

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Dezember 2007 (06.12.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/137557 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

C23C 8/26 (2006.01) C23C 8/02 (2006.01)
C23C 8/38 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2007/000932

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2007 (23.05.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 025 008.7 30. Mai 2006 (30.05.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SCHAEFFLER KG [DE/DE]; Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STREIT, Edgar [DE/DE]; Am Etzart 4, 97711 Poppenlauer (DE). BEER, Oskar [DE/DE]; Erikastrasse 3, 84032 Landshut (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

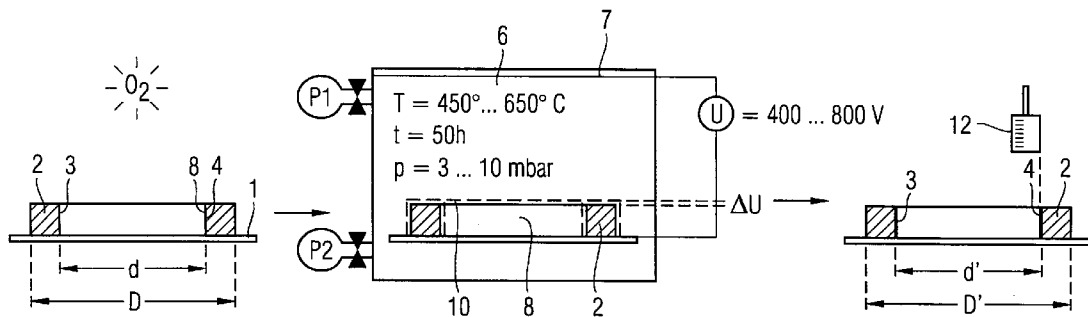
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR HARDENING RUNNING SURFACES OF ROLLER BEARING COMPONENTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HÄRTEN VON LAUFFLÄCHEN VON WÄLZLAGERKOMPONENTEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for hardening running surfaces (3) of roller bearing components (2), in particular external bearing rings. In order to provide the edge area (functional layer) of the roller bearing components with a deep layer which is particularly hard and resistant to corrosion, the roller bearing component (2) undergoes nitration for a long period of time at a temperature of between 450 and 650 °C and for at least 25 hours. During said treatment no carburizing and/or subsequently hardening takes place.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Härten von Laufflächen (3) von Wälzlagerkomponenten (2), insbesondere von äußeren Lagerringen. Um die Wälzlagerkomponente in ihrer Randzone (Funktionsschicht) mit einer tiefen Schicht besonders hoher Härte und Korrosionsfestigkeit zu versehen, wird die Wälzlagerkomponente (2) einem Langzeit-Nitrieren unterzogen, das bei einer Temperatur zwischen 450 und 650 °C und für eine Dauer von mindestens 25 Stunden vorgenommen wird, wobei während dieser Behandlung kein Aufkohlen bzw. anschließend kein Abschrecken erfolgt.

WO 2007/137557 A2

5

Bezeichnung der Erfindung

10

Verfahren zum Härten von Laufflächen von Wälzlagerkomponenten

Beschreibung

15

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Herstellung von Komponenten, insbesondere von Lagerringen, für Wälzlager, die für besonders kritische und hoch beanspruchte Einsatzfälle, insbesondere speziell zur Anwendung in der Luft- und Raumfahrt konzipiert sind. Derartige Wälzlager sind im Betrieb außerordentlich hohen Beanspruchungen ausgesetzt und müssen auch unter hohen Umgebungs- bzw. Betriebstemperaturen bei hoher Wälz- und Gleitbeanspruchung zwischen den eigentlichen Wälzkörpern und den zugeordneten Laufbahnen ein zuverlässiges und möglichst verschleißfreies Betriebsverhalten aufweisen. Zudem ist in verschiedenen Anwendungsfällen eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit gewünscht.

Derartige hochbelastbare Wälzlager weisen oft erhebliche Abmessungen in dem Laufbahndurchmesser des Wälzlager-Außenringes auf. Dadurch wirkt sich bereits ein relativ geringer Verzug des Wälzlagerringes bei der Wärmebehandlung erheblich aus und kann kostenaufwendige mechanische Nach-

arbeiten erfordern. Außerdem kann im Falle einer Ovalität der Materialabtrag über den Umfang ungleich sein.

Ringe für derartige Anwendungen werden vorzugsweise aus hochlegierten Einsatzstählen gefertigt. Derartige hochlegierte Einsatzstähle werden beispielsweise von der Firma Carpenter Technology Corporation / Carpenter Steel Division (USA) unter der bekannten Handelsbezeichnung Pyrowear 675 Stainless (P675) vertrieben und werden in der Firmenschrift Stainless Steels 68,2-96-4M angeboten und in folgender typischer Zusammensetzung mit

	Kohlenstoff:	0,07%
	Mangan:	0,65%
	Silizium:	0,40%
15	Chrom:	13,00%
	Molybdän:	1,80%
	Cobalt:	5,40%
	Nickel:	2,60%
	Vanadium:	0,60%
20	Eisen:	Rest

beschrieben.

Ein anderer für derartige Einsatzfälle geeigneter Stahl wird unter der Bezeichnung Carburizing Stainless Steel (CSS) CSS-42L von der US-amerikanischen Firma Latrobe Steel Company angeboten und weist nach der Firmenschrift folgende typische Zusammensetzung auf:

	Kohlenstoff:	0,15%
30	Mangan:	k. A.
	Silizium:	k. A.
	Chrom:	14,00%

	Molybdän:	4,75%
	Cobalt:	12,50%
	Nickel:	2,00%
	Vanadium:	0,60%
5	Eisen:	Rest

Ein weiterer geeigneter hochlegierter Einsatzstahl ist unter der Bezeichnung CX13VDW vom Hersteller Aubert & Duval Holding, Frankreich, bekannt und setzt sich typischerweise folgendermaßen zusammen:

10

	Kohlenstoff:	0,12%
	Mangan:	k. A.
	Silizium:	k. A.
	Chrom:	12,00%
15	Molybdän:	1,60%
	Cobalt:	0
	Nickel:	2,50%
	Vanadium:	0,30%
	Eisen:	Rest.

20

Aus der US-Patenschrift 6,179,933 sind Wälzkörper tragende Wälzlagerkomponenten – z.B. für den Einsatz in Flugzeugtriebwerken - aus hochlegierten Einsatzstählen (beispielsweise dem zuvor erwähnten Pyrowear 675) offenbart, die durch eine zusätzliche Wärmebehandlung des vorgehärteten
25 Stahls eine besonders gehärtete Lauffläche für die Wälzkörper aufweisen.

Dazu wird die zunächst durch klassisches und an sich bekanntes Aufkohlen und anschließendes Abschrecken bereits vorgehärtete Wälzlagerkomponente für kurze Zeit einer anschließenden Nitrierbehandlung (nachfolgend auch
30 verkürzt als Nitrieren bezeichnet) unterzogen. Dabei sind Temperaturen im Bereich von 375 °C bis 592 °C vorgeschlagen, denen die Wälzlagerkomponente in einem Kurzzeit-Nitrieren für 1 bis 2 Stunden ausgesetzt wird. Dabei

bildet sich eine sehr dünne, zusätzlich gehärtete Schicht von bis zu 150 µm mit einer Vickers-Härte von 800 bis 1.200 HV 0,3. Diese Schicht dient dazu, dem üblicherweise erhöhten Verschleiß der Lauffläche während des Betriebsanlaufs bzw. des Einlaufens entgegen zu wirken.

5

Wie erwähnt muss der hochlegierte Einsatzstahl zur Erzeugung einer für den Dauerbetrieb ausreichenden Oberflächenhärte und Schichtdicke einem an sich bekannten Aufkohlungsprozess unterzogen werden. Dazu wird der Einsatzstahl Kohlenstoff bei relativ hohen Temperaturen von ca. 850° bis
10 1050 °C einer kohlenstoffhaltigen Atmosphäre ausgesetzt und anschließend abgeschreckt. Dabei diffundieren Kohlenstoffatome in die Randschicht des Stahls ein, der an sich einen nur relativ niedrigen Kohlenstoffgehalt aufweist und somit per se nicht härtbar ist. Unterhalb der Randschicht bleibt der Stahl erwünschterweise weiterhin relativ kohlenstoffarm und dadurch relativ zäh.
15 Der eindiffundierende Kohlenstoff findet zwischen den Atomen im Gitter des Einsatzstahls quasi seinen Platz. Durch das Abschrecken verbleiben die Kohlenstoffatome in dem Atomgitter des Stahles in Zwangspositionen und bewirken dadurch die Härtesteigerung, während sie bei einer langsamen Abkühlung energetisch günstige Positionen im Gitter einnehmen ohne eine
20 wesentliche Härtesteigerung zu verursachen.

Durch das reine Aufkohlen ist die Härte in der relevanten Randzone (nachfolgend auch Funktionsschicht genannt) der Wälzlagerkomponente begrenzt auf üblicherweise unter 1.000 HV, die Härtung ist mit der Bildung von relativ
25 großen Karbiden verbunden. Diese verringern die Überrollfestigkeit. Insbesondere im hochangelassenen Zustand (mit einer Anlasstemperatur von ca. 500°C) ist die Korrosionsbeständigkeit der allein durch Aufkohlen gehärteten Oberfläche der Wälzlagerkomponente gering.

Aus der Patentanmeldung US2005 / 0268990 A1 ist eine Wärmebehandlung für einen Einsatzstahl, insbesondere für Lager für Luft- und Raumfahrtanwendungen bekannt, die ebenfalls von der zuvor beschriebenen Aufkohlung mit den zuvor beschriebenen Problemen ausgeht. Wie die
5 US2005 / 0268990 A1 anhand ihrer Ausführungsbeispiele beschreibt, kann auch hier der Einsatzstahl Pyrowear 675 verwendet werden, der zunächst mechanisch zur Ausbildung der gewünschten Lagerkomponente bearbeitet wird. Anschließend wird die Lagerkomponente carbo-nitriert. Bei diesem Carbo-Nitrierungsprozess wird die Lagerkomponente in einem Temperatur-
10 bereich von 898° bis 1093° C (1.650 bis 2.000 °F) für 40 bis 200 Stunden einem Gasmisch mit Kohlenstoff- und Stickstoffanteilen ausgesetzt. Anschließend muss die Wälzlagerkomponente wie vorstehend im Zusammenhang mit dem reinen Aufkohlen beschrieben einer Abschreckung unterzogen werden. Dies wirft die eingangs geschilderten Probleme, insbesondere hin-
15 sichtlich der Maßhaltigkeit der Wälzlagerkomponente, auf. Bei dem anschließend zur (Wieder)Herstellung der Maßhaltigkeit erforderlichen mechanischen Materialabtrag muss dann eine relativ dicke Schicht abgetragen werden.

20 Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Härten von Laufflächen von Wälzlagerkomponenten, insbesondere äußeren Lagerringen, anzugeben, bei dem die Wälzlagerkomponente in ihrer Randzone (Funktionsschicht) eine Schicht besonders hoher Härte und Korrosionsfestigkeit aufweist.

25

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, diese Funktionsschicht so herzustellen, dass eine aufwendige, mit hohem Materialabtrag verbundene nachträgliche mechanische Bearbeitung nicht mehr erforderlich ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Härten von Laufflächen von Wälzlagerkomponenten, bei dem die Wälzlagerkomponente einem Langzeit-Nitrieren unterzogen wird, das bei einer Temperatur zwischen 450 und 650 °C und für eine Dauer von mindestens 25 Stunden vorgenommen
5 wird, wobei während dieser Behandlung kein Aufkohlen bzw. anschließend kein Abschrecken erfolgt.

Die vorliegende Erfindung verlässt damit den durch den bisher bekannt gewordenen Stand der Technik vorgezeichneten Weg des Kurzzeit-Nitrierens,
10 um einen bereits vorgehärteten Einsatzstahl für den Betriebseinlauf auf seiner Lauffläche mit einer sehr dünnen, zusätzlich gehärteten Einlaufschicht zu versehen. Das erfindungsgemäße Verfahren geht dagegen einen völlig neuen Weg, indem es eine gegenüber dem bisher bekannt gewordenen Stand der Technik vergleichsweise lange Nitrierbehandlungsdauer von mindestens
15 25 Stunden bei 450 bis 650 °C vorsieht. Während dieser Wärmebehandlungsdauer können die Stickstoffatome weit tiefer in das Material der Wälzlagerkomponente eindringen und somit eine gehärtete Funktionsschicht mit einer Schichtdicke von bis zu 1 mm, vorzugsweise bis zu 0,75 mm, erzeugen.

20

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, dass während des Langzeit-Nitrierens kein Aufkohlen erfolgt und nach Abschluss der Nitrier-Wärmebehandlung temperaturmäßig kein Abschrecken der Wälzlagerkomponente erfolgt. Damit sind die mit dem Abschrecken einhergehenden
25 Materialbelastungen und ein entsprechender Materialverzug vermieden. Dadurch muss bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Wälzlagerkomponente anschließend keiner oder nur einer geringfügigen mechanischen Nachbearbeitung unterzogen werden.

Im Ergebnis erzeugt das erfindungsgemäße Verfahren an Wälzlagerkomponenten aus hochlegierten Einsatzstählen eine Funktionsschicht mit einer äußerst harten oberen Randschicht, in der sehr hohe Druckeigenstressungen bestehen. Damit erhöht sich die Rollfestigkeit der Funktionsschicht ganz
5 erheblich.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Dauer der Wärmebehandlung bzw. des Nitrierens mindestens 25 Stunden beträgt.

10

Das Nitrieren kann grundsätzlich durch sogenanntes Gasnitrieren erfolgen. Eine gewisse Problematik beim Gasnitrieren besteht in der so genannten Passivschicht, die zumeist aus einer dünnen Oxydschicht besteht und das Eindringen der Stickstoffatome in den Werkstoff der Wälzlagerkomponente
15 erschwert. Diese Passivschicht ist durch Gasnitrieren allein relativ schlecht überwindbar.

Vor diesem Hintergrund sieht eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung vor, dass die Wälzlagerkomponente einem Langzeit-Plasmanitrieren unterzogen wird. Bei dem Plasmanitrieren können in vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung zwei Schritte der Oberflächenbehandlung der Wälzlagerkomponente nacheinander zur Verbesserung des Verfahrensergebnisses durchgeführt werden, nämlich zunächst das Säubern und Aktivieren der Oberfläche und anschließend das eigentliche Nitrieren.
20

25

Dabei wird für beispielsweise zunächst ca. 30 Minuten die Oberfläche der zu behandelnden Wälzlagerkomponente durch auf die Oberfläche geschossene Gasatome (beispielsweise Argon) gesäubert. Die Argonatome bewirken aufgrund ihrer hohen Masse eine sehr effektive Säuberung der Oberfläche. Anschließend kann zur Plasmabildung und zum eigentlichen Nitrieren eine Prozessgasmischung aus Stickstoff, Wasserstoff und einem (geringeren) Argonanteil verwendet werden und die Oberfläche der Wälzlagerkomponente
30

diesem Prozessgas ausgesetzt werden. Vorzugsweise wird hier ein Druck von 3 bis 10 mbar eingestellt, der ein besonders stabiles Plasma gewährleistet.

- 5 Beim Plasmanitrieren wird die Wälzlagerkomponente bevorzugt auf einer Grundplatte mit einem elektrischen Potential angeordnet, das gegenüber der Ofenwand einen Potential- bzw. Spannungsunterschied von 400 bis 800 V aufweist. In dem Nitrierofen bildet sich dabei der wesentliche Spannungsabfall unmittelbar an der Bauteiloberfläche der Wälzlagerkomponente innerhalb
10 weniger Millimeter, wodurch sich dort eine sehr hohe Feldstärke ergibt, die zur Ionisierung der Gaskomponenten des Prozessgases und damit zur Plasma-
bildung führt.

- Die Wälzlagerkomponente wird dann vorzugsweise mindestens 50 Stunden
15 dieser Situation ausgesetzt, wodurch sich durch das Langzeit-
Plasmanitrieren die erwähnte gehärtete Funktionsschicht mit einer Dicke von vorteilhafterweise bis zu 1 mm ergibt.

- Das erfinderische Langzeit-Nitrieren ergibt eine hinreichend dicke, harte
20 Randschicht, beispielsweise von typischerweise größer 1000 HV, wobei die Korrosions- und Überrollfestigkeit merklich verbessert und/oder die Bildung von Lochfraßkorrosion verhindert werden kann. Außerdem bilden sich in der Randschicht erwünschterweise erhebliche Druckeigenstressungen von typischerweise größer als 400 MPa.

- 25 Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht weiter vor, dass die zu härtende Funktionsschicht vor dem Langzeit-Nitrieren in an sich bekannter Weise aufgekühlt wird. Die Wälzlagerkomponente kann nach dem Aufkohlen und dem anschließenden Abschrecken vorteilhafterweise schon weitestge-
30 hend auf Sollmaß gebracht werden, weil – wie zuvor beschrieben - mit dem anschließenden Langzeit-Nitrieren allenfalls noch ein sehr geringer Bauteilverzug einhergeht. Nach dem anschließenden Langzeit-Nitrieren kann die

Wälzlagerkomponente dann auf Maß nachbearbeitet werden und dabei eine durch das Nitrieren entstehende unerwünschte leichte Oberflächenrauigkeit entfernt werden.

- 5 Die vorgenannte Kombination von klassischem Aufkohlen und anschließend dem Langzeit-Nitrieren ergibt eine hinreichend dicke, harte Randschicht, wobei die Korrosions- und Überrollfestigkeit merklich verbessert ist. Außerdem bilden sich in der Randschicht erwünschterweise erhebliche Druckeigen-
10 testressungen, die typischerweise oberhalb von 500 MPa liegen. Die Härtesteigerung in der Funktionsschicht (d.h. in der Nitrierzone) erfolgt ohne Bildung von unerwünschten groben Hartphasen (Karbiden). Vorzugsweise ist der Gehalt an Stickstoff in der Nitrierzone größer als 1 %.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung beispielhaft weiter
15 erläutert, wobei die dargestellten speziellen Ausführungsformen und Beispiele keine Einschränkung der Erfindung bedeuten. Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch den Ablauf eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens,
20
- Figur 2 einen in Modifikation der Erfindung dem Ablauf nach Figur 1 vorgeschalteten Aufkohlungs- und Abschreckungsprozess,
- Figur 3 den Härteverlauf einer durch das erfindungsgemäße Verfahren gebildeten Funktionsfläche bei einem hochlegierten Einsatzstahl ohne vorheriges Aufkohlen,
25
- Figur 4 den Verlauf der in der Funktionsfläche erzeugten Druckeigen-
30 spannungen bei einem hochlegierten Einsatzstahl ohne vorheriges Aufkohlen,

- Figur 5 im Vergleich den Verzug einer Wälzlagerkomponente bei Behandlung nach dem eingangs beschriebenen Stand der Technik einerseits und dem erfindungsgemäßen Verfahren andererseits,
- 5
- Figur 6 die Gefügestruktur in einer nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung erzeugten Funktionsfläche einer Wälzlagerkomponente,
- 10
- Figur 7 den Härtegradverlauf einer nach dem zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugten Funktionsfläche,
- 15
- Figur 8 den Verlauf der Druckeigenstressungen in dieser Funktionsfläche,
- Figur 9 eine übliche Lochfraßkorrosion bei einer nach dem Stand der Technik gehärteten Funktionsfläche einer Wälzlagerkomponente und
- 20
- Figur 10 eine Korrosion bei einer nach dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung erzeugten Funktionsfläche einer Wälzlagerkomponente.
- 25
- Figur 1 zeigt auf einem Träger 1 eine Wälzlagerkomponente 2 in Form eines äußeren Lagerringes mit einer Lauffläche 3. Der Laufring 2 hat einen Innendurchmesser d (von beispielsweise 250 mm) und einen Außendurchmesser D .
- 30
- Derartige Wälzlagering sind üblicherweise zur Verwendung in kritischen Einsatzfällen z.B. in der Luft- und Raumfahrttechnik insbesondere bei Gleitbeanspruchungen zwischen Wälzkörpern und Lauffläche 3 aus hochlegier-

ten Einsatzstählen wie z.B. P675 gefertigt und sind für hohe Betriebs- bzw. Anwendungstemperaturen bei erhöhter Korrosionsgefahr ausgelegt. Um den Wälzlagerring 2 unterhalb seiner Lauffläche 3 mit einer gehärteten Randschicht 4 (nachfolgend auch Funktionsschicht genannt) zu versehen, wird
5 der Lagerring nach dem erfindungsgemäßen Verfahren einem Langzeit-Nitrieren unterzogen. Dies kann besonders bevorzugt als Plasmanitrieren ausgestaltet sein. Dazu ist ein Nitrierofen 6 vorgesehen mit entsprechenden Ofenwänden, von denen die obere mit dem Bezugszeichen 7 versehen ist. Da der Lagerring 2 beispielsweise durch Oxidation mit dem umgebenden
10 Luftsauerstoff O_2 eine dünne, aber dennoch insoweit passivierte Oberfläche 8 aufweisen kann, wird vorzugsweise zunächst die Oberfläche 8 gesäubert. Dazu wird der Lagerring 2 in den Ofen 6 eingebracht und der dann verschlossene Ofen 6 zunächst mit einem ersten Prozessgas P1 gefüllt, das beispielsweise überwiegend aus Argon besteht. Zwischen dem Lagerring 2
15 und den Ofenwänden wird durch Anlegen einer Spannung U von beispielsweise 400 – 800 V eine Potentialdifferenz und damit ein elektrisches Feld erzeugt. Die auf den Lagerring 2 beschleunigten Gasatome führen zu einem Aufbrechen und Entfernen der störenden Oberflächenschichten, insbesondere der erwähnten Oxydschicht. Dieser Säuberungsvorgang kann – je
20 nach eingestellten Parametern – beispielsweise 30 Minuten andauern.

Anschließend wird der Ofen 6 evakuiert und danach ein zweites Prozessgas P2 mit erheblichem Unterdruck in den Ofen 6 eingebracht. Das Prozessgas P2 umfasst als wesentliche Komponenten Stickstoff und Wasserstoff und
25 kann zusätzlich Edelgase enthalten, beispielsweise Argon. Durch die Beigabe von Argon kann vorteilhafterweise während des jetzt anschließenden Langzeit-Nitrierens weiterhin für eine Säuberung der Oberfläche 8 gesorgt werden.

30 Unterstützt durch entsprechende Evakuierung bildet sich der hauptsächliche Spannungsabfall unmittelbar in der Nähe der Oberfläche 8 des Lagerrings 2 in einem so genannten Glimmsaum 10 aus, der sich nur wenige Millimeter

oberhalb der Bauteiloberfläche ausgebildet. Dort wird bei einem geringen Druck p von vorzugsweise 3 bis 10 mbar ein stabiles Plasma erzeugt. Dieses Plasma wird bei Temperaturen T von 450 – 650 °C über eine Dauer t von mindestens 25 Stunden aufrechterhalten. Während dieser Dauer diffundiert
5 der im Plasma atomar vorliegende Stickstoff in die Oberfläche 8 des Bauteils 2 bis ca. maximal 1 mm Tiefe ein.

Anschließend (in Figur 1 rechts dargestellt) weist das Bauteil 2 die erwünschte gehärtete Randschicht (Funktionsschicht) 4 auf, so dass die Lauffläche 3
10 nicht nur verschleißmindernd gehärtet, sondern aufgrund der positiven Einflüsse der Nitrierung auch sehr korrosionsfest ausgebildet ist. Das Gefüge im Bereich der Schicht 4 ist nämlich durch erhebliche Druckeigenstressungen charakterisiert, die die Rollfestigkeit erheblich erhöhen.

15 Um eine etwaige Rauigkeit der Lauffläche 3 infolge der Nitrierbehandlung zu entfernen, kann mit einem Polierwerkzeug 12 eine geringfügige mechanische Oberflächennachbehandlung vorgesehen werden. Im Vergleich zu der bei einem Aufkohlen und anschließendem Abschrecken erforderlichen Nachbehandlung zur (Wieder-)Herstellung der gewünschten Geometrie des
20 Lagerrings 2 ist hierbei jedoch nur ein vergleichsweise geringer Materialabtrag erforderlich, um den entstehenden Durchmesser d' an den gewünschten Soll Durchmesser anzupassen.

Figur 2 zeigt eine Modifikation des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der
25 der Langzeit-Nitrierbehandlung eine Aufkohlung und Abschreckung der nitrierzuhärtenden Funktionsschicht vorgeschaltet ist.

Hierzu ist auf einem Träger 21 eine Wälzlagerkomponente (Lagerring) 22 aufgelegt, deren Lauffläche 23 zunächst in einem Aufkohlungsofen (durch
30 Erwärmung des gesamten Lagerrings 22) auf Temperaturen von über 1.000 °C unter einer kohlenstoffhaltigen (durch "C" angedeutet) Atmosphäre erwärmt wird. Dabei diffundiert der Kohlenstoff in die Gitterstruktur des

Einsatzstahles (beispielsweise P675) bis zu einer Schichttiefe von mehreren Millimetern ein.

Anschließend wird in einem Abschreckungsbad 30 der Lagerring 22 abgeschreckt, wodurch die Kohlenstoffatome in Zwangspositionen in der Gitterstruktur des Einsatzstahls verbleiben und zur Härtesteigerung führen. Dabei ergibt sich in der Regel ein relativ großer Verzug, der in diesem Verfahrensstadium durch entsprechende, durch ein Schleifwerkzeug 32 angedeutete mechanische Nachbearbeitung korrigiert werden muss. Dabei werden insbesondere die nach dem Abschrecken teilweise erheblich unrunder Konturen auf Durchmesser gebracht, die bis auf ein kleines Übermaß den gewünschten Söldurchmessern entsprechen. Anschließend wird der Lagerring 22 wie im Zusammenhang mit Figur 1 beschrieben weiter behandelt.

Figur 3 zeigt den Härteverlauf eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren nach der ersten Ausgestaltungsvariante (d.h. ohne vorheriges Aufkohlen und Abschreckhärten / vergleiche Figur 1) gehärteten Wälzlagerrings. In Abhängigkeit vom Abstand von der Oberfläche [in mm] ist in Figur 3 die Vickers-Härte (HV 0,1) angegeben (mit 0,1 ist die Lastangabe 0,1 kg des Prüfdiamanten bezeichnet). Dabei wird in einem präparierten Schliff aus dem Lagerring auf der senkrecht sich zur Lauffläche erstreckenden Schlieffläche in den angegebenen Abstandspunkten jeweils die Vickers-Härte gemessen und in der Ordinate aufgetragen. Man erkennt dabei eine gehärtete Randschicht (Funktionsschicht) von ungefähr 0,18 mm Tiefe, in welcher die Härte 50 Vickers über der Härte des Grundmaterialies beträgt. Damit ist eine erhöhte Härte in einer bemerkenswerten Schichtdicke erzeugt, die sowohl mit dem an sich bekannten Aufkohlungs- und Abschreckhärten bei einer maximalen Härte unter 1000 HV als auch mit der aus der US-Patentschrift 6,179,933 bekannten Kurzzeit-Nitrierung bei einer maximalen Dicke der Funktionsschicht von unter 0,15mm nicht erreichbar sind.

In Figur 4 ist zu dem vorbeschriebenen Ausführungsbeispiel in Abhängigkeit vom Abstand [in mm] von der Oberfläche auf der Ordinate der Eigenspannungsverlauf innerhalb der Funktionsschicht aufgetragen. Die als Druckspannung (daher konventionsgemäß) mit negativem Vorzeichen auf der Ordinate aufgetragene Spannung [MPa] erreicht beim beispielhaft verwendeten Einsatzstahl P675 mit über 400 MPa einen beachtlichen Anfangswert, der erst unterhalb einer Schichtdicke von 0,15 mm in den annähernd spannungsfreien Bereich übergeht. Eine derart hohe Eigenspannung im kritischen Schichtbereich der Lauffläche ist mit den bekannten Verfahren ebenfalls nicht erzielbar.

Figur 5 verdeutlicht bei dem ersten Ausführungsbeispiel unter Verwendung des Stahls P675 bei einem Lagerring mit einem Innendurchmesser (Laufbahndurchmesser) von $D=250\text{mm}$ den äußerst geringen Verzug nach Beendigung des erfindungsgemäßen Langzeit-Nitrierverfahrens. Die ideale kreisrunde Form 50 der Lauffläche (vergleiche Figur 1) ist hier als punktierter Kreis dargestellt. Die Abweichung von dieser idealen Geometrie ist bei einem erfindungsgemäß behandelten Lagerring aus dem Edelstahl P675 als durchgezogene Linie 51 dargestellt. Mit Blick auf den Darstellungsmaßstab der Abweichung von der Idealform ist aus Figur 5 ersichtlich, dass sich allenfalls eine Abweichung von wenigen Mikrometern ergibt.

Zum Vergleich ist demgegenüber der Verzug eines Lagerrings gleicher Geometrie nach dem Aufkohlen und anschließendem Abschrecken in gestrichelter Linie 52 dargestellt. Man erkennt, dass der hierbei auftretende Verzug durchaus im Bereich von $50\ \mu\text{m}$ und damit um ca. den Faktor 10 höher ausfällt.

In den nachfolgenden Figuren 6 bis 10 sind Gefügeschliffe und Probenuntersuchungen eines Lagerringes aus dem Einsatzstahl P675 dargestellt, der zunächst aufgekohlt und abschreck-gehärtet wurde und anschließend einem Langzeit-Nitrierverfahren unterzogen wurde.

Figur 6 zeigt dabei eine auf einer Präparationshilfe in Form einer Aluminiumschicht 60 aufgebrachte Materialprobe eines Lagerringes im Schliff. Der Schliff ist senkrecht zur Lauffläche und zeigt unterhalb der Lauffläche 3 einen relativ karbidarmen Bereich 61, in dem die bei der Aufkohlung gebildeten Karbide durch die anschließende Stickstoffeinbringung teilweise aufgelöst worden sind. Der eingebrachte Stickstoff bildet zwar seinerseits Nitride, die allerdings sehr fein verteilt und damit in diesem Schliff nicht erkennbar sind. Die feine Verteilung der Nitride und die Auflösung der Karbide verbessern die Eigenschaften des Einsatzstahles und erhöhen insbesondere dessen Überrollfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Im unteren Teil des Gefüges erkennt man eine etwas stärkere Ansammlung von Karbiden, wobei das Materialgefüge insgesamt sehr homogen ausgebildet ist.

Aus der in Figur 7 über dem Abstand [in mm] von der Oberfläche aufgetragenen Vickers-Härte HV_{0,1} des Lagerringes nach dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung geht hervor, dass im Bereich der Nitrierzone (bis ca. 0,15 mm unterhalb der Oberfläche) eine erhebliche Aufhärtung der Lauffläche bzw. der Funktionsschicht vorliegt, die deutlich über 1.000 HV_{0,1}, im Maximum bei ca. 1.400 HV_{0,1} liegt. Eine derartige Härtung lässt sich mit einer Aufkohlungs- und Abschreckbehandlung allein nicht erreichen. Ab ca. 0,15 mm unterhalb der Lauffläche besteht durch die Aufkohlung noch immer eine deutliche Aufhärtung.

Figur 8 schließlich zeigt besonders eindrucksvoll unmittelbar von der Lauffläche ausgehend und bis in einen Bereich von ca. 0,1 mm Abstand unterhalb der Oberfläche eine stark erhöhte Eigenspannung des nach dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung hergestellten Lagerringes. Man erkennt Spitzenwerte der Druckeigenspannung von ca. 900 MPa im unmittelbaren Bereich unterhalb der Lauffläche, die dann bis auf die typischerweise durch Aufkohlen und Abschrecken erzeugbaren Eigenspannungen von ca. 200 MPa zurückgeht.

Die Figuren 9 und 10 zeigen im Vergleich die wesentlich verbesserten Korrosionseigenschaften, insbesondere gegen die so genannte Lochkorrosion, bei einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren einsatzgehärteten Lagerring.

- 5 Figur 9 zeigt die Korrosion an der Oberfläche einer nur durch Aufkohlung und anschließende Abschreckung gehärteten Funktionsschicht mit deutlich sichtbaren, annähernd kreisrunden lochförmigen Ausnehmungen. Dagegen zeigt Figur 10 das Korrosionsverhalten einer nach dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung behandelten Funktionsschicht. Dabei zeigt sich
- 10 zwar auch eine gewisse Korrosion, der Korrosionsabtrag ist aber in vorteilhafter Weise außerordentlich gleichmäßig. Zusammenfassend ist damit festzuhalten, dass eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gehärtete Wälzlagerkomponente aus hochlegiertem Einsatzstahl ein deutlich verbessertes Korrosionsverhalten zeigt.

15

- Mit der vorliegenden Erfindung können insbesondere Wälzlagering für kritische Einsatzfälle speziell für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt geschaffen werden, die auch bei hohen Anwendungstemperaturen und korrosionsaggressiver Umgebung hohe Wälz- und Gleitbeanspruchungen zwischen den Wälzkörpern und den Wälzkörperlaufflächen zulassen und vertragen. Besonders vorteilhaft ist die deutliche Erhöhung des Härtegrades in der Funktionsschicht, der nach konventionellen Verfahren typischerweise unterhalb von 1.000 HV liegt. Die mit konventionellen Verfahren erzielbare Härte ist im Übrigen mit der Inkaufnahme von relativ groben Karbiden verbunden, die die Überrollfestigkeit in unerwünschter Weise verringern und -
- 25 insbesondere im hochangelassenen Zustand - auch zu einer deutlich verringerten Korrosionsbeständigkeit führen.

Demgegenüber führt das erfindungsgemäße Langzeit-Nitrieren zu einer hinreichend dicken, harten Funktionsschicht von 1.000 HV und mehr und ist sowohl anwendbar bei einem zuvor unbehandelten Einsatzstahl als auch bei einem bereits aufgekohlten und gehärteten Einsatzstahl, wobei hier Verbesserungen der mechanischen Eigenschaften bei geringem Verzug und äußerst geringem Nachbearbeitungsbedarf erzielt werden.

Bezugszeichen

	1	Träger
	2	Wälzlagerkomponente (Lagerring)
5	.3	Lauffläche
	4	Funktionsschicht
	6	Nitrierofen
	7	Ofenwand
	8	Oberfläche
10	10	Glimmsaum
	12	Polierwerkzeug
	21	Träger
	22	Wälzlagerkomponente (Lagerring)
	23	Lauffläche
15	30	Abschreckungsbad
	32	Schleifkopf
	50	Linie
	51	Linie
	52	Linie
20	60	Aluminiumschicht (Präparationshilfe)
	61	karbidarmer Bereich
	d	Innendurchmesser
	d'	Durchmesser
25	D	Außendurchmesser
	P1	erstes Prozessgas
	P2	zweites Prozessgas
	p	Druck
	t	Dauer
30	T	Temperatur

5

Patentansprüche

10

1. Verfahren zum Härten von Laufflächen (3) von Wälzlagerkomponenten (2), bei dem die Wälzlagerkomponente (2) einem Langzeit-Nitrieren unterzogen wird, das bei einer Temperatur zwischen 450 und 650 °C und für eine Dauer von mindestens 25 Stunden vorgenommen wird, wobei während dieser Behandlung kein Aufkohlen bzw. anschließend kein Abschrecken erfolgt.

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Nitrierdauer (t) mindestens 50 Stunden und höchstens 100 Stunden beträgt.

20

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wälzlagerkomponente (2) einem Langzeit-Plasmanitrieren unterzogen wird.

25

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Wälzlagerkomponente (2) vor dem Langzeitnitrieren einer Säuberung der zu härtenden Oberfläche unterzogen wird.

30

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Säuberung durch Oberflächenbeschuss mit einem Inertgas unter gegenüber der Atmosphäre verminderem Druck (p) durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Säuberung in einem Ofen (6) erfolgt, in den zunächst vorzugsweise Edelgas (P1) eingebracht wird und anschließend ein Prozessgas (P2) zum Nitrieren eingebracht wird.
- 5 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die zu härtende Lauffläche (3) vor dem Langzeit-Nitrieren aufgekühlt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Wälzlagerkomponente (2) vor dem anschließenden Langzeit-Nitrieren auf Maß nachbearbeitet wird.

Fig. 1

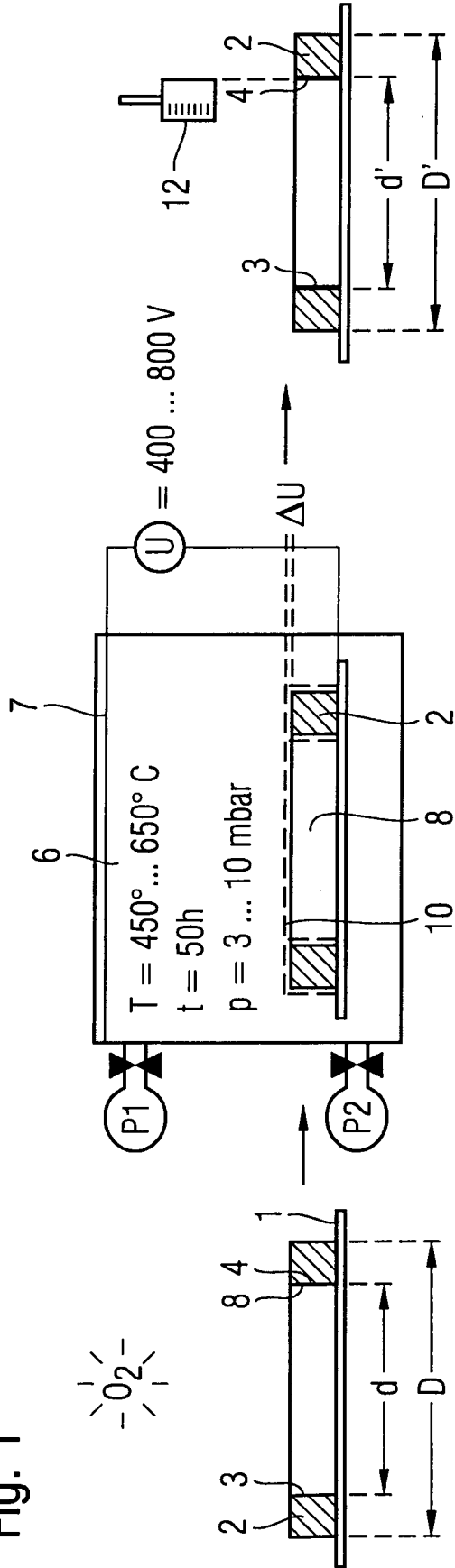


Fig. 2

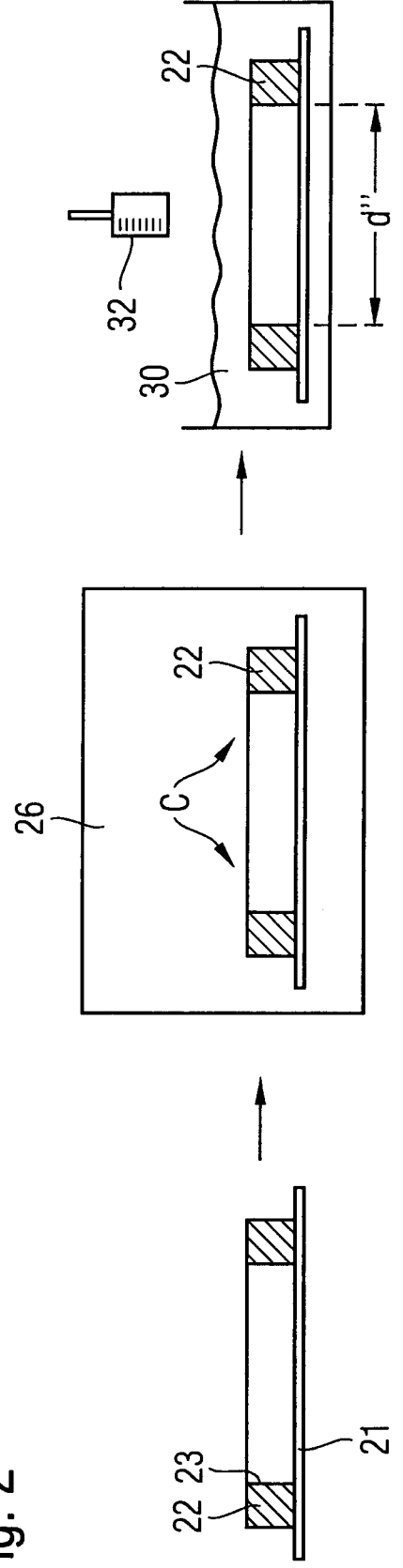


Fig. 3

Härteverlauf
P675, nitriert

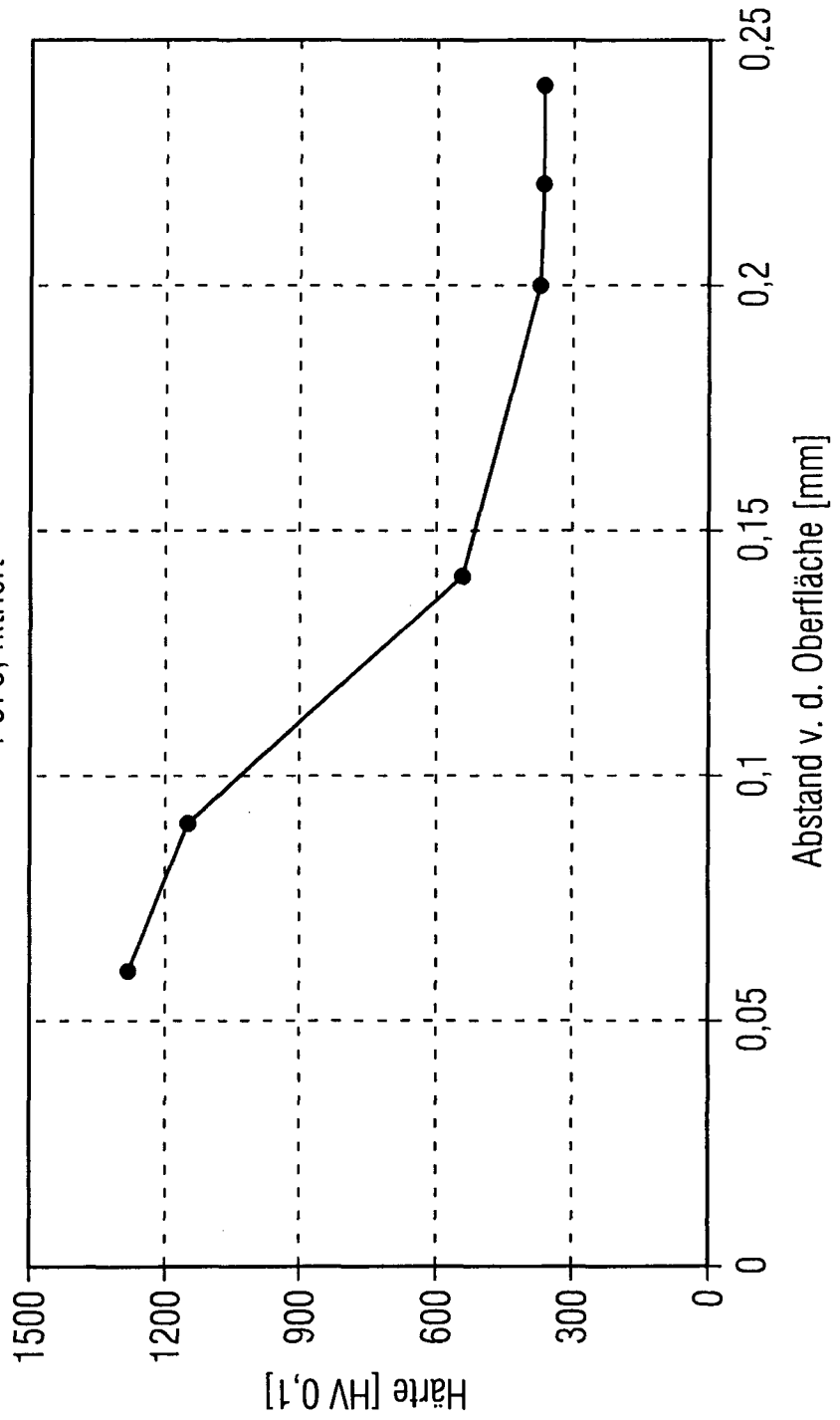


Fig. 4

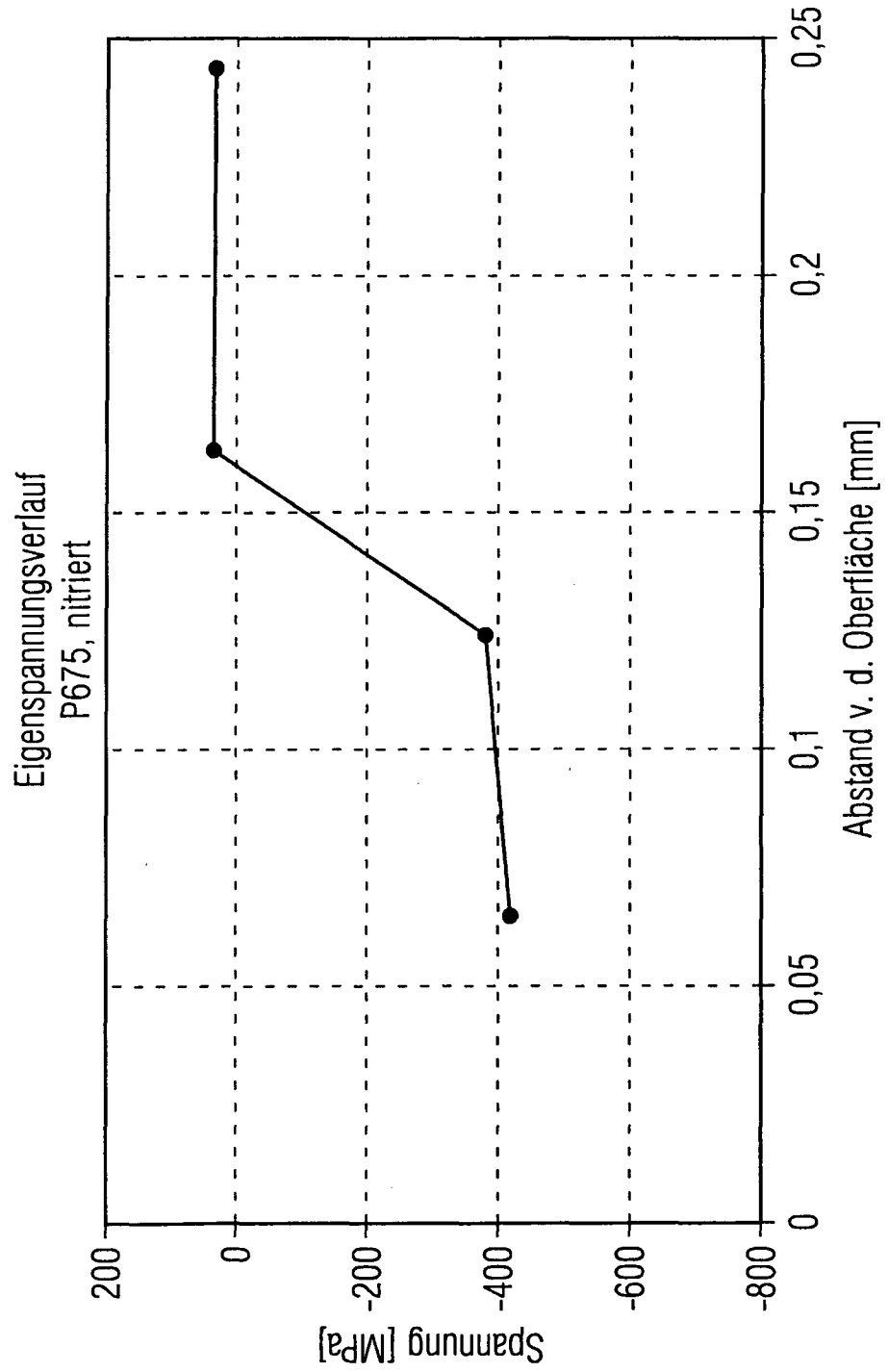
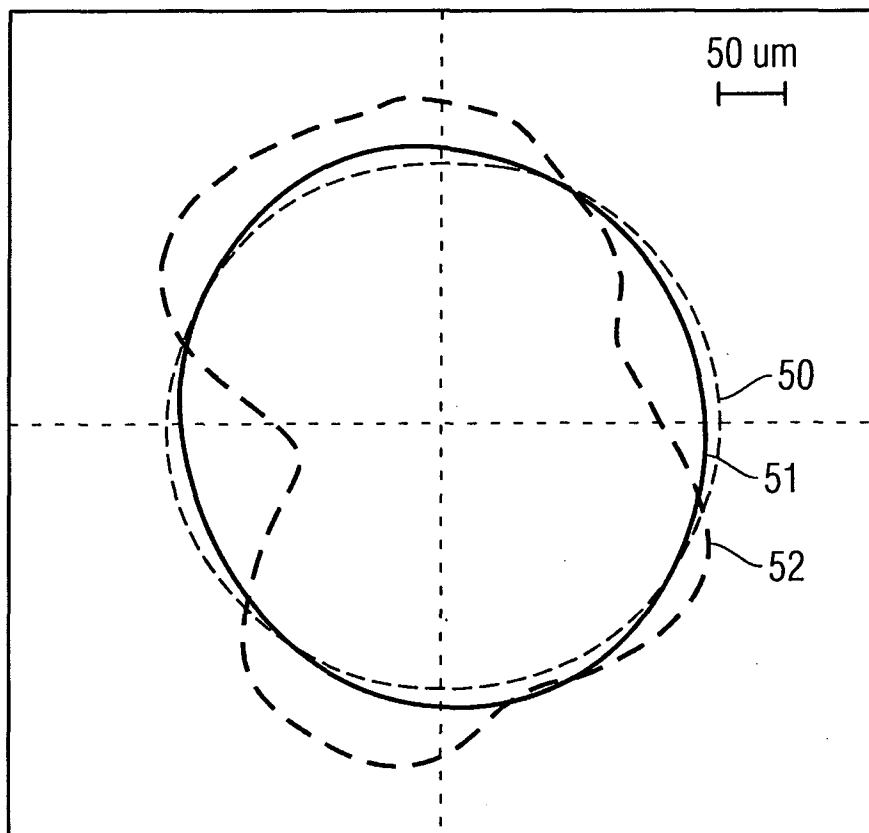


Fig. 5

Unrundheit, Aussenring, Laufbahn-D 250mm



5/9

Fig. 6

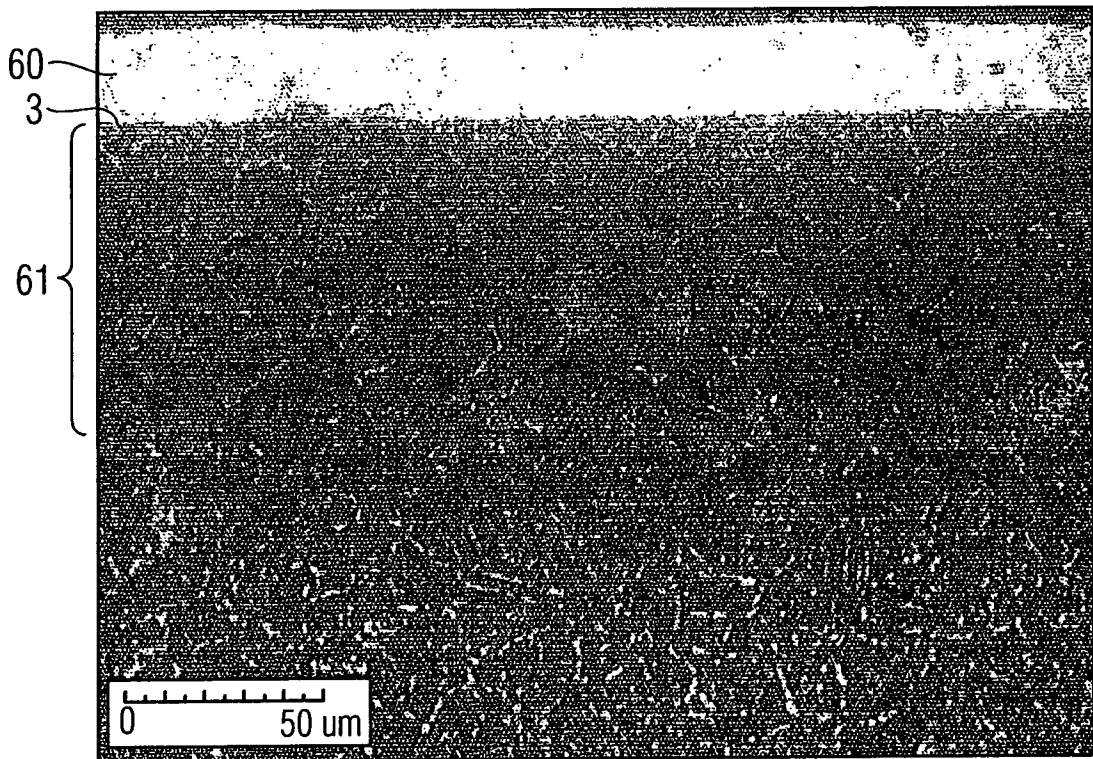


Fig. 7

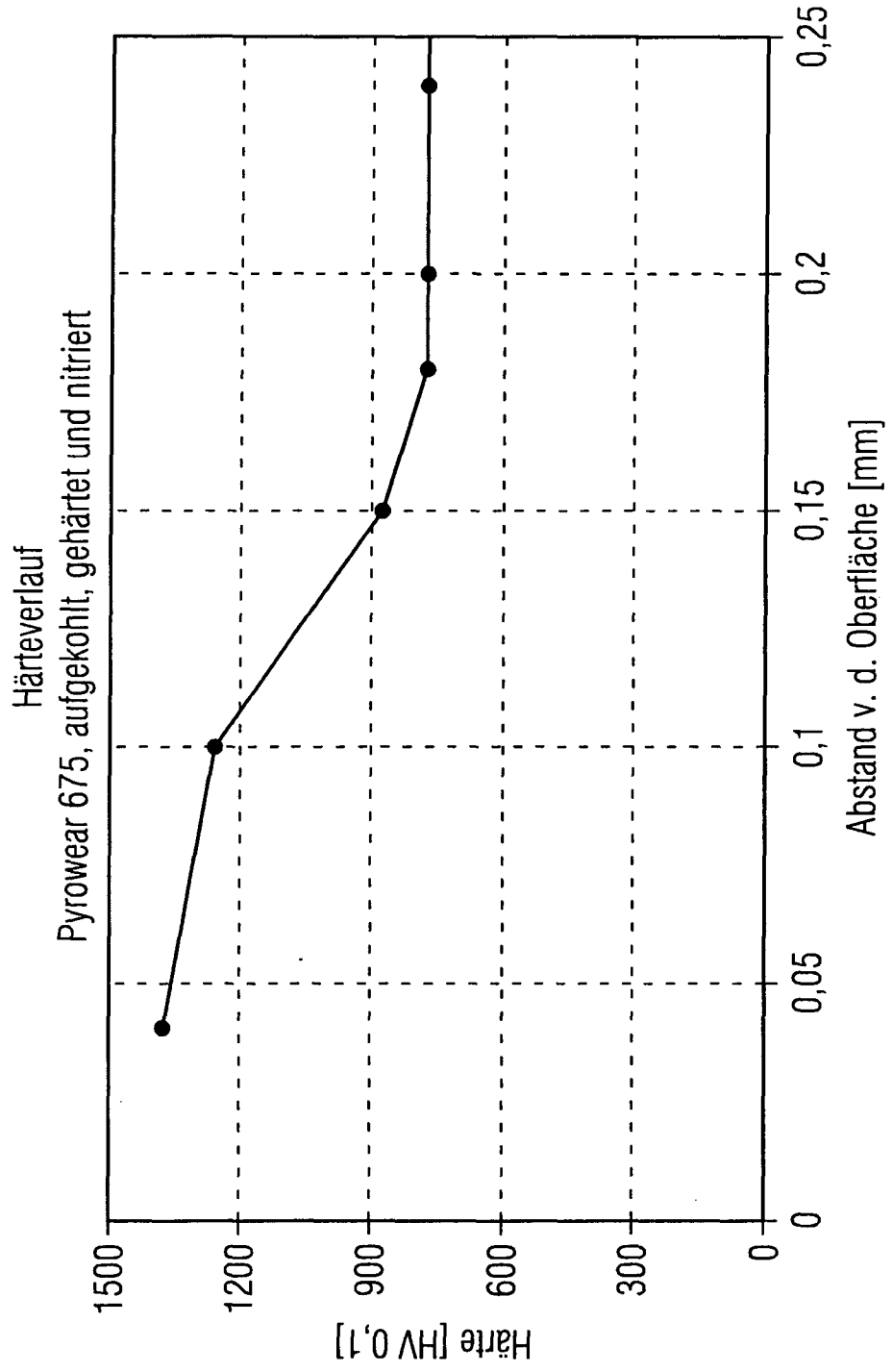
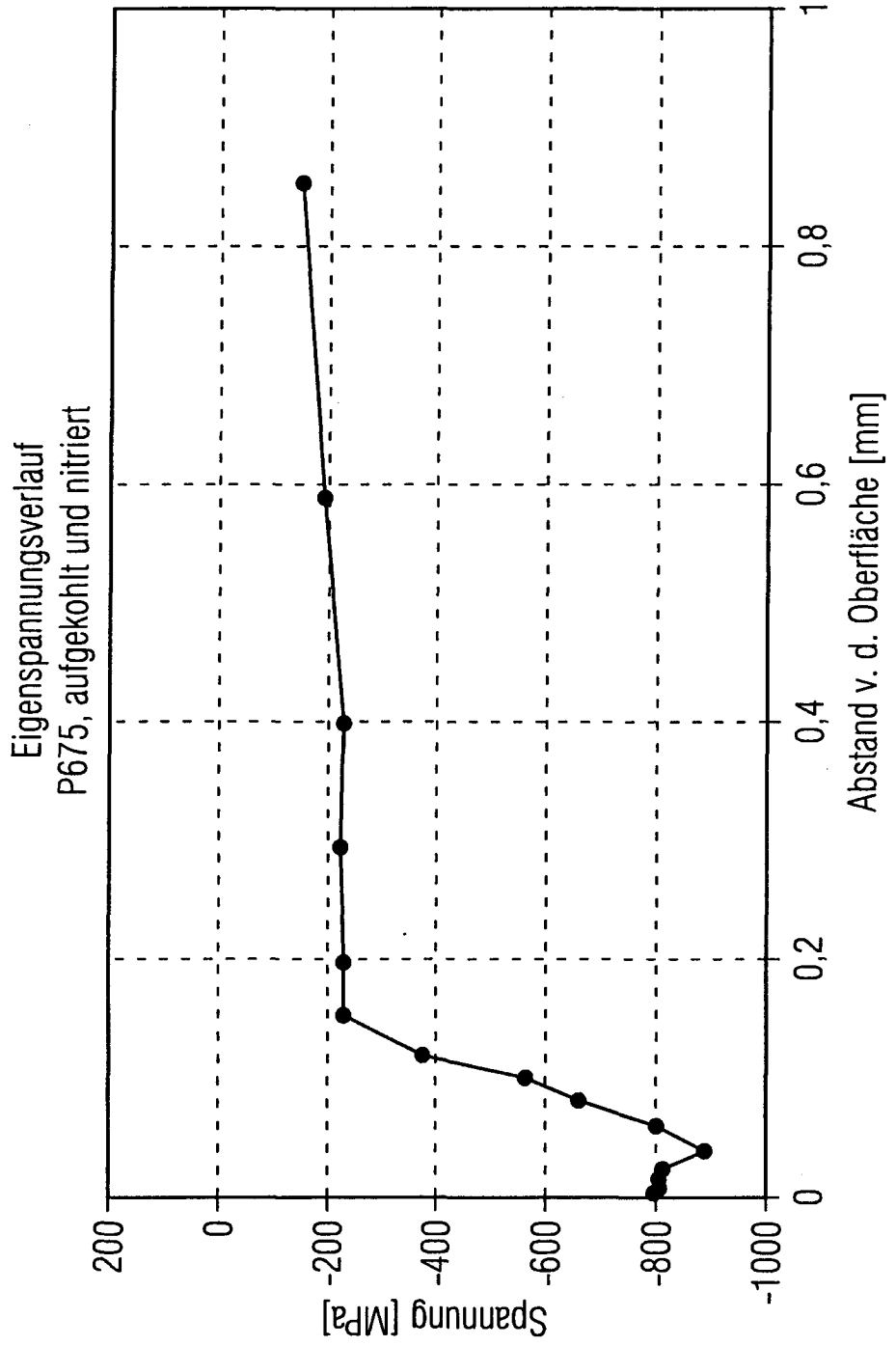
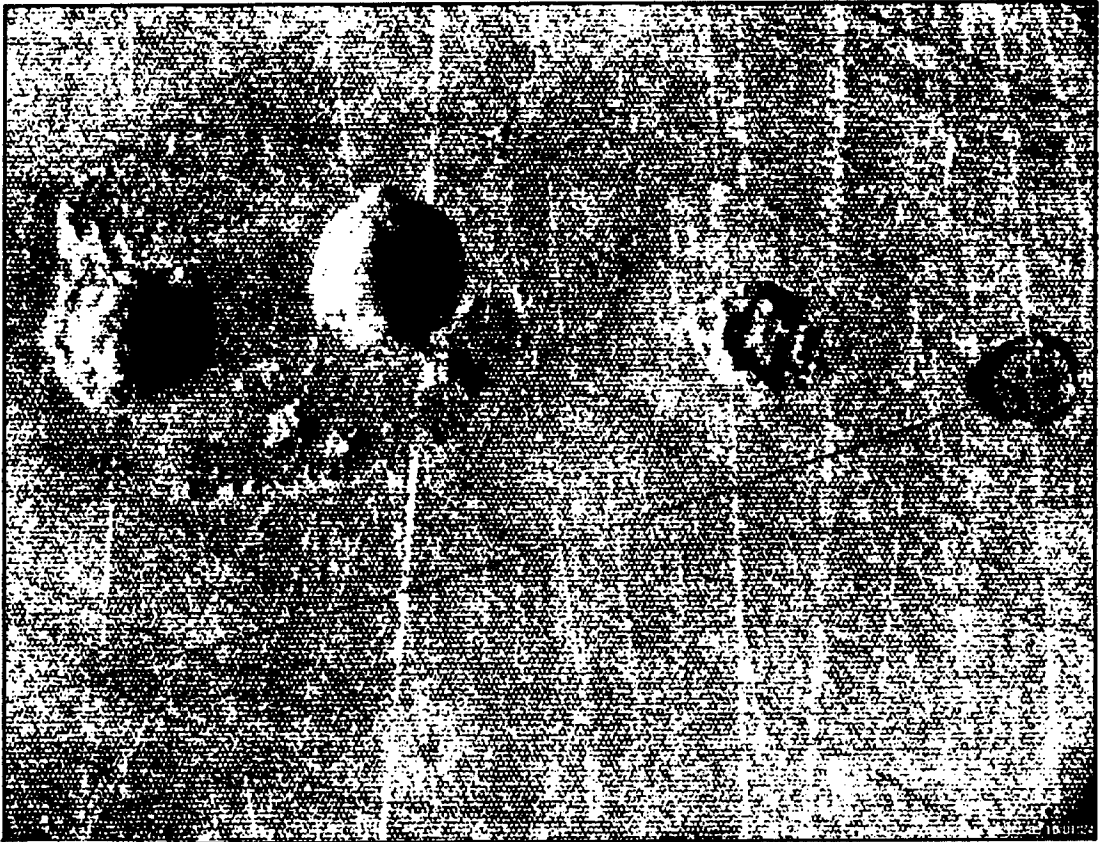


Fig. 8



8/9

Fig. 9



9/9

Fig. 10

