



(11) **EP 2 134 885 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
17.01.2018 Patentblatt 2018/03

(51) Int Cl.:
C23C 18/12 (2006.01) C23C 18/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08717034.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/052170

(22) Anmeldetag: **22.02.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/119600 (09.10.2008 Gazette 2008/41)

(54) **BESCHICHTUNG EINES BAUTEILS AUS GEHÄRTETEM STAHL UND VERFAHREN ZUM AUFBRINGEN DER BESCHICHTUNG**

COATING OF A COMPONENT MADE OF TEMPERED STEEL AND METHOD FOR THE APPLICATION OF SAID COATING

REVÊTEMENT D'UN COMPOSANT EN ACIER TREMPÉ ET PROCÉDÉ D'APPLICATION DU REVÊTEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

- **HOSENFELDT, Tim Matthias**
96106 Ebern (DE)
- **MUSAYEV, Yashar**
90419 Nürnberg (DE)
- **WINDRICH, Jürgen**
69181 Leimen (DE)

(30) Priorität: **31.03.2007 DE 102007015635**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.12.2009 Patentblatt 2009/52

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 176 228 WO-A-96/29447
WO-A-99/44822 DE-A1-102004 052 135
GB-A- 2 087 250

(73) Patentinhaber: **Schaeffler Technologies AG & Co. KG**
91074 Herzogenaurach (DE)

(72) Erfinder:

- **HAAG, Bertram**
91486 Uhlfeld (DE)
- **HOLWEGGER, Walter**
78736 Trichtingen (DE)

- **FEDRIZZI L ET AL: "The use of electrochemical techniques to study the corrosion behaviour of organic coatings on steel pretreated with sol-gel zirconia films" ELECTROCHIMICA ACTA, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, BARKING, GB, Bd. 46, Nr. 24-25, 15. August 2001 (2001-08-15), Seiten 3715-3724, XP004307255 ISSN: 0013-4686**

EP 2 134 885 B1

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).

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Beschichtung von tribologisch und/oder durch chemische Korrosion beanspruchten Bauteilen, die aus gehärtetem Stahl bestehen.

[0002] Die vorliegende Erfindung ist grundsätzlich auf viele verschiedenartige Bauteile aus gehärtetem Stahl anwendbar, die einem reibenden Verschleiß oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind. Beispielsweise ist die Verwendung bei Pumpen oder Teilen von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere bei Ventiltriebkomponenten wie beispielsweise Tassenstößeln, bei Wälzlagern und Linearführungen, beispielsweise für Hydraulikkomponenten denkbar.

[0003] Grundsätzlich werden die Anforderungen an derartige Komponenten durch Steigerung von mechanischen Belastungen, Bewegungsgeschwindigkeiten und Standzeiten immer höher. Dabei wird zunehmend geringere Wartungsintensität vorausgesetzt. Entsprechende Schmierstoffe werden wegen der steigenden Anforderungen an die Umweltverträglichkeit mit immer weniger Additiven verwendet und der Trend geht teilweise zu niederviskosen Schmierstoffen oder sogar zum Betrieb ohne Schmierstoffe.

[0004] Die entsprechenden Anforderungen an niedrige Reibungskräfte und Adhäsion sowohl im flüssigkeitsgeschmierten, als auch im trockenen und im Übergangsbereich, an niedrige Adhäsionskräfte, hohen Verschleißwiderstand und gleichzeitig Zähigkeit gegenüber Stoßbelastungen und die Widerstandsfähigkeit gegen Abplatzen werden durch konventionelle Beschichtungen nicht mehr erfüllt.

[0005] Dabei sollen die entsprechenden Bauteile selbst aus einfachem gehärtetem Stahl, wie beispielsweise Lagerstahl, 16MnCr5, C45, 100Cr6, 31CrMoV9, 80Cr2 oder ähnlichen bestehen und oberflächengehärtet sein.

[0006] Teilweise können einzelne der Anforderungen durch in bestimmter Weise gartete Beschichtungen erfüllt werden, wie beispielsweise die Härte oder der geringe Reibwiderstand, jedoch leiden regelmäßig andere Eigenschaften des tribologischen Systems.

[0007] Diesen Verschleiß, d. h. die bei Dauerbeanspruchung der sich berührenden Partner auftretenden Abnutzungserscheinungen, die allgemein eine unerwünschte Veränderung der Oberfläche durch Lostrennen kleinster Teilchen in Folge mechanischer bzw. tribologischer Ursachen bewirken, hat man dadurch zu mindern versucht, dass man die beteiligten Partner thermochemischen Behandlungen zur Erzielung bestimmter Eigenschaften unterworfen hat. Beispielsweise wurden die Kontaktflächen carbonitriert, nitrocarburiert, nitriert und/oder oxidiert.

[0008] An diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache als nachteilig herausgestellt, dass trotz der verwendeten

thermo-chemischen Prozesse, beispielsweise trotz eines Plasma-Nitrocarburiertens von Metallteilen, insbesondere bei einer 5- und 10-Zylinderfördereinheit radial weiterhin ein zu hoher, wenn auch verringerter Verschleißwiderstand auftritt. Ein Plasma-Nitrocarburiertprozess bringt zudem mehrere Probleme in sich. Das Plasma-Nitrocarburiert findet bei einer Temperatur von in etwa 550°C bis 590°C statt. Dabei geht die ursprüngliche Härte von gehärteten Stahlteilen verloren und diese müssten an den belasteten Stellen nachgehärtet werden. Bei einem Beschichten mit einer Verfahrenstemperatur, welche oberhalb der Anlasstemperatur des Grundmaterials liegt, ändert sich das Gefüge und somit auch die gefertigten Maße derselben, was aus konstruktiv-technischen Gründen äußerst nachteilig und unerwünscht ist.

[0009] Außerdem besteht ein Nachteil von thermochemischen Prozessen, wie beispielsweise beim Plasma-Nitrocarburiert, darin, dass etwaige vorgesehene Verbindungsschichten mit einer relativ hohen Härte auf den Stahlteilen lediglich einen geringen Halt besitzen, so dass die etwaige Verbindungsschicht sich in unerwünschter Weise vom Untergrund lösen kann.

[0010] Ferner ist der Ansatz bekannt, die Kontaktflächen der Bauteile mittels eines Mangan-Phosphatierungsprozesses zu behandeln oder mit einer Gleitlack-schicht zu beschichten, oder galvanische Schichten auf den Kontaktflächen aufzubringen. Bei diesen Verfahren wird allerdings wiederum nachteilig eine höhere Reibung zwischen den Bauteilpartnern geschaffen, auch wenn ein geringerer Verschleißwiderstand bewerkstelligt werden kann. Bei galvanischen Schichten ist zudem die Umweltbelastung durch den Herstellungsprozess als nachteiliger Faktor anzusehen.

[0011] Es ist auch bekannt, Schichten mit hohen Oberflächenhärten, wie beispielsweise TiN, CrN, (Ti, Al)N oder dergleichen, mittels PVD- oder (PA)CVD-Verfahren aufzubringen. An diesem Ansatz hat sich jedoch die Tatsache als nachteilig herausgestellt, dass aufgrund der auftretenden höheren Reibung zwischen den Bauteilpartnern und der vergrößerten Oberflächenhärte der Verschleiß des Gegenkörpers nachteilig vergrößert wird, so dass die Lebensdauer der gesamten Fördereinheit verringert wird.

[0012] Zudem können auch durch die Form und Größe der zu beschichtenden Bauteile Probleme auftreten, die die Beschichtung erschweren, wenn zum Beispiel die Bauteile sehr klein, insbesondere bei Lagern unterhalb eines Innendurchmessers von 75 mm oder nicht zylindersymmetrisch sind, da in diesen Fällen eine Spritzbeschichtung prozesstechnisch schwierig ist. Zudem kann auch die Dünnwandigkeit von zu beschichtenden Bauteilen die Beschichtung erschweren, da Spannungen auftreten können, die zum Verzug der Bauteile führen können.

[0013] Aus der WO 03/064874 ist für Kugellager grundsätzlich eine Beschichtung aus einem Kohlenstoff in diamantartiger Struktur bekannt um die Reibungseigen-

schaften insgesamt und besonders die Trockenlaufeigenschaften zu verbessern.

[0014] Aus der EP 454616 ist ein Wälzlager bekannt, das teilweise mit einem chemisch abgeschiedenen Diamantwerkstoff beschichtet ist um die Trockenlaufeigenschaften zu verbessern, die Belastbarkeit und die Lebensdauer zu vergrößern.

Aus der DE 69812389 T2 ist für Wälzelementlagerungen eine Beschichtung aus sp3 und sp2 hybridisierten Kohlenstoffverbindungen, bekannt, die 5 bis 25% Silizium enthält (vgl. JP06341445A).

[0015] In anderen Fällen ist es zudem wünschenswert, dass eine verschleißfeste Beschichtung zusätzlich elektrisch isolierend ist. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine mechanische Einrichtung, die verschleißfest beschichtet werden soll, mit einer elektronischen Einrichtung zur Messung oder Steuerung verbunden oder gekoppelt ist. Oft können zum Beispiel Drehlager zur Potentialtrennung eingesetzt werden. Zu diesem Zweck sind hochfeste und verschleißresistente, elektrisch isolierende Stoffe notwendig.

[0016] Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verschleißfeste Beschichtung für ein wenigstens teilweise aus einem gehärteten Stahl bestehendes Bauteil und ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Beschichtung zu schaffen, mit welchen die oben genannten Nachteile beseitigt werden, und mit welchen die Haltbarkeit des Bauteils über die gesamte Lebensdauer mit einem geringen Reibungskoeffizienten gewährleistet wird.

[0017] Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung mit einer Beschichtung nach den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Eine derartige Sol- Gel- Beschichtung hat den Vorteil, dass sie durch Tauchen, Spritzen oder einen Spinning-Prozess kraftfrei und ohne Temperaturänderung aufbringbar und später sinterbar ist. Damit werden die Risiken eines mechanischen Verzuges minimiert.

[0018] Zudem kann bei ausreichender Kontrolle des Benetzungsprozesses die Schichtdicke gut gesteuert und eine hohe Gleichmäßigkeit der Beschichtung gewährleistet werden. Entsprechende Tauchverfahren setzen ein langsames und gleichmäßiges Herausziehen des Bauteils aus dem Sol voraus.

[0019] Außerdem ist mit der erfindungsgemäßen Beschichtung auch eine elektrische Isolierung von Bauteilen, beispielsweise Lagern und mechatronischen Bauteilen mit dünnen Keramikschichten realisierbar. Voraussetzung für eine Erhaltung der guten mechanischen Eigenschaften des Bauteils ist dabei jedoch, dass die Anlasstemperaturen der gehärteten Stähle, die beispielsweise bei etwa 180 bis 220 Grad Celsius liegen, an der Bauteiloberfläche beim Sintern der Sol- Gel-Schicht nicht überschritten werden, so dass das gehärtete Gefüge im Stahl erhalten bleibt. Unter Anlassen versteht man dabei ein Erwärmen des Stahls nach dem Härten auf eine Temperatur zwischen Raumtemperatur und unterem Umwandlungspunkt Ac1 und Halten bei dieser

Temperatur mit nachfolgendem Abkühlen.

Nach der Erfindung muss die Temperatur des Bauteils unterhalb einer Temperatur gehalten werden, bei der in merklichem Umfang ein Anlassen stattfindet, also beispielsweise unter 180 oder 200, oder 220 Grad Celsius.

[0020] Ein durch rasche Abkühlung umgewandeltes Gefüge befindet sich nicht in einem stabilen Gleichgewicht, so dass durch ein Wiederwärmen unter gleichzeitigem Anstieg der Zähigkeit die Härte wieder abgebaut werden kann. Der Grad des Härteabfalls wird dabei durch die Anlasstemperatur und die Anlassedauer bestimmt.

Deshalb sieht die Erfindung die Methode der Lasersinterung vor, die eine gute Temperatursteuerung mit hohen Temperaturgradienten innerhalb der Beschichtung während des Prozesses ermöglicht.

[0021] Im folgenden soll zunächst näher auf das an sich für andere Anwendungen bekannte Sol- Gel- Verfahren eingegangen werden, das gemäß der Erfindung auf die tribologisch beanspruchten Stahlteile angewendet wird.

Beispielsweise ist die Anwendung aus der DE69919805T2 bekannt, gemäß der Sol- Gel- Schichten auf ein Kunststoff- Untermaterial aufgebracht und mittels Laserpulsens gesintert werden. Dort wird durch eine gezielte Aufheizung des Untermaterials dieses teilweise verflüssigt oder zumindest aufgeweicht, um eine optimierte Verbindung mit der aufgetragenen keramischen Sinterschicht zu erhalten.

[0022] Ausgangspunkt der Sol-Gel-Verfahren ist jeweils ein flüssiges Sol, das durch eine Sol-Gel-Transformation in einen festen Gel-Zustand überführt wird.

[0023] Sole sind Dispersionen fester Partikel im Größenbereich zwischen 1 nm und 100 nm, in Wasser dispergiert oder in organischen Lösungsmitteln gelöst.

[0024] Das Sol-Gel-Verfahren dient zur Herstellung keramischer oder keramischorganischer Werkstoffe. Dieses Verfahren wird zur Herstellung von Schichten und Körpern von nanokristalliner oder keramischer Natur oder keramischer Fasern sowie zur Beschichtung von Bauteilen benutzt.

[0025] Ausgangspunkt von Sol-Gel-Verfahren sind oft auch Solsysteme mit metallorganischen Polymeren. Die Transformation erfolgt vom flüssigen Sol über einen Gelzustand zum keramischen oder organisch- keramischen Werkstoff. Im Zuge dieses Prozesses findet eine 3-dimensionale Vernetzung im Lösungsmittel statt, Das Gel wird dadurch fest. Zur weiteren Verfestigung wird üblicherweise eine definierte Wärmebehandlung durchgeführt.

Zur Abscheidung oxidkeramischer Schichten wird allgemein von Metallalkoholaten ausgegangen, wobei ein 4-wertiges Metall, wie Silizium, Titan oder Zirkon bzw. ein 3-wertiges Metall, wie Aluminium, Yttrium oder Bor, das jeweilige Alkoholat charakterisiert. Das entsprechende Metall ist dabei über Sauerstoff an Alkylgruppen gebunden. Es findet dann mit Wasser eine Hydrolyse statt, wobei Alkoholatgruppen unter Abspaltung von Alkohol durch OH-Gruppen ersetzt werden. Diese begründen in

einem weiteren Schritt über Kondensationsreaktionen eine Verkettung der Monomere und führen somit zur Bildung von Alkoholatpolymeren.

Nachdem ein Sol- Film , beispielsweise durch Tauchen, auf ein Bauteil aufgebracht ist, findet eine Trocknung und/oder Ausdunstung von Lösungsmitteln statt, die zu einer Verdichtung des Sols, einer Annäherung der Teilchen im Sol und zur Ausbildung einer Vernetzung führt. Dies kann durch eine Wärmebehandlung unterstützt werden. Bei Anwendung entsprechend hoher Temperaturen, die in der Größenordnung um 500 Grad Celsius oder höher liegen erfolgt auch ein Kristallwachstum und aus dem amorphen Gel-Film entsteht ein oxidkeramischer Film. Die Eigenschaften der entstehenden Schichten werden durch die Zusammensetzung des Sols, die Abscheidungseigenschaften sowie die Natur der Wärmebehandlung, entsprechende Aufheizgeschwindigkeiten und Temperatur-Haltezeiten sowie eine Vielzahl von anderen Parametern bestimmt.

[0026] Mittels der Sol- Gel- Technologie werden auf die beschriebene Weise beispielsweise dünne oxidkeramische Schichten, wie SiO₂, ZrO₂, TiO₂, Al₂O₃ gebildet, die gesintert werden können.

Die Dicke derartiger Schichten ist auf wenige 100 nm begrenzt, da bei rein oxidkeramischen Schichten durch die Umwandlung in ein Gel durch die fortschreitende Vernetzung die Duktilität nachlässt und nachfolgend die bei weiterer Vernetzung entstehenden Eigenspannungen, beispielsweise durch Schrumpfungsprozesse, nicht mehr durch innere Verformungen ausgeglichen werden können.

Eine Möglichkeit, dieses Problem zu lösen, wurde mit der Zugabe von organischen Additiven gefunden, die aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften erst bei höheren Temperaturen aus dem Gel-Film austreten und bis zu diesem Zeitpunkt die notwendige Duktilität während der Wärmebehandlung gewährleisten können. Auf diese Weise können die inneren Spannungen im Gel abgebaut und Rissbildung verhindert werden.

[0027] Eine Möglichkeit die Schichtdicke zu erhöhen, ohne die Gefahr von Rissen einzugehen, sieht vor, zur Erhöhung der Gel-Duktilität organisch modifizierte Silane, kurz ORMOSILe, dem Sol hinzuzufügen. Damit entstehen organisch-anorganische Hybridwerkstoffe, die unter Beibehaltung der guten Eigenschaften von rein keramischen Schichten eine Vergrößerung der Schichtdicken erlauben.

[0028] Besonders interessant für die Sol-Gel-Beschichtung sind ZrO₂-, SiO₂- und TiO₂-Beschichtungen. ZrO₂-Keramik ist besonders widerstandsfähig und hart(1100 HV bis 1400 HV) und auch chemisch besonders widerstandsfähig. Sollen besonders große Schichtdicken angestrebt werden, so bieten sich für die Herstellung organisch-anorganischer Hybrid-Schichten, wie oben erwähnt ORMOSILe an.

[0029] Als Alkoholat kann beispielsweise TEOS (Tetraethoxyorthosilan), daneben als ORMOSILe netzwerk-

modifizierende (beispielsweise Methyltriethoxysilan, MTES) und/oder netzwerkbildende (beispielsweise Methacryloxypropyltrimethoxysil), MATMS) ORMOSILe verwendet werden.

5 Durch die Kombination dieser Ausgangswerkstoffe lassen sich einige Materialeigenschaften des entstehenden Endproduktes einstellen. Eine besonders wichtige Eigenschaft solcher Mischungen liegt jedoch darin, dass sich mit ihrer Hilfe rissfreie Schichten von einigen Mikro-
10 metern Dicke aufbringen lassen.

[0030] Die vorliegende Erfindung basiert darauf, die hier ansatzweise beschriebene Sol- Gel Technik für die Herstellung tribologischer Schichten auf gehärteten Stählen nutzbar zu machen.

15 **[0031]** Insbesondere muss bei der Sinterung des Gels sichergestellt werden, dass der gehärtete Stahl seine Eigenschaften nicht durch Überschreiten der Anlasstemperatur verliert. Es ist deshalb in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, dass der Laser gepulst wird und dass das zeitliche Verhältnis zwischen den
20 Laserpulsen und den Dunkelphasen zwischen den Laserpulsen als Steuergröße zur Begrenzung der Temperatur des Bauteils dient.

[0032] Durch die Pulsung, beispielsweise im Bereich
25 zwischen 1000 Millisekunden und 1 Nanosekunde Pulszeit, kann sichergestellt werden, dass die Beschichtung ausreichend aufgeheizt wird, um eine Sinterung und Verdichtung zu erreichen, dass jedoch wegen des hohen erzielbaren Temperaturgradienten das darunter liegende Bauteil noch nicht über die Anlasstemperatur erhitzt
30 wird.

[0033] Vorteilhaft ist dazu außerdem vorgesehen, dass die Schichtdicke des Gels wenigstens gleich der Wellenlänge des Lasers ist.

35 **[0034]** Hierdurch findet eine Absorption des Laserlichts im wesentlichen innerhalb der Beschichtung statt und die Intensität der Strahlung, die bis zu dem darunter liegenden Bauteil gelangt, ist erheblich reduziert.

[0035] Dies kann vorteilhaft dadurch unterstützt werden, dass dem Gel Farbstoffe zugesetzt sind, die die Laserstrahlung stärker absorbieren als das Gel. Als besonders vorteilhaft hat sich dabei Ruß /Kohlenstoff herausgestellt, der in Ethanol gelöst zugesetzt wird.

[0036] Es sind für die verschiedenen Lasertypen beziehungsweise Wellenlängen Farbstoffe hierauf angepasster Art bekannt. Diese sollten in Mengenverhältnissen
45 zugefügt werden, die die chemische Substanz des Gels nicht verändern, jedoch die Absorption des Laserlichts unterstützen.

50 **[0037]** Besonders widerstandsfähige und für viele tribologische Anwendungen geeignete Beschichtungen werden durch eine Kombination von keramischen Oxiden, von Titan, Zirkon und Silizium erhalten. Dabei werden vorteilhaft Anteile von Silizium, Titan und Zirkon so
55 gewählt, dass in dem Sol zwischen 40 und 50 Gewichts% Polysiloxan gelöst 1:1 in Oktan, zwischen 40 und 50 Gewichts% Al₂O₃- Pulver gelöst 1:1 in Nonanol und zwischen 10 und 20 Gewichts% Zirkonoxid-Pulver (ZrO₂-

Y2O3) 1:1 gelöst in Ethanol enthalten sind. Andere Lösungsmittel, insbesondere ein gemeinsames Lösungsmittel für alle Stoffe, sind ebenfalls denkbar.

[0038] Besonders vorteilhaft kann dabei vorgesehen sein, dass eine unmittelbar auf den gehärteten Stahl aufgebraute, durch Laserbestrahlung gesinterte keramische Si O₂ - Schicht aufgebracht ist.

[0039] Eine derartige Schicht haftet besonders gut auf einem Stahl und ist andererseits zäh genug, um besonders dämpfende Eigenschaften zu haben, so dass derartige Schichten besonders überrollfähig sind. Hierdurch sind sie insbesondere für Wälzlageranwendungen gut geeignet.

[0040] Dabei kann es vorteilhaft vorgesehen sein, dass auf die so hergestellte Siliziumdioxid-Schicht wenigstens eine weitere Sol-Gel-Schicht aufgebracht und danach gesintert ist. Diese Sinterung kann beispielsweise wieder mittels des genannten Laserverfahrens vorgenommen werden.

[0041] Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf eine Beschichtung bei der oberhalb der gesinterten Schichten wenigstens eine lackartige Schicht, insbesondere zum Beispiel eine Polyimidschicht vorgesehen ist.

[0042] Durch derartige Schichten werden die gesinterten Schichten geglättet, eventuell vorhandenen Poren geschlossen und eventuell durch Abrasion gelöste Teilchen wieder gebunden. Es können dabei besonders oliphile Stoffe verwendet werden, wodurch die Schmier-eigenschaften entsprechender reibender Oberflächen verbessert werden.

[0043] Zur Verbesserung des Sintervorgangs und um trotz Erreichen möglichst hoher Temperaturen der Beschichtung das darunter liegende Bauteil vor übermäßiger Erwärmung zu schützen, kann gemäß der Erfindung auch vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Lasersinterung durch Einwirkung von Mikrowellenstrahlung und/oder Induktion unterstützt wird.

[0044] Dabei kann die Mikrowellenstrahlung und die Induktionswirkung ebenfalls gepulst sein. Durch die unterschiedliche Eindringtiefe von Laserstrahlung, Induktion und Mikrowellenstrahlung kann in Kombination ein noch höherer Temperaturgradient in dem Beschichtungsmaterial erzielt werden. Es kann auch durch die unterstützenden Maßnahmen der Mikrowellenstrahlung und Induktion die Temperatur zunächst homogen erhöht werden und danach zusätzlich gepulstes Laserlicht eingestrahlt werden, um Temperaturspitzen zu erzeugen.

[0045] Vorteilhaft wird das für die Beschichtung verwendete Sol unter Verwendung eines Metall-Alkoholates hergestellt.

[0046] Das dabei beteiligte Metall-Ion kann beispielsweise Silizium, Aluminium, Beryllium, Bor, Chrom, Titan, Thorium, Wolfram, Ytterbium oder Zirkonium sein. Es kann jeweils auch eine Mischung der entsprechende Metall-Alkoholate verwendet werden.

[0047] So kann beispielsweise als Metall-Alkoholat Tetraethoxysilan verwendet werden.

[0048] Zusätzlich können, um entsprechende Hybrid-

werkstoffe herzustellen, organisch modifizierte Silane, beispielsweise 3-Aminopropyltriethoxysilan, Methyltriethoxysilan, Methacryloxypropyltriethoxysilan oder Methylzellulose verwendet werden.

[0049] Zusätzlich kann ein festes nanokristallines Metalloxid-Pulver aus Aluminium, Beryllium, Bor, Chrom, Silizium, Titan, Thorium, Wolfram, Ytterbium oder Zirkonium verwendet werden, jeweils angepasst an das Metallion, das dem Metall-Alkoholat zugrunde liegt.

[0050] Es können auch entsprechende Nitride oder Carbide der genannten Metalle in Form von nanokristallinen Pulvern zugesetzt werden.

[0051] Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Bauteil, insbesondere eine Wälzlagerkomponente oder ein hydraulisches Stützelement, das wenigstens im Bereich einer mechanisch beanspruchten Fläche aus einem gehärteten Stahl besteht, mit einer Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

[0052] Weiter bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei ein Sol-Gel auf die Oberfläche aufgebracht und dort mittels eines Lasers gesintert wird und wobei die Laserleistung derart gesteuert wird, dass an der Oberfläche des Bauteils die Anlasstemperatur nicht überschritten wird.

[0053] Dies wird besonders einfach mittels eines gepulsten Lasers erreicht, der gegebenenfalls noch durch zeitweise Anwendung von Mikrowellenstrahlung und/oder Induktion ergänzt wird.

[0054] Die der Sinterung vorangehende Übergangsphase von dem Sol zu einem Gel, in der Lösungsmittel oder Wasser abdampfen und eine Vernetzung stattfindet, kann vorteilhaft unter Wärmeanwendung, insbesondere bei Temperaturen zwischen 0 und 300° C stattfinden.

[0055] Der genannte Übergangsprozess kann dadurch besonders vorteilhaft gestaltet werden, dass er in einer Schutzgas-Atmosphäre, beispielsweise aus Stickstoff, Wasserstoff oder Ammoniak stattfindet.

[0056] Es kann auch ein Edelgas oder eine Mischung von Edelgasen verwendet werden.

[0057] Auch Stickstoff und Edelgase können miteinander kombiniert werden.

[0058] Vorteilhaft sind die Bauteile, die mit der erfindungsgemäßen Beschichtung versehen werden, ein-satzgehärtet oder unter Wärmebehandlung karbonitriert oder gehärtet und angelassen. Die Laserleistung wird beim Sintern dann derart gesteuert, dass die Temperaturen der zu beschichtenden Bauteile 250° C beziehungsweise die individuelle Anlasstemperatur nicht überschreiten.

[0059] Es kann auch vorgesehen sein, dass unter der gesinterten Beschichtung als Stützschiicht eine DSV (Dünnschichtverfahren), PVD (physical vapour deposition) oder PACVD (physically assisted chemical vapour deposition)-Schicht als Stützschiicht verwendet werden.

[0060] Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in einer Zeichnung gezeigt und

nachfolgend beschrieben.

[0061] Dabei zeigt

Figur 1 schematisch den Erzeugungsprozess der Sol-Gel-Schicht in verschiedenen Stationen;

Figur 2 den Schichtaufbau im Querschnitt in verschiedenen Varianten.

[0062] Die Figur 1 zeigt, wie ein Wälzlagerbauteil, symbolisiert durch den Ring 1, in ein Sol 2 innerhalb eines Behälters 3 eingetaucht und aus diesem langsam wieder herausgezogen wird. Die Ausziehgeschwindigkeit kann dabei durchaus wenige Zentimeter pro Minute betragen und die Bewegung sollte beim Herausziehen möglichst gleichmäßig durchgeführt werden. Der Ring 1 besteht aus einem typischen Wälzlagerstahl und soll mit einer isolierenden Beschichtung in Form einer Oxidkeramik versehen werden.

[0063] Vor der Beschichtung wird der Ring 1 gereinigt, beispielsweise in einem üblichen Heißentfettungsbad mit Tensiden. Es kann dabei auch ein temporärer Korrosionsschutz vorgesehen sein, auf dem die abgeschiedenen Sol-Gel-Schichten haften.

[0064] Es ist dabei vorteilhaft, wenn das zu beschichtende Bauteil gleichmäßig gekrümmte Oberflächen aufweist, um nicht durch Effekte von Oberflächenspannungen ungleichmäßige Schichtdicken zu erzielen.

[0065] Das Sol 2 besteht entweder aus einer echten chemischen Lösung eines Metall-Alkoholates oder aus einer kolloidalen Lösung, wobei auch beide Erscheinungsformen gemischt sein können, insbesondere dann, wenn ein Nanopulver zur Erzielung höherer Schichtdicken dem Sol zugesetzt wird.

[0066] Zusätzlich oder alternativ zu dem Nanopulver können auch Ormosile, organisch modifizierte Silane zugesetzt sein.

[0067] Alternativ zum Tauchen kann als Beschichtungsverfahren auch Walzen oder Spritzen vorgesehen sein.

[0068] Als Startverbindung des Sols kann beispielsweise TEOS (Tetraethoxysilan) verwendet, das durch die Zugabe von 0,01 N-Salzsäure vorhydrolysiert wird. Das Molverhältnis von TEOS zur Wasser kann beispielsweise 1 zu 17 betragen. Das so erhaltene Sol hat einen pH-Wert von ca. 2,9 und ist über lange Zeit (Wochen) stabil, ohne dass eine Verfestigung oder Ausflockung von Siliziumdioxid-Bestandteilen beobachtet wird.

[0069] In einer zweiten Stufe des Sol-Gel-Prozesses kann dann die Kondensation katalysiert werden. Dies geschieht im basischen Bereich durch Zugabe von 0,08 Na OH. Dadurch wird die Polykondensation und somit die Umwandlung in ein Gel in Gang gesetzt.

Dem Ausgangs-Sol werden zur Steuerung und Hemmung der Hydrolyse Essigsäure, Glycin oder Aminokapronsäure oder eine Mischung dieser Stoffe beigegeben, um zu verhindern, dass der Metall-Alkoholat-Komplex ausfällt. Es kann somit eine Stabilisierung über längere

Zeiten erfolgen, so dass das Sol in der industriellen Anwendung einfach lagerbar und anwendbar ist. Die Stabilisierung mit Essigsäure hat sich dabei als besonders vorteilhaft herausgestellt. Insbesondere bewirkt die Essigsäure bei der später folgenden Kondensation eine Beschleunigung, die die Gelbildung befördert. Die MTS/TEOS-Sole sind auch in Verbindung mit organisch modifiziertem Zirkonium einsetzbar, wobei das Sol alkalisch eingestellt wird. Derartige Sole zeigen ein exzellentes Beschichtungsverhalten und lassen sich in relativ großer Schichtdicke ohne Rissbildung auftragen.

[0070] Auch säurestabilisierte kolloidale Aluminium-Sole zeigen Vorteile vor basenkatalysierten und weisen Teilchengrößen von etwa 80 Nanometern auf. Unter diesen Bedingungen liegt das Gleichgewicht von Hydrolyse und Kondensation auf der Seite der Hydrolyse. Bei pH-Werten von 2 bis 5 bestimmt dagegen die Kondensation die Reaktionsgeschwindigkeit. Monomere und kleinere Oligomere mit reaktiven Silanogruppen liegen dann nebeneinander vor. Weitere Kondensation führt zu einem schwach verzweigten Netzwerk mit kleinen käfigartigen Einheiten.

[0071] Bei vergleichbaren Verbindungen im alkalischen pH-Bereich liegt das Gleichgewicht auf der Seite der Kondensation, das heißt, nach langsamer Bildung von Hydrolysaten setzt unmittelbar die Kondensationsreaktion ein, wodurch separate hochvernetzte Polysiloxaneinheiten gebildet werden. Hier bildet die Hydrolyse den geschwindigkeitsbestimmenden Faktor. Die Cluster wachsen durch Kondensation mit Monomeren. Daraus resultieren Vernetzungsstrukturen mit großen Teilchen und Poren. Beim basiskatalysierten Sol-Gel-Prozess werden überwiegend Natriumhydroxid oder Ammoniak eingesetzt. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt dann im wesentlichen von der Basenstärke ab, ähnlich wie bei der Säurekatalyse von der Säurestärke.

[0072] Die Struktur der ausgebildeten Kondensate hängen außer vom pH-Wert von der Art des Lösungsmittels, der Art und Kettenlänge der Alkoxyfunktion, vom molaren Wasser-/Siliziumverhältnis, von den Stoffkonzentrationen, der Temperatur, der Art und Konzentration des Katalysators, Abdampfgeschwindigkeiten sowie der zugesetzten Wassermenge ab.

[0073] Es hat sich gezeigt, dass ein steigendes molares Verhältnis zwischen Wasser und Silizium (zwischen 1 und 50) die säurekatalysierte Hydrolyse beschleunigt und zu mehr SIOH-Gruppen führt, wodurch die Bildung zyklischer Strukturen im Sol erleichtert wird.

[0074] Bei Kondensationsreaktionen hängen die Reaktionen ähnlich von der Wasserkonzentration ab, bei einem Mol-Verhältnis kleiner als 2 dominiert die Kondensation unter Alkoholabspaltung, bei Verhältnissen größer als 2 die Kondensation unter Wasserabspaltung. Besonders vorteilhaft für die Bildung von rissfreien Schichten sind Mol-Verhältnisse zwischen 1 zu 4 und ca. 1 zu 11 zwischen Wasser und Silizium.

Das Gel kann in thermischer Trocknung verdichtet werden, wobei auf dem Bauteil auch Vernetzungen in dem

Gel stattfinden. Dies geschieht vorteilhaft bei Temperaturen bis zu 200° C. Es entstehen dabei, insoweit Ormosile verwendet wurden, eine organisch-anorganische Hybridschicht, die einem konventionellen Lack ähnelt. Weitere Erhitzung beziehungsweise Laseranwendung führt zu einer Zersetzung und Entfernung von organischen Bestandteilen, Pyrolyse und letztendlich einer Verschmelzung der keramischen Bestandteile unter gleichzeitigem Zusammenfallen der Poren.

[0075] Damit bei den erforderlichen Temperaturen nicht gleichzeitig das zu beschichtende Bauteil seine Härte verliert, wird die erforderliche Temperatur nur lokal sehr beschränkt durch Einwirkung eines Lasers erzeugt, so dass durch die erzielbaren Temperaturgradienten der Temperaturabfall genügend groß ist, um das Bauteil zu schonen.

[0076] Um Substratrauheiten bei der Beschichtung zu überdecken, ist es vorteilhaft, wenn die Dicke der Gel-Schicht wenigstens so groß ist wie die mittlere Rauhtiefe. Dann werden die Oberflächenrauheiten hinreichend überdeckt und es wird eine geschlossene Schicht gebildet, die beispielsweise das Erfordernis einer elektrischen Isolation sicherstellen kann.

[0077] Eine geringe Oberflächenrauheit des zu beschichtenden Bauteils ist bei der Beschichtung insofern vorteilhaft als die Defektdichte mit abnehmender Oberflächenrauheit ebenfalls abnimmt. Es entsteht somit eine gleichmäßigere Fügung in der Beschichtung. Wachstumsfehler werden seltener.

[0078] Die bei der Beschichtung erzielbaren Gel-Dicken betragen bei rein oxidkeramischer Beschichtung nur einige Zehntel Mikrometer. Wird ein Nanopulver zusätzlich in das Sol dispergiert, so können Schichten bis zu 25 Mikrometer Dicke erreicht werden. Ansonsten können auch durch mehrfache Beschichtung mit Sol-Gel-Schichten und schichtweisem Lasersintern jeweils vor Aufbringen der nächsten Sol-Gel-Schicht Multilayerbeschichtungen mit einer Gesamtdicke oberhalb eines Mikrometers hergestellt werden.

[0079] Der mit einem Gel beschichtete Ring 1' ist in der Mitte der Figur 1 symbolisch während des Trocknungs- und Ausdunstungsvorgangs dargestellt.

[0080] Der untere Teil der Figur 1 stellt den eigentlichen Sinterprozess dar, wobei der Ring mit 1" bezeichnet ist und mittels eines Lasers 4 bestrahlt wird. Als Laser kann ein Helium-Neon-Laser, ein Krypton-Ionen-Laser, ein Neodym-Laser oder ein Y-AG-Laser verwendet werden. Der Laser wird vorteilhaft gepulst zwischen dem Nano- und Millisekundenbereich.

[0081] Da die Laserstrahlung wenige 100 Nanometer in die Gel-Schicht eindringt, wird das darunter liegende Bauteil nur mittelbar erwärmt.

[0082] Die schockartige Erwärmung durch den Laser führt außer dem Sintereffekt auch zu thermoelastischen Effekten, die ein breites Spektrum von Ultraschallwellen anregen. Dies führt zu einer weiteren Verdichtung der Sinterschicht und zu einer Verringerung der Poren. Einen zusätzlichen Beitrag hierzu liefert auch die Pulsung.

[0083] In der Figur ist symbolisch auch eine Induktionseinrichtung 5 dargestellt sowie eine Mikrowelleneinrichtung 6, die beide zusätzlich oder im Wechsel mit dem Laser 4, durchgehend oder ebenfalls gepulst, betrieben werden können.

[0084] Zur Vermeidung der Verzunderung des Bauteils kann das Sintern auch unter einer Schutzgasatmosphäre erfolgen, ebenso wie das vorangehende Trocknen.

[0085] In der Figur 2 ist prinzipiell der Schichtaufbau bei einem fertig beschichteten Bauteil 1 dargestellt.

[0086] Das Bauteil 1 besteht beispielsweise aus einem gehärteten Lagerstahl. Dies ist mit einer oxidkeramischen Schicht 7 beispielsweise aus Siliziumdioxid beschichtet, die mittels Lasersinterung aus einem Sol-Gel hergestellt ist. Auf der ersten Schicht 7 ist eine weitere Schicht 8 angeordnet, die beispielsweise aus einem anderem oxidkeramischen Stoff, Zirkondioxid, bestehen kann. Die Zirkondioxid-Schicht kann weiter mit einem lackartigen Stoff wie beispielsweise einem Polyimid 9 bedeckt sein, um die Oberfläche zu glätten und abgelöste Partikel zu binden sowie die Poren zu schließen.

[0087] Die Erfindung erlaubt in einem industriell einfach einsetzbaren Beschichtungsverfahren die Herstellung von isolierenden keramischen oder organisch-keramischen Schichten auch auf Stählen, die vor übermäßiger Temperaturerhöhung wegen ihrer Härtung geschützt werden müssen. Das Verfahren ist umweltverträglich und kostengünstig und kann durch Einstellung der Eigenschaften des Sols flexibel verändert und angepasst werden.

Bezugszeichenliste

[0088]

| | |
|-----------|------------------------|
| 1, 1', 1" | Ring, Bauteil |
| 2 | Sol |
| 3 | Behälter |
| 4 | Laser |
| 5 | Induktionseinrichtung |
| 6 | Mikrowelleneinrichtung |
| 7 | Sol- Gel-Schicht |
| 8 | Sol- Gel Schicht |
| 9 | Polyimid |

Patentansprüche

- Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (1) mit einer Beschichtung, wobei das Bauteil (1) eine mechanisch beanspruchte Fläche aufweist und wenigstens im Bereich der mechanisch beanspruchten Fläche aus einem gehärteten Stahl besteht, wobei die Beschichtung zumindest auf der mechanisch beanspruchten Fläche gebildet wird, mindestens eine Sol-Gel-Schicht (7, 8) auf die Oberfläche des Bauteils (1) aufgebracht, die mindestens eine Sol-Gel-

- Schicht (7, 8) in ein Gel umgewandelt und mittels eines Lasers (4) gesintert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laserleistung des Lasers (4) derart gesteuert wird, dass an der Oberfläche des Bauteils (1) die Anlasstemperatur des gehärteten Stahls nicht überschritten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laser (4) gepulst wird, wobei ein zeitliches Verhältnis zwischen den Laserpulsen und den Dunkelphasen zwischen den Laserpulsen als Steuergröße zur Begrenzung der Temperatur des Bauteils (1) dient.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laserbestrahlung durch wenigstens zeitweise Anwendung einer Mikrowellenstrahlung oder Induktion ergänzt wird.
 4. Verfahren nach einem der Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Aufbringen und Sintern einer ersten Sol-Gel-Schicht (7) eine weitere Sol-Gel-Schicht (8) auf die erste Sol-Gel-Schicht (7) aufgebracht wird.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Aufbringen einer ersten Sol-Gel-Schicht (7) diese zunächst geliert wird, danach eine weitere Sol-Gel-Schicht (8) aufgebracht wird und diese gemeinsam durch Einwirkung eines Lasers (4) gesintert werden.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schichtdicke des Gels wenigstens gleich der Wellenlänge des Lasers (4) gewählt wird.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Gel Farbstoffe zugesetzt werden, die die Laserstrahlung stärker absorbieren als das Gel.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bildung der Sol-Gel-Schicht (7, 8) ein Sol (2) eingesetzt wird, in dem zwischen 40 und 50 Gewichts% im Lösungsmittel gelöstes Polysiloxan, zwischen 40 und 50 Gewichts% im Lösungsmittel gelöstes Al₂O₃- Pulver und zwischen 10 und 20 Gewichts% im Lösungsmittel gelöstes Zirkonoxid-Pulver (ZrO₂-Y₂O₃) enthalten sind.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** unmittelbar auf den gehärteten Stahl eine keramische Siliziumdioxid-Schicht (7) aufgebracht wird, die durch eine Laserbestrahlung mittels des Lasers (4) gesintert wird.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der Beschichtung eine lackartige Schicht (9), insbesondere eine Polyimid-Schicht, vorgesehen wird.
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zur Bildung der Sol-Gel-Schicht (7, 8) verwendetes das Sol (2) wenigstens ein Metall-Alkoholat enthält.
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zur Bildung der Sol-Gel-Schicht (7, 8) verwendetes Sol (2) TEOS (Tetraethoxysilan) enthält.
 13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Sol (2) wenigstens ein netzwerkbildendes und/oder wenigstens ein netzwerkmodifizierendes ORMOSIL (organisch modifiziertes Silan) enthält.
 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zur Bildung der Sol-Gel-Schicht (7, 8) verwendetes Sol (2) ein Nanopulver eines keramischen Stoffes, insbesondere eines Metalloxids, enthält.
 15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Nanopulver auf demselben Metall-Ion basiert, das in Form eines Metall-Alkoholates die Basis des Sols (2) bildet.
 16. Bauteil, das wenigstens im Bereich einer mechanisch beanspruchten Fläche aus einem gehärteten Material besteht, und mit einer Beschichtung versehen ist, hergestellt nach einem der Ansprüche 1 bis 15.
- Claims**
1. Process for producing a component (1) having a coating, where the component (1) has a mechanically stressed area and at least in the region of the mechanically stressed area consists of a hardened steel, where the coating is formed at least on the mechanically stressed area, at least one sol-gel layer (78) is applied to the surface of the component (1), the at least one sol-gel layer (7, 8) is converted into a gel and sintered by means of a laser (4), **characterized in that** the laser power of the laser (4) is controlled in such a way that the tempering temperature of the hardened steel is not exceeded at the surface of the component (1).
 2. Process according to Claim 1, **characterized in that** the laser (4) is pulsed, with a time ratio between the laser pulses and the dark phases between the laser

- pulses serving as actuating variable for limiting the temperature of the component (1).
3. Process according to Claim 1 or Claim 2, **characterized in that** the laser irradiation is supplemented by application of microwave radiation or induction for at least part of the time.
 4. Process according to any of Claims 1 to 3, **characterized in that**, after application and sintering of a first sol-gel layer (7), a further sol-gel layer (8) is applied to the first sol-gel layer (7).
 5. Process according to any of Claims 1 to 3, **characterized in that**, after application of a first sol-gel layer (7), this is firstly gelled, a further sol-gel layer (8) is then applied and these two layers are sintered jointly by action of a laser (4).
 6. Process according to any of Claims 1 to 5, **characterized in that** the layer thickness of the gel is selected so as to be at least equal to the wavelength of the laser (4).
 7. Process according to any of Claims 1 to 6, **characterized in that** dyes which absorb the laser radiation more strongly than the gel are added to the gel.
 8. Process according to any of Claims 1 to 7, **characterized in that** a sol (2) in which from 40 to 50% by weight of polysiloxane dissolved in the solvent, from 40 to 50% by weight of Al_2O_3 powder dissolved in the solvent and from 10 to 20% by weight of zirconium oxide powder ($ZrO_2-Y_2O_3$) dissolved in the solvent are present is used to form the sol-gel layer (7, 8).
 9. Process according to any of Claims 1 to 8, **characterized in that** a ceramic silicon dioxide layer (7) which is sintered by laser irradiation by means of the laser (4) is applied directly to the hardened steel.
 10. Process according to any of Claims 1 to 9, **characterized in that** a varnish-like layer (9), in particular a polyimide layer, is provided on the coating.
 11. Process according to any of Claims 1 to 10, **characterized in that** the sol (2) used to form the sol-gel layer (7, 8) contains at least one metal alkoxide.
 12. Process according to any of Claims 1 to 11, **characterized in that** a sol (12) used to form the sol-gel layer (7, 8) contains TEOS (tetraethoxysilane).
 13. Process according to Claim 11 or 12, **characterized in that** the sol (2) contains at least one network-forming ORMOSIL (organically modified silane) and/or at least one network-modifying ORMOSIL.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

14. Process according to any of Claims 1 to 13, **characterized in that** a sol (2) used to form the sol-gel layer (7, 8) contains a nanopowder of a ceramic material, in particular a metal oxide.
15. Process according to Claim 14, **characterized in that** the nanopowder is based on the same metal ion which in the form of a metal alkoxide forms the basis of the sol (2).
16. Component which consists of a hardened material at least in the region of a mechanically stressed area and is provided with a coating produced according to any of Claims 1 to 15.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un composant (1) muni d'un revêtement, le composant (1) comprenant une surface sollicitée mécaniquement et étant constitué d'un acier durci au moins dans la zone de la surface sollicitée mécaniquement, le revêtement étant formé au moins sur la surface sollicitée mécaniquement, au moins une couche sol-gel (7, 8) étant appliquée sur la surface du composant (1), ladite au moins une couche sol-gel (7, 8) étant transformée en un gel et frittée au moyen d'un laser (4), **caractérisé en ce que** la puissance du laser (4) est ajustée de sorte que la température de revenu de l'acier durci ne soit pas dépassée sur la surface du composant (1).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le laser (4) est pulsé, un rapport temporel entre les impulsions laser et les phases sombres entre les impulsions laser servant de grandeur de contrôle pour limiter la température du composant (1).
3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** le rayonnement laser est complété par l'utilisation au moins périodique d'un rayonnement micro-onde ou d'une induction.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**après l'application et le frittage d'une première couche sol-gel (7), une couche sol-gel supplémentaire (8) est appliquée sur la première couche sol-gel (7).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**après l'application d'une première couche sol-gel (7), celle-ci est tout d'abord gélifiée, puis une couche sol-gel supplémentaire (8) est appliquée et celles-ci sont frittées conjointement sous l'effet d'un laser (4).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de couche

du gel est choisie au moins égale à la longueur d'onde du laser (4) .

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** des colorants qui absorbent le rayonnement laser plus fortement que le gel sont ajoutés au gel. 5
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** pour la formation de la couche sol-gel (7, 8), un sol (2) est utilisé, qui contient entre 40 et 50 % en poids de polysiloxane dissous dans le solvant, entre 40 et 50 % en poids de poudre d'Al₂O₃ dissoute dans le solvant, et entre 10 et 20 % en poids de poudre d'oxyde de zirconium (ZrO₂-Y₂O₃) dissoute dans le solvant. 10
15
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**une couche de dioxyde de silicium céramique (7), qui est frittée par un rayonnement laser au moyen du laser (4), est appliquée directement sur l'acier durci. 20
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce qu'**une couche de type vernis (9), notamment une couche de polyimide, est prévue sur le revêtement. 25
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce qu'**un sol (2) utilisé pour la formation de la couche sol-gel (7, 8) contient au moins un alcoolate métallique. 30
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce qu'**un sol (2) utilisé pour la formation de la couche sol-gel (7, 8) contient du TEOS (tétraéthoxysilane). 35
13. Procédé selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** le sol (2) contient au moins un ORMOSIL (silane modifié organiquement) formant un réseau et/ou modifiant un réseau. 40
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce qu'**un sol (2) utilisé pour la formation de la couche sol-gel (7, 8) contient une nanopoudre d'une substance céramique, notamment d'un oxyde métallique. 45
15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la nanopoudre est à base du même ion métallique qui forme la base du sol (2) sous la forme d'un alcoolate métallique. 50
16. Composant, qui est constitué d'un matériau durci au moins dans la zone d'une surface sollicitée mécaniquement et qui est muni d'un revêtement, fabriqué selon l'une quelconque des revendications 1 à 15. 55

Fig. 1

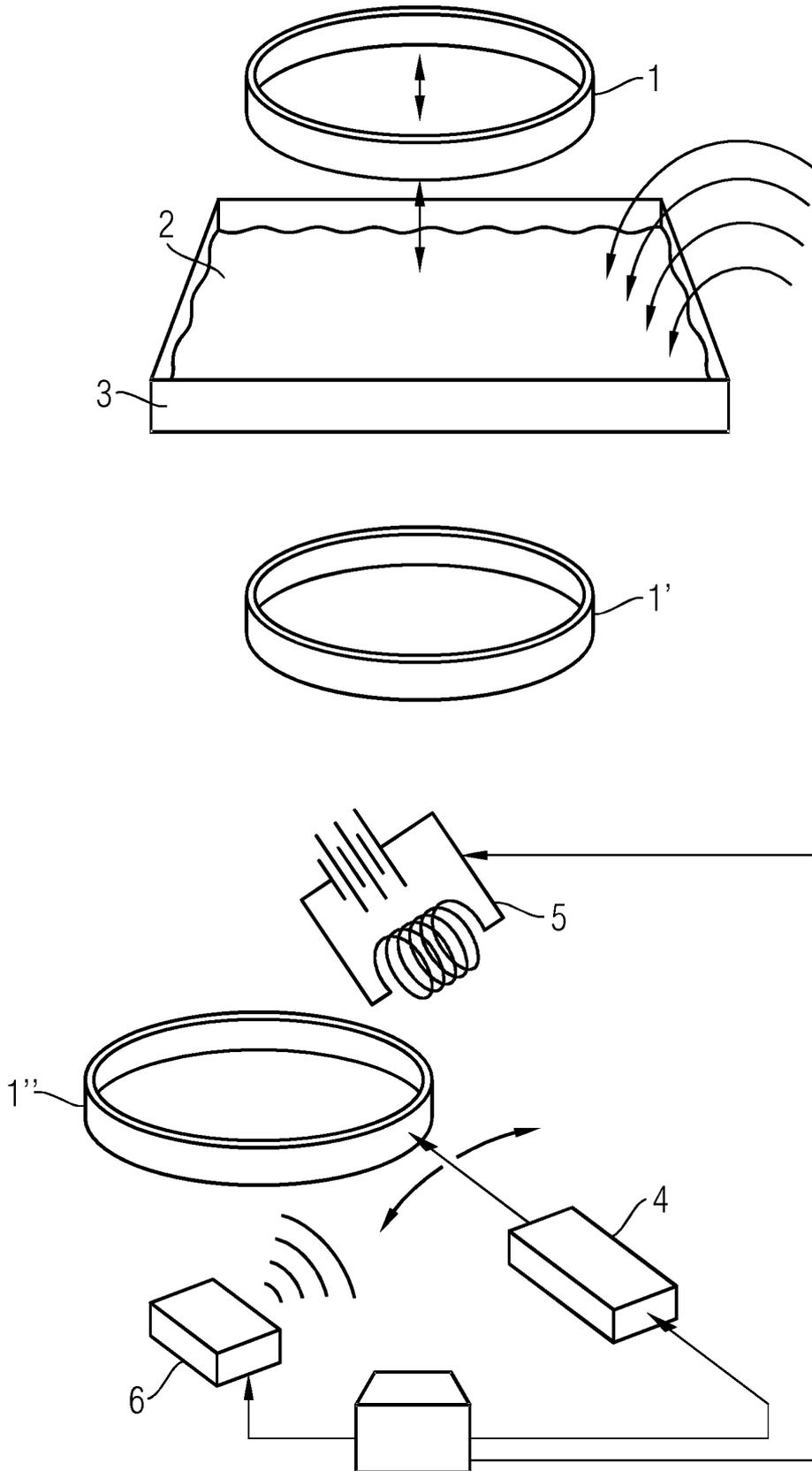
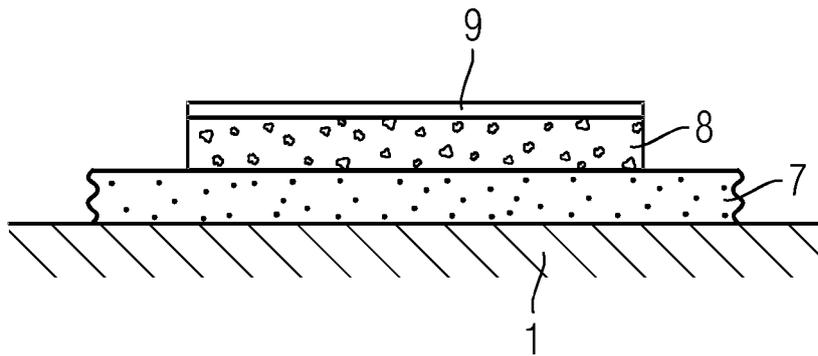


Fig. 2



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

- WO 03064874 A [0013]
- EP 454616 A [0014]
- DE 69812389 T2 [0014]
- JP 06341445 A [0014]
- DE 69919805 T2 [0021]