
- cold-forming of the semi-finished product to form the fully shaped component,
- hardening of the fully shaped component by means of a heat treatment.

2. Process according to Claim 1, **characterized in that** an air-hardening steel with the following composition is used:

approximately 0.31% by weight to approximately 0.85% by weight of carbon (C),
 approximately 0.95% by weight to approximately 2.10% by weight of silicon (Si),
 approximately 1.15% by weight to approximately 1.85% by weight of manganese (Mn),
 approximately 0.00% by weight to approximately 1.65% by weight of chromium (Cr),
 approximately 0.05% by weight to approximately 0.20% by weight of nickel (Ni),
 approximately 0.10% by weight to approximately 0.70% by weight of molybdenum (Mo),
 remainder iron and standard impurities,
 preferably an air-hardening steel with the following composition:

approximately 0.67% by weight of carbon (C),
 approximately 1.50% by weight of silicon (Si),
 approximately 1.50% by weight of manganese (Mn),
 approximately 1.00% by weight of chromi-

- um (Cr),
 approximately 0.10% by weight of nickel (Ni),
 approximately 0.25% by weight of molybdenum (Mo),
 remainder iron and standard impurities. 5
3. Process according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the semi-finished product is cold-formed by forging. 10
4. Process according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the semi-finished product is cold-formed by thread-tapping and pressing. 15
5. Process according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the component is at most subjected to a surface treatment after it has been hardened. 20
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le semi-produit est déformé à froid par martelage.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le semi-produit est déformé à froid par taraudage et repoussage.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'élément de construction est soumis dans tous les cas encore à un traitement améliorant la surface, après la trempe.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'éléments de construction trempés en acier, comprenant les étapes suivantes : 25
- fabrication d'un demi-produit en acier trempé à l'air, c'est-à-dire un acier dont le comportement de conversion temps-température après austénitisation et en présupposant les coefficients de transfert thermique de l'air, donne des vitesses de refroidissement qui suffisent pour amorcer une conversion de phase martensitique, 30
 - déformation à froid du semi-produit dans le composant formé fini, 35
 - trempe de l'élément de construction formé fini au moyen d'un traitement thermique.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'on** utilise un acier durcissant à l'air présentant la composition suivante : 40
- environ 0,31 % en poids jusqu'à environ 0,85 % en poids de carbone (C),
 environ 0,95 % en poids jusqu'à environ 2,10 % en poids de silicium (Si), 45
 environ 1,15 % en poids jusqu'à environ 1,85 % en poids de manganèse (Mn),
 environ 0,00 % en poids jusqu'à environ 1,65 % en poids de chrome (Cr), 50
 environ 0,05 % en poids jusqu'à environ 0,20 % en poids de nickel (Ni),
 environ 0,10 % en poids jusqu'à environ 0,70 % en poids de molybdène (Mo),
 le reste étant constitué de fer et d'impuretés usuelles, 55
 de préférence un acier durcissant à l'air présentant la composition suivante :