

(19)



(11)

EP 3 819 395 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
12.05.2021 Patentblatt 2021/19

(51) Int Cl.:
C23C 4/00 ^(2016.01) **C23C 24/00** ^(2006.01)
C23C 28/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **20206115.6**

(22) Anmeldetag: **06.11.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **11.11.2019 EP 19208346**

(71) Anmelder: **Brenner, Michael**
72800 Enningen unter Achalm (DE)

(72) Erfinder: **Brenner, Michael**
72800 Enningen unter Achalm (DE)

(74) Vertreter: **Jeck, Anton**
Jeck, Fleck & Partner mbB
Patentanwälte
Klingengasse 2
71665 Vaihingen/Enz (DE)

(54) **MEHRSCICHTSYSTEM**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredlung eines metallischen Werkstücks mit einer ersten metallischen Phase, welche dem Werkstückmaterial entspricht, wobei eine zweite keramische Phase, welche aus der ersten Phase gebildet ist, als dichte Schicht auf der ersten Phase vorliegt, wobei eine dritte Phase mit poröser Struktur als eine keramische Schicht auf der

zweiten Phase bereitgestellt ist, welche aus der ersten und/oder der zweiten Phase gebildet ist und eine polymere Einlagerung innerhalb ihrer porösen Struktur aufweist und wobei eine vierte Phase vorgesehen ist, welche als polymere Schicht auf der dritten Phase angeordnet ist und das Polymer der Einlagerung der dritten Phase aufweist.

EP 3 819 395 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bei einer solchen Oberflächenveredelung ist eine erste metallische Phase, welche dem Werkstückmaterial entspricht, vorgesehen.

[0003] Aufgrund des andauernden Bedürfnisses, insbesondere im Bereich der mechanischen Bauteile, eine Effizienzsteigerung zu erreichen, die den steigenden ökologischen Bedürfnissen gerecht wird, sind aus dem Stand der Technik gehärtete, metallische Werkstücke bekannt, welche strukturoffene, insbesondere poröse, Keramiksichten auf ihrer Oberfläche aufweisen. Da diese Keramiksichten härter sind als das metallische Werkstück selbst, kann dadurch eine Verschleißminderung an der Oberfläche des Werkstücks bewirkt werden.

Durch die poröse Struktur kann jedoch eine Korrosion der unter der Keramiksicht befindlichen Werkstücks substanz nicht zuverlässig vermieden werden. Ebenfalls nachteilig hat sich die unzureichende Haftfähigkeit der porösen Keramik auf dem Werkstück bei extremen Oberflächenbelastungen herausgestellt.

Auch macht es die Rauigkeit der porösen Struktur erforderlich, den Reibpartner ebenfalls besonders zu härten, da die Rauigkeit der porösen Struktur einen erhöhten Abrieb des Reibpartners bewirken kann. Auch führt solch eine Paarung bei bisher bekannten Systemen zu einer erhöhten Reibung und somit zu einem Energieverlust innerhalb der Bauteilgruppe.

Ein solches Kontaktpaar/Reibpaar können beispielsweise eine gehärtete Zylinderlauffläche und die entsprechenden Kolbenringe innerhalb der Zylinderbohrung sein.

[0004] Die vorliegende Erfindung stellt sich daher die **Aufgabe**, eine Oberflächenveredelung für ein metallisches Werkstück bereitzustellen, welche zuverlässig den Abrieb der Oberfläche des Werkstücks vermindert und dabei sowohl einer Korrosion des Werkstücks als auch einem übermäßigen Abrieb eines Reibpartners der Oberfläche vorbeugt.

[0005] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 gelöst. Ebenfalls wird der Reibungskoeffizient extrem reduziert.

Diese Merkmale sind, dass eine zweite keramische Phase, welche vorzugsweise einstückig aus der ersten Phase gebildet ist, als dichte/ undurchlässige Schicht (vorzugsweise porenfreie Schicht), also bevorzugt eine Schicht, welche undurchlässig für zumindest Sauerstoff und/oder (wässrig) gelöste Salze (oder: Salzionen) und/oder wässrige Lösungen und/oder Halogenide ist, vorzugsweise mit einer Schichtdicke von mindestens 5 µm, auf der ersten Phase vorliegt. Eine dritte Phase mit poröser Struktur von mindestens 50 Vol.-%, vorzugsweise 65 Vol.-% Porosität ist als eine keramische Schicht von mindestens 5 µm auf der zweiten Phase bereitgestellt, welche, vorzugsweise einstückig, aus der ersten und/oder der zweiten Phase gebildet ist und eine polymere Einlagerung innerhalb ihrer porösen Struktur aufweist. Dabei sind vorzugsweise mindestens 40 %, vorzugsweise 50 % der Porosität mit der Einlagerung befüllt. Eine vierte Phase ist vorgesehen, welche als polymere Schicht auf der dritten Phase angeordnet ist und das Polymer der Einlagerung der dritten Phase aufweist. Dicht (Dichtigkeit), undurchlässig, in sich geschlossen oder abschirmend können erfindungsgemäß synonym zur Beschreibung der zweiten Schicht verwendet werden.

Dadurch, dass die zweite Phase aus der ersten Phase gebildet ist, besteht eine besonders feste Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Phase, wie sie durch den Auftrag von Schichten nicht erreicht werden kann. Erst dadurch lässt sich eine Dichtigkeit oder Porenfreiheit in der zweiten Phase bereitstellen.

Die Erfindung kann auch als ein metallisches Werkstück mit verschleiß- und reibungsmindernder Oberflächenveredelung gemäß Anspruch 1 bezeichnet werden.

[0006] Man erkennt, dass die vorliegende Erfindung zumindest dann verwirklicht ist, wenn ein Werkstück als vierschichtiges System bereitgestellt ist, welches zumindest eine metallische Phase, eine keramische Phase, eine teileramische Phase und eine Polymerphase aufweist. Dabei können die 4 Phasen als Schichten übereinander vorliegen.

[0007] Die erste metallische Phase kann inhärenter Bestandteil des metallischen Werkstücks sein und sich vorzugsweise flächig über das Werkstück beziehungsweise über den zu veredelnden Bereich erstrecken. Insbesondere kann die erste Phase einer Oberfläche oder einer Oberflächenschicht des metallischen Werkstücks entsprechen. Die erste Phase kann sich insbesondere dadurch auszeichnen, dass sie einen besonders hohen Metallanteil aufweist. Dieser kann größer als 90 %, bevorzugt größer als 99 % sein.

Die dichte, keramische zweite Schicht kann sich insbesondere durch das Nicht-Vorliegen einer Porosität beziehungsweise durch eine zu vernachlässigend geringe Porosität auszeichnen. Erfindungsgemäß ist eine Porosität dann zu vernachlässigen, wenn die keramische Schicht dicht genug ist, verlässlich einer Korrosion des darunter befindlichen Werkstücks vorzubeugen. Die zweite Schicht kann daher auch als korrosionshemmend oder korrosionsverhindernd für die darunter befindliche metallische Phase bezeichnet werden. Der prozentuale Anteil an eingeschlossenen Hohlräumen in einer solchen Schicht kann vorzugsweise kleiner als 20% sein.

[0008] Die zweite Phase kann mit der ersten Phase einstückig gebildet sein, bzw. die zweite Phase kann aus der ersten Phase gebildet sein. Es liegt demnach eine atomare Verbindung zwischen der ersten und der zweiten Schicht vor. Besonders bevorzugt sind die Ausdehnungskoeffizienten der ersten und der zweiten Phase identisch bzw. ver-

gleichbar. Aufgetragene Schutzschichten, wie beispielsweise aus Schmelzen, mittels Plasmaspritzen, Lichtbodenspritzen, Flammsspritzen oder Hochgeschwindigkeitsflammspritzen, weisen grundsätzlich lediglich eine Verankerungsverbindung mit der rauen Oberfläche des darunter befindlichen Substrats auf. Durch die deutlich auftretenden Unterschiede im Ausdehnungskoeffizienten kann es im Herstellungsprozess oder bei der späteren Verwendung in thermisch anspruchsvollen Einsatzbereichen zur Ablösung der aufgetragenen Beschichtung kommen.

Die Dichtigkeit der zweiten keramischen Schicht kann sich dabei insbesondere auf eine Undurchlässigkeit für korrosive Medien, wie beispielsweise Luft, insbesondere Sauerstoff, oder auch gelöste Salze (oder: Salzionen), wässrige Lösungen oder Halogenide beziehen.

[0009] Die poröse dritte Phase, welche als Schicht auf der zweiten Phase insbesondere flächig vorliegen kann, ist vorzugsweise mit einer Struktur bereitgestellt, welche die Aufnahme von Flüssigkeiten beziehungsweise Schmelzen oder Stäuben ermöglicht.

Die Porosität der dritten Phase kann vorzugsweise den Teil der Poren der dritten Phase betreffen/meinen, welcher von einer Außenseite (vor dem Auftragen der Polymerschicht) zugänglich, also offen ist. Die Porosität der dritten Schicht beträgt vorzugsweise 65-Vol-% (z. B. mindestens 50 %), insbesondere 50 bis 80 %.

In der nachfolgenden Grafik ist eine solche offene Porosität durch die dargestellten Berge und Täler der porösen Oberflächenstruktur beispielhaft dargestellt:

Der Porenanteil in der Oberfläche der porösen Keramik kann somit beispielsweise wie folgt bestimmt werden:

Gemäß ISO 25178-2017-6 ergeben sich die Rauheitswerte, insbesondere die Höhen-, Flächen- und Volumenparameter der individuellen Oberflächenstruktur im betrachteten Bereich, beispielsweise als Durchschnitts- und Maximalwerte basierend auf dem Höhenprofil der Berge und Täler der betrachteten Gesamtstruktur.

Aus diesen Erkenntnissen wird ein Höhenschnitt vom tiefsten Punkt plus den Betrag des zuvor bestimmten Sv-Werts gesetzt. Der Sv-Wert (maximale Senkenhöhe) ist die Tiefe des Punkts der gemessenen Fläche, an dem das Profil am tiefsten ist. Bereiche, die unterhalb dieses Höhenschnitts liegen, werden definitionsgemäß als Poren betrachtet.

Eine entsprechende Darstellung von Bereichen, die unterhalb beziehungsweise oberhalb des Höhenschnitts liegen, ist in der nachfolgenden Grafik bereitgestellt:

	Parameter Einheit	■	□	
Projizierte Fläche	%	56.7	43.3	
Leer-Volumen	%	13.1	93.3	
Material-Volumen	%	86.9	6.74	
	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	0.822	11.3	
Material-Volumen	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	5.43	0.820	
Mittlere Luft-D Dicke	μm	0.822	11.3	
Mittlere Material-Dicke	μm	5.43	0.820	

Werte des Höhenschnittbeispiels nach ISO 25178 bestimmten Sv-Wert

[0010] Der hier beispielhaft bei $6,25 \mu\text{m}$ gesetzte Höhenschnitt führt zu einem Porenanteil von 56,7 % in dem betrachteten Oberflächenbereich. Die dunkleren Bereiche in der voranstehenden Grafik zeigen dabei Oberflächenbereiche, welche unterhalb des Höhenschnitts liegen (Poren). Die hellen Bereiche zeigen Oberflächenbereiche, welche auf oder oberhalb des Höhenschnitts liegen (Berge).

Vorzugsweise das gesamte Leervolumen, welches sich durch das materialfreie Volumen des betrachteten Bereichs der porösen Schicht/Oberfläche ergibt, kann im Idealfall mit einem Medium, in diesem Fall z. B. mit dem Polymer, befüllbar sein. Diese Art der Definition der Porosität einer Schicht, insbesondere der dritten erfindungsgemäßen Schicht, ermöglicht es dem Fachmann nachzuvollziehen, welcher Anteil an Poren betrachtet wird, welcher Anteil vorliegt und erfindungsgemäß gemeint sein kann.

[0011] Vorteilhafte Werte der dritten porösen Phase nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung lassen sich somit folgendermaßen definieren:

$S_p = 12,3 \pm 3,6 \mu\text{m}$, $S_v = 6,6 \pm 1,5 \mu\text{m}$, $S_z = 19,4 \pm 5,0 \mu\text{m}$, $S_a = 1,8 \pm 0,5 \mu\text{m}$, flächenhafter Porenanteil: $55 \pm 10 \%$
Leervolumen: $65 \pm 15 \%$ oder: $12 \pm 5 \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$.

[0012] Nach der vorliegenden Erfindung kann sich die Dichte der dritten Phase von der Dichte der zweiten Phase aufgrund der Porosität der dritten Phase mindestens um den Faktor 3 unterscheiden.

Die zweite und die dritte Phase können insbesondere durch plasmaelektrolytische Oxidation der ersten Phase, vorzugsweise unter Zuhilfenahme eines bipolaren Funktionsstroms, erzeugt werden. Dieser kann insbesondere gepulst sein. Die Pulse können dabei zur bedarfsgerechten Anpassung der Schichtstrukturen rechteckig, dreieckig oder mit einer freien Form angepasst sein.

Die vorliegende Erfindung kann demnach auch auf ein Verfahren zur Erzeugung des erfindungsgemäßen vier-Schicht Systems gerichtet sein.

Die Ausbildung der zweiten und dritten Phase gemäß der vorliegenden Erfindung ist keine inhärente Eigenschaft einer mittels plasmaelektrolytischer Oxidation behandelten metallischen Werkstückoberfläche.

Der Polymeranteil der dritten Schicht, welcher in den offenen Poren vorgesehen ist, kann beispielsweise als Dispersion auf die Oberfläche der dritten Schicht aufgetragen, insbesondere gespritzt, gerakelt oder gedruckt, werden. Durch anschließende Sinterung mittels Ofenschmelzen, IR- oder Laserstrahlung kann das Polymer in den Poren der dritten Schicht vorgesehen und festgelegt werden.

Die vierte Schicht kann aus demselben Polymer bestehen, wie das Polymer in den Poren der dritten Schicht. Die Ausbildung einer gleichmäßigen Oberfläche der vierten Schicht kann durch den voranstehend beschriebenen Sinterprozess bereitgestellt werden. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Polymer um PEEK (Polyetheretherketon), oder das Polymer weist einen Anteil an PEEK auf. Erfindungsgemäß wurde herausgefunden, dass dieser Stoff besondere tribologische Eigenschaften aufweist und eine besonders geringe Rauigkeit des Werkstücks begünstigt. Besonders bevorzugt wird das Polymer als Dispersion auf die poröse dritte Schicht aufgetragen und anschließend gesintert (Ofen, IR, Laser).

Ein derartiges System bietet aufgrund der Dichtigkeit der zweiten Phase/zweiten Schicht eine besondere Schutzfunktion für die metallische Werkstückoberfläche und zugleich einen besonderen Halt für die dritte poröse keramische Phase/Schicht gegenüber der Werkstückoberfläche bzw. der ersten Phase. Die poröse dritte keramische Phase/Schicht bietet durch das Eindringen des Polymers in dessen offene Hohlräume (offene Leervolumina) eine besonders effektive Verankerung für die vierte Polymerschicht, welche mit einem Reibpartner in Kontakt treten kann. Der Polymeranteil der dritten Phase kann demnach mit der polymeren vierten Schicht in Verbindung stehen und/oder einheitlich mit dieser gebildet sein.

Durch den erfindungsgemäßen Aufbau kann der Reibungskoeffizient des Werkstücks bei beispielsweise einer Aluminiumlegierung (AlMgSi1, 6082) mit einer mittels plasmaelektrolytischer Oxidation erzeugten Oberflächenkeramik um den Faktor 2,5 vermindert werden (siehe Abbildung 1).

Zur Bestimmung des Reibungskoeffizienten der jeweiligen Oberfläche wurde in dem voran genannten Beispiel eine 100Cr6-Kugel als statischer Reibpartner verwendet. Die Prüfungen erfolgten ungeschmiert.

Gleichzeitig ist gegenüber einer solchen vorbekannten Keramik die Haftung der porösen Schicht nach der vorliegenden Erfindung an ihrem Untergrund, insbesondere an dem Werkstück, erhöht, da als Bindeglied die dichte keramische Schicht zwischen dem Werkstück und der porösen Schicht vorliegt.

Weiterhin ist nach der vorliegenden Erfindung die Werkstückoberfläche durch die dichte keramische Schicht vor Korrosion geschützt, selbst wenn sich die oberste, polymere Schicht und/oder die dritte Schicht abnutzen sollte.

[0013] Nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass das metallische Werkstück, beziehungsweise die erste Phase, aus Aluminium oder Magnesium besteht oder zumindest eines dieser Metalle aufweist (z.B. Knet- und Gusslegierungen; bei Aluminium z.B. Legierungen der 1xxx, 2xxx - 7xxx-Serien, bei Mg z.B. AM50, AZ31, AZ91).

Das Werkstück kann aus einem beliebigen für die plasmaelektrolytische Oxidation zugänglichen Material bereitgestellt sein. Vorzugsweise kann es sich dabei um Aluminium- oder Magnesiumwerkstücke oder Legierungen davon handeln.

[0014] Besonders bevorzugt ist es nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung, dass die zweite Phase frei von Poren ist. Die dichte keramische zweite Phase/Schicht kann einen durchgehenden Materialkörper aufweisen. Nach der vorliegenden Erfindung ist die zweite Phase bevorzugt dann frei von Poren, wenn sie eine in sich geschlossene Struktur aufweist, welche frei von Öffnungen, Rissen und Kanälen zur Metalloberfläche ist, insbesondere in Abgrenzung zu der offenen Porenstruktur der dritten Phase.

[0015] Eine zweckmäßige Weiterbildung der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die zweite Phase 40 % bis 90 %, vorzugsweise 70 %, der Gesamtdicke der keramischen Phasen ausmacht.

Für eine nachhaltige Verankerung des jeweils verwendeten Polymers, vorzugsweise PEEK, in den porösen Strukturen der dritten Schicht kann es zweckmäßig sein, dass ein wesentlicher Anteil der Dicke der keramischen Schichten zu der dritten porösen Schicht aus keramischem Material zählt.

[0016] Nach einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die zweite und die dritte Phase zusammen mit einer Schichtdicke von 10 μm bis 100 μm , vorzugsweise von 20 μm bis 50 μm , bereitgestellt ist.

Das Verhältnis zwischen der Gesamtdicke an keramischen Phasen/Schichten und dem Anteil der porösen dritten Schicht an der Gesamtdicke verhält sich dabei vorzugsweise wie folgt: 3:7, wobei die poröse Schicht vorzugsweise die dünnere von beiden Schichten ist.

[0017] Nach einer besonders zweckmäßigen Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass der

Anteil an Polymer in der dritten Phase 40 % bis 80 % am Gesamtvolumen dieser Phase beträgt. Das Leervolumen der porösen dritten keramischen Phase (gemäß beschriebener Ausführungsform $65 \pm 15 \%$) kann somit komplett/vollständig mit dem Polymer gefüllt sein.

[0018] Besonders zweckmäßig ist es nach einer Weiterbildung der Erfindung, dass der Flächenanteil der Poren in einer Draufsicht auf die Phase zwischen 40 % und 70 %, vorzugsweise bei 55 % liegt. Der Flächenanteil kann sich vorzugsweise auf eine Ansicht des Höhenschnitts beziehen.

Besonders bevorzugt ist es, dass die Poren der dritten Phase zu 50 % bis 100 %, vorzugsweise zu 80 %, mit Polymer gefüllt sind.

Für eine verlässliche Verankerung der vierten polymeren Schicht kann es erforderlich sein, ein Mindestmaß an Porendurchdringung von Polymer in der dritten Schicht bereitzustellen. Dabei können eine besonders starke prozentuale Durchdringung der Poren mit Polymer und/oder ein besonders großer Anteil an Polymer in dem (Poren- und/oder Schicht-)Volumen der dritten Phase die Verbindung zwischen dritter und vierter Phase/Schicht begünstigen.

Dabei kann eine besonders weitreichende Durchdringung der vorhandenen Poren einen hohen prozentualen Volumenanteil des Polymers in der dritten Phase aufwiegen und anders herum.

Die erfindungsgemäße Unterscheidung zwischen Phasen und Schichten kann insbesondere auf das Material an sich (Phase) und die aus dem Material gebildete individuelle Teilbeschichtung des Werkstücks (Schicht) abstellen.

Ausführungen nach der vorliegenden Erfindung hinsichtlich der Phase treffen grundsätzlich auch für die Schicht aus der jeweiligen Phase zu und umgekehrt.

[0019] Nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eines Aluminiumguss-Werkstücks mit erfindungsgemäßigem Schichtsystem und PEEK (Polyetheretherketon) als Polymer wurden folgende Rauheitswerte erhalten:

$S_p = 1,6 \pm 0,3 \mu\text{m}$, $S_v = 1,5 \pm 0,5 \mu\text{m}$, $S_z = 3,1 \pm 0,7 \mu\text{m}$, $S_a = 0,10 \pm 0,05 \mu\text{m}$

Die Schichtdicken der keramischen Gesamtschicht betragen bei diesem Beispiel 20 - 50 μm . Dabei beträgt die dichte keramische Schicht ca. 70 % dieser. Die poröse Schicht mit eingelagertem PEEK liegt demnach bei 6 - 15 μm und die PEEK-Schicht bei 10 - 50 μm .

(S_p^1 - maximale Spitzenhöhe, S_v^2 - maximale Senkenhöhe, S_z^3 - maximale Höhe, S_a^4 - mittlere arithmetische Höhe

¹ - Es handelt sich um die Höhe der höchsten Spitze innerhalb des Definitionsbereichs.

² - Es handelt sich um den Betrag der Höhe der stärksten Vertiefung innerhalb des Definitionsbereichs.

³ - Dieser Parameter ist definiert als die Summe aus dem Höhenwert der höchsten Spitze und dem Höhenwert der stärksten Vertiefung innerhalb des Definitionsbereichs.

⁴ - Bei diesem Parameter handelt es sich um die Erweiterung des Linienrauheitsparameters R_a (arithmetischer Mittelwert) in die Fläche. Es handelt sich um den Betrag des Höhenunterschieds eines jeden Punkts im Vergleich zum arithmetischen Mittel der Oberfläche. Dieser Parameter wird im Allgemeinen herangezogen, um die Oberflächenrauheit zu beurteilen.

Patentansprüche

1. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung eines metallischen Werkstücks mit einer ersten metallischen Phase, welche dem Werkstückmaterial entspricht,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine zweite keramische Phase, welche aus der ersten Phase gebildet ist, als dichte Schicht, also eine Schicht, welche an sich für Wasser und/oder wässrige Lösungen von Salzen undurchlässig ist, mit einer Schichtdicke von mindestens 1 μm , auf der ersten Phase vorliegt,

dass eine dritte Phase mit poröser Struktur von mindestens 50 Vol.-% Porosität als eine keramische Schicht von mindestens 1 μm auf der zweiten Phase bereitgestellt ist, welche aus der ersten und/oder der zweiten Phase gebildet ist und eine polymere Einlagerung innerhalb ihrer porösen Struktur aufweist, wobei mindestens 50% der Porosität mit der Einlagerung befüllt sind und

dass eine vierte Phase vorgesehen ist, welche als polymere Schicht auf der dritten Phase angeordnet ist und das Polymer der Einlagerung der dritten Phase aufweist.

2. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das metallische Werkstück beziehungsweise die erste Phase aus Aluminium oder Magnesium besteht oder zumindest eines dieser Metalle aufweist.

3. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach Anspruch 1 oder 2,

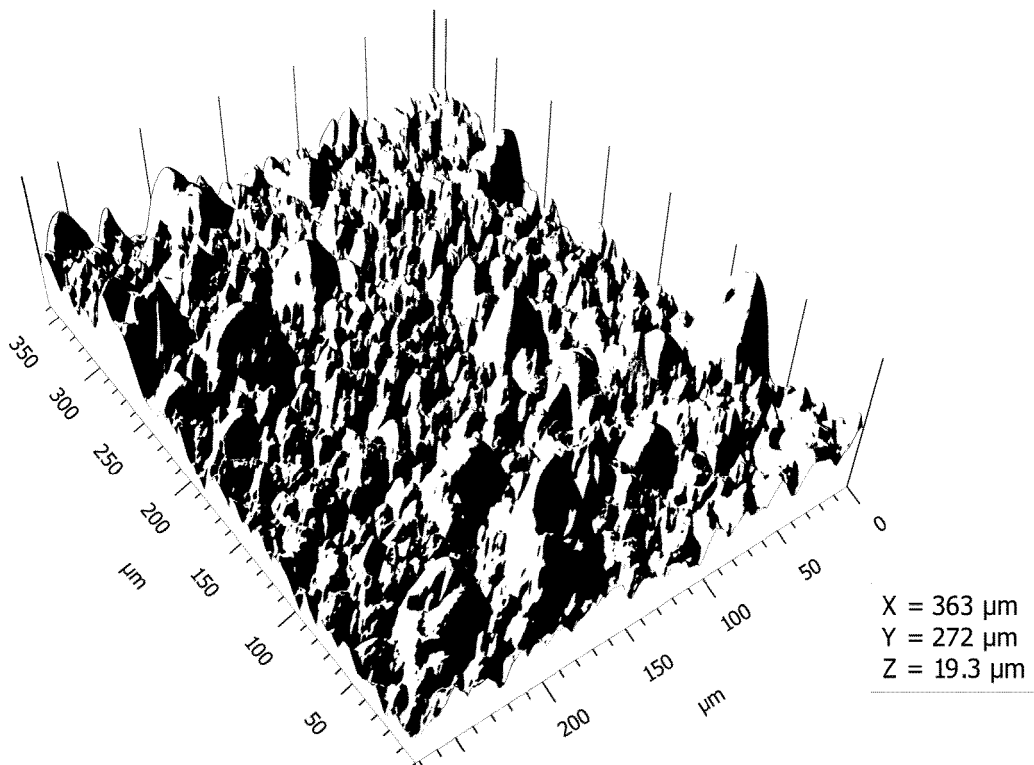
dadurch gekennzeichnet,

dass die zweite Phase frei von Poren ist.

EP 3 819 395 A1

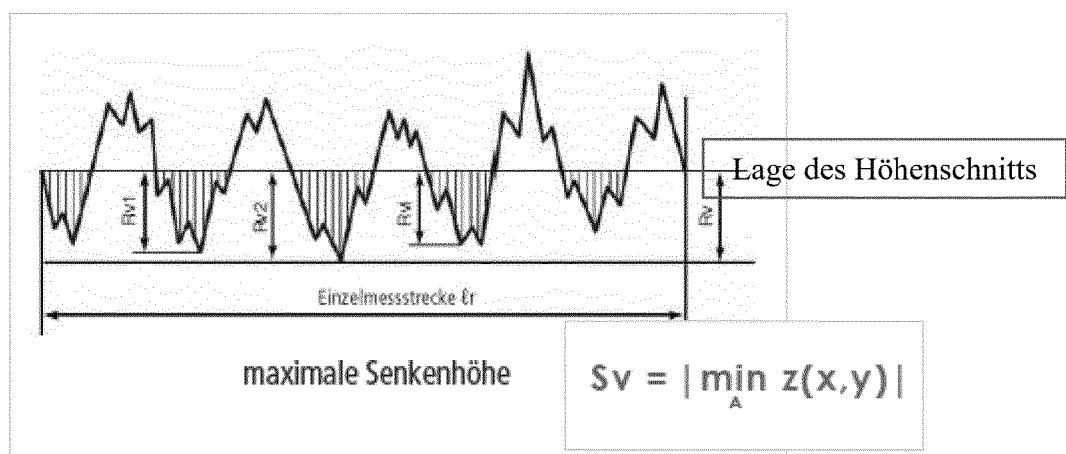
4. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Phase 40 % bis 90 %, vorzugsweise 70 %, der Gesamtdicke der keramischen Phasen ausmacht.
5. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite und die dritte Phase zusammen mit einer Schichtdicke von 10 μm bis 100 μm , vorzugsweise von 20 μm bis 50 μm , bereitgestellt ist.
6. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Anteil an Polymer in der dritten Phase 30 % bis 80 % am Gesamtvolumen der Phase beträgt.
7. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Flächenanteil der Poren in einer Draufsicht auf die Phase zwischen 30 und 70 %, vorzugsweise bei 55 %, liegt.
8. Verschleiß- und reibungsmindernde Oberflächenveredelung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Poren der dritten Phase zu 50 % bis 100 %, vorzugsweise zu 80 %, mit Polymer gefüllt sind.

Figur 1



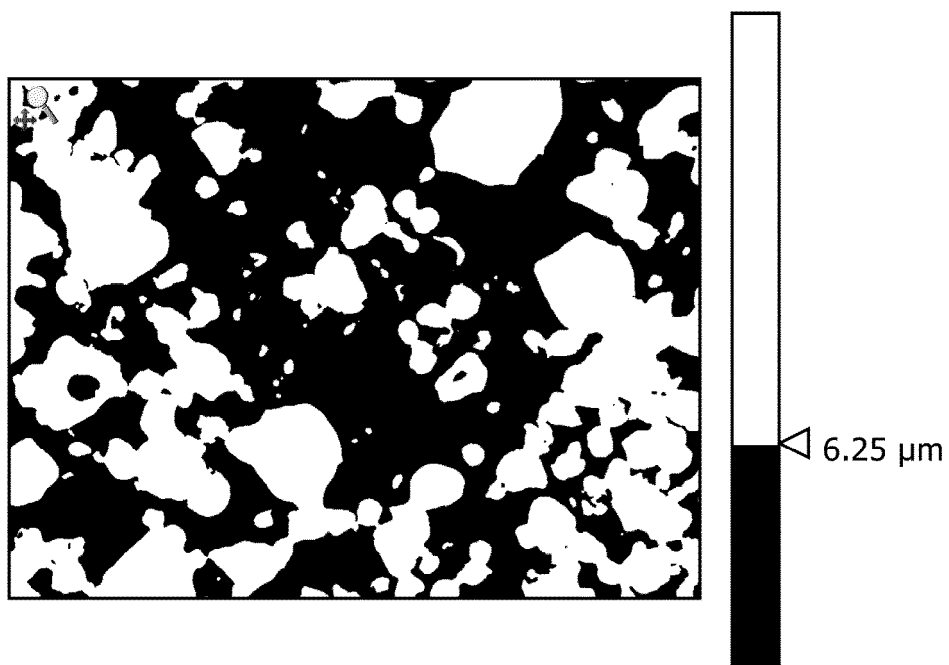
Topographische Ansicht auf eine poröse keramische Oberflächenstruktur

Figur 2



Quelle: https://www.keyence.de/ss/products/microscope/roughness/surface/tab01_g.jsp

Figur 3



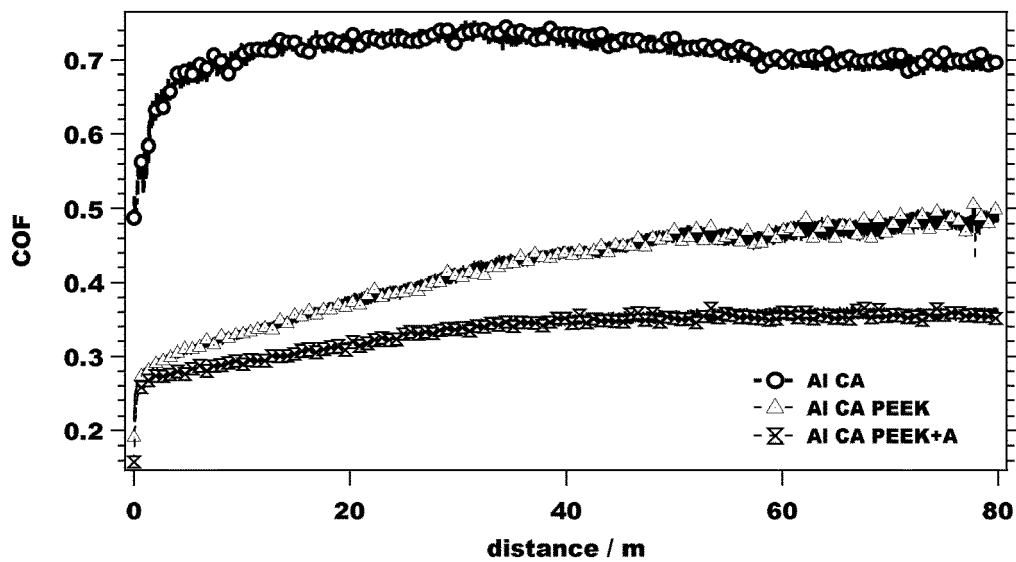
Höhenschnitt beim nach ISO 25178 bestimmten SR_v -Wert

Tabelle 1

Parameter	Einheit	■	□
Projizierte Fläche	%	56.7	43.3
Leer-Volumen	%	13.1	93.3
Material-Volumen	%	86.9	6.74
Leer-Volumen	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	0.822	11.3
Material-Volumen	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	5.43	0.820
Mittlere Luft-Dicke	μm	0.822	11.3
Mittlere Material-Dicke	μm	5.43	0.820

Werte des Höhenschnittbeispiels nach ISO 25178 bestimmten S_v -Wert

Figur 4



Figur 4: Reibungskoeffizientenvergleich über die Prüfdauer. Al CA ist Keramik auf AlMgSi1, Al CA PEEK ist vierphasiges System mit zusätzlicher polymerer Schicht im 4-Schichten System nach der vorliegenden Erfindung, Al CA PEEK+A ist dem PEEK ein reibungsreduzierendes Additiv beigemischt.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 20 6115

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 100 29 917 A1 (AXIVA GMBH [DE]) 20. Dezember 2001 (2001-12-20) * Absätze [0001], [0008] - [0010], [0014], [0016], [0022] - [0027], [0029], [0030], [0033], [0037]; Abbildungen 4,4a,5,5a * -----	1-8	INV. C23C4/00 C23C24/00 C23C28/00
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C23C
2 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 19. März 2021	Prüfer Brown, Andrew
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 20 6115

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-03-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	DE 10029917	A1	20-12-2001	KEINE
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82