

(19)



(11)

EP 3 134 560 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.04.2021 Patentblatt 2021/16

(51) Int Cl.:
C23C 4/18 (2006.01) F02F 1/20 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15711655.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/000563

(22) Anmeldetag: **13.03.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/161909 (29.10.2015 Gazette 2015/43)

(54) **THERMISCH BESCHICHTETES BAUTEIL**

THERMALLY COATED COMPONENT

PIÈCE STRUCTURALE DOTÉE D'UN REVÊTEMENT THERMIQUE

(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

(30) Priorität: **24.04.2014 DE 102014005947**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.03.2017 Patentblatt 2017/09

(73) Patentinhaber: **Daimler AG**
70372 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **BEHR, Thomas**
89275 Elchingen (DE)
• **BÖHM, Jens**
73765 Neuhausen (DE)
• **HAHN, Mareike**
71640 Ludwigsburg (DE)
• **HARTWEG, Martin**
89155 Erbach (DE)
• **HERCKE, Tobias**
71111 Waldenbuch (DE)
• **KREISL, Thomas**
73650 Winterbach (DE)

- **MICHEL, Manuel**
73765 Neuhausen a.d.F. (DE)
- **RAU, Günter**
71686 Remseck (DE)
- **RECKZÜGEL, Christoph**
73345 Hohenstadt (DE)
- **SCHWEICKERT, Stefan**
73207 Plochingen (DE)

(74) Vertreter: **JENSEN & SON**
366-368 Old Street
London EC1V 9LT (GB)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-97/16577 DE-A1-102010 053 326
DE-A1-102012 002 766 JP-H- 0 198 764
US-A- 5 863 870

- **BARBEZAT G ET AL:**
"PLASMABESCHICHTUNGEN VON ZYLINDERKURBELGEHÄUSEN UND IHRE BEARBEITUNG DURCH HONEN", MTZ MOTORTECHNISCHE ZEITSCHRIFT, VIEWEG VERLAG, WIESBADEN, DE, Bd. 62, Nr. 4, 1. April 2001 (2001-04-01), Seiten 314-320, XP001017720, ISSN: 0024-8525

EP 3 134 560 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

[0001] Die Erfindung betrifft ein thermisch beschichtetes Bauteil nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art.

[0002] Aus dem allgemeinen Stand der Technik ist es bekannt, die Oberflächeneigenschaften wie zum Beispiel die Reibung von Bauteilen, die mit einem Reibungspartner zusammenwirken, zu optimieren. Bauteile dieser Art können in etwa eine Paarung Zylinder und Kolben sein, deren Zusammenwirken von höchster Relevanz beispielsweise in Verbrennungsmotoren ist. Die Gesamtleistung und der Ölverbrauch eines Verbrennungsmotors bestimmen sich im Wesentlichen durch die Reibung zwischen diesen Partnern, der Zylinderinnenfläche und dem Kolben. Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, durch eine entsprechende mechanische Oberflächenbearbeitung, beispielsweise durch Honen, Strukturen zu schaffen, welche die Reibung minimieren, indem sie dafür sorgen, dass eine gewisse Ölmenge im Bereich der Oberfläche gehalten wird. Die sich überkreuzenden Riefen, welche beim Honen entstehen, sind hierfür geeignet.

[0003] Ferner ist es aus dem allgemeinen Stand der Technik bekannt, die Zylinderlaufflächen oder auch andere hinsichtlich der tribologischen Eigenschaften zu optimierenden Bauteile mit Beschichtungen zu versehen. Eine Möglichkeit kann beispielsweise eine sogenannte thermische Beschichtung sein, welche insbesondere durch thermisches Spritzen, beispielsweise dem LDS- (Lichtbogendrahtspritzen) oder PTWA-Verfahren (Plasma Transferred Wire Arc) ermöglicht werden. Derartige Oberflächen weisen insbesondere offene Poren auf, welche ebenfalls dazu beitragen, Öl im Bereich der Oberfläche zu halten. Insbesondere kann eine solche thermisch aufgetragene Beschichtung mit einem anschließenden zerspanenden Prozess wie beispielsweise dem Honen verknüpft werden.

[0004] Ein derartiger Aufbau ist aus der gattungsgemäßen DE 10 2012 002 766 A1 bekannt. Das dortige thermisch beschichtete Bauteil zeichnet sich durch ein bestimmtes sogenanntes Ölhalte- bzw. Ölrückhaltevolumen aus, welches dafür sorgt, dass eine entsprechende gewünschte bzw. theoretisch vorbestimmte Menge an Öl im Bereich der reibungsoptimierten Oberfläche während des Betriebs, also wenn die Reibungspartner aufeinander gleiten, verbleibt. Hierdurch lassen sich hinsichtlich der Reibung optimale Bauteilpaarungen schaffen, vorzugsweise für Zylinderlaufbahnen in Verbrennungsmotoren.

[0005] Aus der US 5,863,870 A ist eine Beschichtung bekannt, welche gute tribologische Eigenschaften aufweist. Hierbei handelt es sich um eine eisenbasierte Beschichtung, welche Mikroporen beinhaltet. Die Beschichtung kann abschließend über ein Honverfahren geglättet werden. Die JP 0 198 764 H zeigt etwas Ähnliches bei der Beschichtung eines Kolbenrings.

[0006] Ferner ist aus der WO 97/16577 A1 sowie der DE 44 40 713 A1 ein Verfahren zum Herstellen einer

Gleitfläche auf einer Leichtmetalllegierung bekannt, bei welcher die Schicht durch thermisches Spritzen, insbesondere Plasmaspritzen, aufgebracht wird. Aus der DE 10 2010 053 326 A1 ist außerdem ein Gleitlager und ein Verfahren zu dessen Herstellung bekannt. Hierbei wird ein Zusatzwerkstoff mittels Laserbeschichtung aufgetragen und anschließend spanend bearbeitet und/oder geätzt.

[0007] Zum weiteren Stand der Technik kann außerdem auf "Barbezat G. et al.: Plasmabeschichtungen von Zylinderkurbelgehäusen und ihre Bearbeitung durch Honen, in MTZ Motortechnische Zeitschrift, Vieweg Verlag, Wiesbaden, DE, Band 62 Nr. 4, 1. April 2001, Seiten 314 bis 320" verwiesen werden.

[0008] Die Aufgabe der hier vorliegenden Erfindung besteht nun darin, eine derartige Oberfläche eines thermisch beschichteten Bauteils noch weiter zu optimieren.

[0009] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein thermisch beschichtetes Bauteil mit den Merkmalen im Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den hiervon abhängigen Unteransprüchen.

[0010] Das thermisch beschichtete Bauteil gemäß der Erfindung ist so realisiert, dass in der thermisch beschichteten Oberfläche auftretende Poren hinsichtlich einer Einzugsverrundung dahingehend optimiert sind, dass ein Anstieg der Einzugsverrundung, welcher sich aus einem Verhältnis der Tiefe der Einzugsverrundung zu einem Längenabschnitt der Oberfläche oder parallel zu der Oberfläche, in welcher sich die Pore befindet, errechnet, in jedem Fall einen Wert von mehr als 2,5 $\mu\text{m}/\text{mm}$ und bis zu 5,5 $\mu\text{m}/\text{mm}$ aufweist. Ein solcher Anstieg der Einzugsverrundungen beispielsweise über die gesamte Oberfläche gemittelt für alle Poren von mehr als 2,5 $\mu\text{m}/\text{mm}$ erlaubt eine erneute deutliche Steigerung des Ölhaltevolumens durch entsprechend sanfte Übergänge der Porenflanke in die eigentliche Oberfläche. Derartige Oberflächenmerkmale wirken sich sehr vorteilhaft auf den Verschleiß von Reibpartnern auf, z.B. im Fall einer thermisch beschichteten Zylinderlaufbahn auf den Verschleiß von Kolbenringen.

[0011] Solche hohen Anstiegswerte der Einzugsverrundung lassen sich insbesondere durch ein Honen mit keramischen Honleisten erreichen, vorzugsweise wenn zuvor mit Diamanthonleisten gehont worden ist. Als keramische Honleisten werden dabei Honleisten mit keramischen Schneidstoffen, beispielsweise Siliciumkarbid (SiC) oder Aluminiumoxid (Al_2O_3), vorzugsweise in keramischer Bindung verstanden. Als gut geeignet haben sich dabei Korngrößen der keramischen Schneidstoffe von mehr als 400 mesh (circa 40 μm) erwiesen. Hingegen weisen Diamanthonleisten Diamantschneidstoffe in metallischer Bindung auf. Grundsätzlich können die Schneidstoffe auch mittels Kunstharz- oder Kunststoffbindung an die Honleisten angebunden werden, die vorstehend genannten Bindungen sind jedoch aus wirtschaftlichen Gründen (Standzeiten der Honleisten, Werkzeugkosten, Aufbereitung der Werkzeuge) vorteil-

hafter.

[0012] Üblicherweise eingesetzte Honleisten, wie z.B. Diamanthonleisten hinterlassen Poren mit einer Einzugsverrundung mit einem entsprechend flachen Übergang zwischen der Porenflanke und der eigentlichen Einzugsverrundung und damit einem eher kleinen Anstiegswert, welcher typischerweise in der Größenordnung zwischen 0,5 und 1,5 liegt. Überraschend ist, dass sich durch ein vorzugsweise anschließendes Honen mit keramischen Honleisten der Anstieg der Einzugsverrundungen auf Werte von mehr als $2,5 \mu\text{m/mm}$, typischerweise auf Werte zwischen 3 und $5,5 \mu\text{m/mm}$ steigern lässt. Die Oberfläche weist dann eine sehr glatte Deckstruktur auf, mit einer entsprechend offenen Porosität ohne eine Verdeckelung der einzelnen Poren. Durch die hohen Anstiegswerte und die entsprechend sanften Übergänge der Porenflanken in die Einzugsverrundungen lässt sich das Ölhaltevolumen dann gegenüber dem Stand der Technik nochmals deutlich steigern, insbesondere um ca. 40 - 50 %.

[0013] Zur Erfassung der Einzugsverrundung kann beispielsweise eine Begrenzungslinie erfasst werden, welche den Bereich der Einzugsverrundung der Pore von der umgebenden Oberfläche separiert. Dazu wird zunächst ein mittleres Höhnenniveau der die jeweilige Pore umgebenden Oberfläche bestimmt (z.B. mittels Weißlichtinterferometrie oder auch anderer üblicher Messtechnik). Danach werden zu dieser Pore gehörende Punkte ermittelt, welche gegenüber diesem mittleren Höhnenniveau (um einen vorgegebenen Wert, z.B. die Auflösungsgrenze der jeweiligen Messtechnik) abgesenkt sind und an die umgebende Oberfläche angrenzen. Diese Punkte bilden dann die Begrenzungslinie dieser Pore.

[0014] Danach wird zumindest in einigen Punkten der Begrenzungslinien eine Tangente zur Begrenzungslinie gebildet. Senkrecht zu dieser Tangente wird entlang einer definierten Messstrecke die mittlere Steigung der Einzugsverrundung erfasst. Anschließend werden die mittleren Steigungen aller Messstrecken der Pore gemittelt, um so einen Mittelwert für die Einzugsverrundung der jeweiligen Pore zu erhalten, welcher dann als sogenannter Anstieg der Einzugsverrundung der jeweiligen Pore formuliert wird. Anschließend kann das Verfahren an anderen Poren fortgesetzt werden, um so einen Mittelwert aller Anstiege aller Einzugsverrundungen aller Poren der gesamten Oberfläche oder einzelner Abschnitte der Oberfläche zu erhalten.

[0015] Alternativ dazu ist es auch denkbar, mit mehreren Begrenzungslinien zu arbeiten. Dazu wird zunächst wieder eine erste Begrenzungslinie erfasst, welche den Bereich der Verrundung der Pore von der umgebenden Oberfläche separiert. Zusätzlich muss bei dieser Alternative darauf geachtet werden, dass die erste Begrenzungslinie auf einem ersten definierten Höhnenniveau verläuft. Anschließend wird innerhalb eine zweite Begrenzungslinie ausgebildet, welche in Richtung der Pore verschoben ist, idealerweise in dem Bereich, in dem

die Einzugsverrundung von der Pore selbst separiert ist, und welche ebenfalls auf einem definierten Höhnenniveau verläuft. Wenn dann für die beiden Begrenzungslinien ihre Höhe bekannt ist, kann eine Höhendifferenz ermittelt werden. Diese Höhendifferenz lässt sich dann durch den mittleren Abstand der Begrenzungslinien voneinander dividieren, um so einen mittleren Anstieg der Einzugsverrundung der jeweiligen Pore zu erhalten.

[0016] Die Messwerte können dabei über ein flächenhaftes Oberflächenmessverfahren, insbesondere eine Weißlichtinterferometrie, ermittelt und anschließend mit einem dreidimensionalen Datensatz auf Basis der Messung umgewandelt werden. Dieser kann dann beispielsweise über bildverarbeitende Verfahren zur Erfassung der Begrenzungslinien, der Steigungen und des Anstiegs verwendet werden.

[0017] Wie bereits erwähnt ermöglichen Anstiege von mehr als $2,5 \mu\text{m/mm}$ der Einzugsverrundungen der Poren eine deutliche Verbesserung der tribologischen Eigenschaften der Oberfläche.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen thermisch beschichteten Bauteils kann es dabei vorgesehen sein, dass die reibungsoptimierte Oberfläche mechanisch bearbeitet, bevorzugt spanend bearbeitet ist. Diese spanende Bearbeitung, welche insbesondere als Honen realisiert sein kann, erfolgt dabei nachdem die thermische Beschichtung aufgetragen ist, beispielsweise nachdem eine Zylinderlauf- fläche oder eine Zylinderbuchse durch thermisches Spritzen an der Oberfläche beschichtet worden ist. Durch das Honen wird dann die Oberflächenqualität verbessert und die Oberfläche, z. B. der Zylinder auf das gewünschte Maß gebracht.

[0019] Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung der Idee kann dabei die reibungsoptimierte Oberfläche durch ein mehrstufiges Honen endbearbeitet sein, wobei zuerst mit Diamanthonleisten und anschließend mit Keramikhonleisten gehont wird. Insbesondere eine solche Vorbearbeitung mit Diamanthonleisten und eine abschließende Nachbearbeitung mit Keramikhonleisten führt zu sehr günstigen Einzugsverrundungen, sodass die vorteilhaften Anstiegswerte der Einzugsverrundungen von mehr als $2,5 \mu\text{m/mm}$, bevorzugt mehr als $3 \mu\text{m/mm}$ erreicht werden. Hierdurch lassen sich die tribologischen Eigenschaften der reibungsoptimierten Oberfläche nochmals weiter steigern, insbesondere durch ein gegenüber dem Stand der Technik nochmals deutlich gesteigertes Ölhaltevolumen.

[0020] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des thermisch beschichteten Bauteils ergeben sich aus den restlichen abhängigen Unteransprüchen und werden anhand des Ausführungsbeispiels deutlich, welches nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben ist.

[0021] Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Oberfläche mit einer beispielhaften Pore;
Fig. 2 die Pore aus Fig. 1 mit einer Begrenzungslinie

- zwischen der Verrundung der Pore und der die Pore umgebenden Oberfläche;
- Fig. 3 eine Prinzipdarstellung eines Querschnitts durch den Teil einer Pore zur Visualisierung der Einzugsverrundung;
- Fig. 4 eine Ausschnittsvergrößerung mit eingezeichneter Tangente und Messstrecke für das erste Verfahren gemäß der Erfindung;
- Fig. 5 eine Pore mit zwei Begrenzungslinien zur Verdeutlichung des zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 6 eine Prinzipdarstellung eines Querschnitts der Pore mit den beiden Begrenzungslinien gemäß Fig. 5; und
- Fig. 7 ein Diagramm mit Anstiegswerten unterschiedlicher Poren, welche in unterschiedlicher Art bearbeitet worden sind.

[0022] In der Darstellung der Figur 1 ist rein beispielhaft eine Pore 1 in einer thermisch gespritzten reibungsoptimierten Oberfläche 2 gezeigt. Die hier in Graustufen umgewandelte Darstellung der Figur 1 entstammt einer Weißlichtinterferometrie und zeigt verschiedene Farben bzw. nun verschiedene Graustufen je nach Höhe des Materials. Die Darstellung in Figur 1 gibt also letztlich eine dreidimensionale Topographie der vermessenen Oberfläche 2 mit der Pore 1 und der die Pore 1 umgebenden Oberfläche 2 wieder. Insbesondere über bildverarbeitende Methoden lässt sich dieses dreidimensionale Abbild der Topographie der Oberfläche 2 dann weiter verarbeiten. In der Darstellung der Figur 2 ist die Pore 1 analog zur Darstellung in Figur 1 auf der linken Seite der Darstellung der Figur 2 nochmals zu erkennen. Im Gegensatz zur Darstellung in Figur 1 ist dabei eine Begrenzungslinie 3 eingezeichnet und in der rechten Darstellung der Figur 2 nochmals separat dargestellt. Diese Begrenzungslinie 3, welche auch als erste Begrenzungslinie bezeichnet werden könnte, wie sich später noch zeigt, separiert dabei den Bereich einer sogenannten Einzugsverrundung 4, welche in den Darstellungen der Figuren 1 und 2 in entsprechenden Grautönen zu erkennen ist, von der die Pore 1 umgebenden Oberfläche 2. Dazu wird mittels Weißlichtinterferometrie zunächst ein mittleres Höhnenniveau der die Pore 1 umgebenden Oberfläche 2 bestimmt. Danach werden zu dieser Pore 1 gehörende Punkte ermittelt, welche gegenüber diesem mittleren Höhnenniveau um die doppelte Auflösungsgrenze abgesenkt sind und an die umgebende Oberfläche angrenzen. Diese Punkte bilden dann die Begrenzungslinie 3 der Pore 1 gegenüber der Oberfläche 2.

[0023] In der Darstellung der Figur 3 ist dies in einer prinzipmäßigen Schnittdarstellung einer Seite der Pore 1 nochmals dargestellt. Der Maßstab ist dabei in Richtung y in μm in Richtung x in mm gewählt, wodurch sich eine verzerrte Darstellung ergibt. Dies ist zur Visualisierung der Einzugsverrundung jedoch notwendig. Die Pore 1 ist als teilweise Vertiefung in der Oberfläche 2 des mit 5 bezeichneten Materials, beispielsweise einer ther-

misch gespritzten Beschichtung, zu erkennen. Mit durchgezogener Linie ist dabei eine Verbindung der eigentlichen Pore 1 mit der Oberfläche 2 zu erkennen, welche einen vergleichsweise flachen Übergang von einer Flanke 6 der Pore 1 in den Bereich der Einzugsverrundung 4 und damit in die Oberfläche 2 zeigt. Mit der durchgezogenen Linie ist dabei ein vergleichsweise sanfter Übergang der Porenflanke 6 in die Einzugsverrundung 4 gezeigt. Mit der gestrichelten Linie, welche in der Darstellung der Figur 3 mit 4' bezeichnet ist, ist eine weitere Einzugsverrundung 4' gezeigt, welche im Übergang zur Porenflanke sehr viel schärfer ausfällt als die mit 4 bezeichnete Einzugsverrundung.

[0024] Die Einzugsverrundung 4, 4' kann nun, je nachdem wie sie ausfällt, durchaus einen Einfluss auf die Funktion des Bauteils bzw. der Beschichtung 5 haben. Daher ist es wünschenswert, diese Einzugsverrundung 4, 4' als einen der Parameter der Oberfläche 2 messtechnisch zu bestimmen. Auf Basis der in Figur 2 dargestellten Abbildung kann nun mit entsprechenden Bildbearbeitungsverfahren ein sogenannter Anstieg der Einzugsverrundung 4, 4' ermittelt werden, indem beispielsweise, wie es in der Darstellung der Figur 4 angedeutet ist, an einen - insbesondere jedoch für jeden Punkt - der Begrenzungslinie 3, eine mit T bezeichnete Tangente angelegt wird. Senkrecht zu dieser Tangente T wird eine Messstrecke M definierter Länge ausgebildet, wobei deren Länge symmetrisch zur Begrenzungslinie 3 sowohl in Richtung Pore, als auch in Richtung Umgebung festgelegt ist. Bei den hier beispielhaft betrachteten Strukturen beträgt die Gesamtlänge der Messstrecke M $60\mu\text{m}$. Danach wird ausgehend vom Beginn der Messstrecke M außerhalb der Begrenzungslinie 3 in Richtung der Pore 1 nach innen die mittlere Steigung, z.B. mit einem linearen Regressionsverfahren, entlang der Messstrecke M erfasst. Wird nun entlang der Begrenzungslinie 3 in mehreren, insbesondere in allen Punkten dieser Begrenzungslinie 3, eben diese Ermittlung der Steigung durchgeführt, dann kann ein entsprechender Mittelwert gebildet werden, sodass eine entsprechende mittlere Steigung der Einzugsverrundung 4 der Pore 1 erhalten werden kann.

[0025] Diese mittlere Steigung wird dann als sogenannter Anstieg der Einzugsverrundung 4, 4' formuliert. Also mit den in Figur 3 eingezeichneten Koordinaten x und y durch das Verhältnis der gemessenen Tiefe y der Einzugsverrundung 4, 4' gegenüber der sie umgebenden Oberfläche 2 im Verhältnis oder normiert auf einen mittleren Längenabschnitt x parallel zu der Oberfläche 2 (entsprechend dem Mittelwert aller Projektionen aller Messstrecken M) berechnet. Als Formel ergibt sich damit

$$A = y / x \text{ in } [\mu\text{m} / \text{mm}].$$

[0026] Der Wert des Anstiegs A wird dabei vorzugsweise in $\mu\text{m}/\text{mm}$ des Längenabschnitts x in Richtung der

Oberfläche 2 angegeben. Je größer dieser Wert ist, desto sanfter ist der Übergang von der Porenfläche 6 in die Oberfläche 2. Ein entsprechend sanfter Übergang entspricht in der nicht maßstäblichen Darstellung der Figur 3 der mit 4 bezeichneten Einzugsverrundung. Wird der Wert des Anstiegs kleiner, dann wird der Übergang zur Porenflanke 6 weniger sanft, und könnte beispielsweise dem in der Darstellung der Figur 3 mit 4' bezeichneten Übergang entsprechen.

[0027] Auf Basis der so gewonnen Werte für den Anstieg A, beispielsweise den Anstieg A der Pore 1 oder den mittleren Anstieg A für alle Poren 1 eines Oberflächenabschnitts oder der gesamten Oberfläche 2, lässt sich so sehr leicht die Geometrie der Einzugsverrundungen 4, 4' entsprechend vergleichen, was die funktionsorientierte Vermessung der Oberfläche 2 erleichtert und anhand der in Zahlen gefassten und vermessenen Einzugsverrundung über den mittleren Anstieg A in $\mu\text{m}/\text{mm}$ eine gute Vergleichbarkeit der Oberfläche 2 beispielsweise nach der Bearbeitung mit verschiedenen Werkzeugen und/oder verschiedener Beschichtungen 5 untereinander ermöglicht.

[0028] Um eine Begrenzung der Messstrecke M leichter zu machen, kann zusätzlich zu der Begrenzungslinie 3 eine Porenrandlinie 7 erstellt werden, welche den Bereich der Einzugsverrundung 4, 4' der Pore 1 von der Pore 1 selbst separiert. Diese Porenrandlinie 7 bildet dann die innere Begrenzung der Messstrecke M senkrecht zur Tangente T. Zur Verdeutlichung ist eine solche Porenrandlinie 7 in der Darstellung der Figur 5 eingezeichnet.

[0029] Die Porenrandlinie 7 kann, wenn sie wie in diesem Fall wie auch die erste Begrenzungslinie 3, auf einem Höhenniveau verläuft auch für ein alternatives Verfahren zum Ermitteln der Steigung der Einzugsverrundung 4, 4' genutzt werden. In diesem Fall bildet die Porenrandlinie 7 eine zweite Begrenzungslinie 7, während die Begrenzungslinie 3 eine erste Begrenzungslinie 3 bildet. In diesem Fall ist streng darauf zu achten, dass beide Begrenzungslinien 3, 7 auf demselben (mittleren) Höhenniveau im Verhältnis zur Oberfläche 2 verlaufen. Es ergibt sich dann der beispielhaft in der Schnittdarstellung der Figur 6 gezeichnete Verlauf, bei welchem die in der Darstellung mit 3 bezeichnete erste Begrenzungslinie auf der Höhe der Oberfläche 2 liegt, während um ein gewisses Stück der Höhe Δy darunter die zweite Begrenzungslinie 7 angedeutet ist. Ermittelt man nun den mittleren Abstand Δx dieser beiden Begrenzungslinien 3, 7 über den gesamten Umfang der Pore 1 und ermittelt gleichzeitig die Höhendifferenz Δy zwischen den beiden Begrenzungslinien 3, 7, dann lässt sich aus diesen Werten ebenfalls eine Steigung bzw. der Anstieg $A = y / x$ berechnen.

[0030] Das Verfahren kann als Alternative zu dem oben genannten Verfahren eingesetzt werden und kann je nach Bildverarbeitung gegebenenfalls schneller als das zuvor beschriebene Verfahren sein und entsprechend weniger Rechenleistung beanspruchen. Anson-

ten gilt auch hier, dass ein entsprechendes Verfahren für jede Pore durchgeführt werden kann, und dass dementsprechend für die gesamte Oberfläche 2 oder für Abschnitte der Oberfläche 2 die Verrundung der jeweiligen Poren 1 einzeln oder als Mittelwert zur Verfügung steht, um eine funktionsorientierte Beurteilung der Oberfläche 2 durchzuführen. Selbstverständlich ist es dabei auch möglich, anstelle von zwei Begrenzungslinien 3, 7 mehr als zwei Begrenzungslinien zu verwenden und/oder einige der Poren 1 über das erste beschriebene Verfahren und andere der Poren 1 über das zweite beschriebene Verfahren hinsichtlich des Anstiegs A ihrer Einzugsverrundungen 4, 4' zu beurteilen.

[0031] Der Anstieg A kann nun insbesondere dazu genutzt werden, die tribologischen Eigenschaften der reibungsoptimierten Oberfläche 2 zu beurteilen. Im Diagramm der Figur 7 sind die mittleren Anstiege A einzelner mit unterschiedlichen Herstellungsverfahren bearbeiteter Poren 1 aufgetragen. Die Poren 1 befinden sich dabei in einer thermischen Beschichtung 5, welche auf eine Zylinderlaufbuchse oder ein Zylindergehäuse für einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs aufgetragen ist. Über das oben beschriebene Verfahren wurde der mittlere Anstieg A von Poren 1 ermittelt, nachdem die Poren 1 in herkömmlicher Art und Weise mit einem Diamanthonwerkzeug gehont worden sind. Diese mittleren Anstiege A der mit Diamantwerkzeugen gehonten Oberfläche 2 befinden sich im Diagramm der Figur 7 ganz rechts. Sie weisen Werte zwischen -1 und +1,5 für den Anstieg auf. Diese Werte sind damit vergleichsweise klein, was für einen recht scharfkantigen Übergang der Porenflanke 6 in den Bereich der Verrundung 4 spricht. Die Verrundung bei diesen lediglich mit diamantbearbeiteten Poren 1 der Oberfläche 2 würde also der Einzugsverrundung 4' aus der Darstellung der Figur 3 entsprechen. Der negative Messwert hat dabei damit zu tun, dass hier Material im Bereich einer der Poren 1 aufgehäuft angetroffen worden ist, sodass sich ein negativer Anstieg ergeben hat.

[0032] In dem Diagramm der Figur 7 ganz links befinden sich die Messwerte von fünf Poren, welche in der Oberfläche 2 nach einer Bearbeitung mit Diamanthonwerkzeugen und einer anschließenden Nachbearbeitung mit Werkzeugen mit keramischer Honleiste erzielt worden sind. Die Anstiegswerte liegen allesamt deutlich über $2,5 \mu\text{m}/\text{mm}$, insbesondere über $3,5 \mu\text{m}/\text{mm}$ und in den allermeisten Fällen sogar über 4. Solche hohen Anstiegswerte, welche für einen entsprechend sanften Übergang der Porenflanke 6 in die Einzugsverrundung 4 sprechen, sind beispielweise so ausgestaltet, wie es in der Darstellung der Figur 3 als Einzugsverrundung 4 angedeutet ist. Eine derartige Ausgestaltung der Poren 1 ermöglicht dann ein entsprechend hohes Ölhaltevolumen, sodass beste tribologische Eigenschaften der reibungsoptimierten Oberfläche 2 erzielt werden können.

Patentansprüche

1. Thermisch beschichtetes Bauteil, welches eine reibungsoptimierte Oberfläche (2) einer Laufbahn für einen Reibungspartner aufweist, wobei die Oberfläche (2) Poren (1) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Poren (1) eine Einzugsverrundung (4, 4') aufweisen, deren Anstieg (A) als Verhältnis der Tiefe (y) der Einzugsverrundung (4, 4') zu einem Längenabschnitt (x) der Oberfläche (2) oder parallel zu der Oberfläche (2), einen Wert von mehr als 2,5 µm/mm und bis zu 5,5 µm/mm aufweist.
2. Thermisch beschichtetes Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anstieg im Mittel aller Poren der Oberfläche (2) mehr als 3 µm/mm beträgt.
3. Thermisch beschichtetes Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reibungsoptimierte Oberfläche (2) mechanisch bearbeitet, bevorzugt spanend bearbeitet ist.
4. Thermisch beschichtetes Bauteil nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reibungsoptimierte Oberfläche (2) durch Honen bearbeitet ist.
5. Thermisch beschichtetes Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reibungsoptimierte Oberfläche (2) durch wenigstens zweifaches Honen endbearbeitet ist, zuerst mit einem Werkzeug mit Diamanthonleisten und anschließend mit einem Werkzeug mit Keramikhonleisten.
6. Thermisch beschichtetes Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Beschichtung eine thermische Spritzschicht, bevorzugt eine Lichtbogendrahtspritzschicht oder eine PTWA-Schicht ist.
7. Thermisch beschichtetes Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil ein Zylinderkurbelgehäuse oder ein Kolben oder eine Buchse, bevorzugt eine Zylinderlaufbuchse, ist.

Claims

1. Thermally insulated component,

having a friction-optimised surface (2) of a track for a friction partner, wherein the surface (2) has pores (1), **characterised in that** the pores (1) have an entry rounding (4, 4'), the rise (A) of which, being a ratio of the depth (y) of the entry rounding (4, 4') to a length section (x) of the surface (2) or parallel to the surface (2), has a value of more than 2.5 µm/mm and up to 5.5 µm/mm.

2. Thermally insulated component according to claim 1, **characterised in that** the rise is more than 3 µm/mm on average in all pores of the surface (2).
3. Thermally insulated component according to claim 1 or 2, **characterised in that** the friction-optimised surface (2) is treated mechanically, preferably machined.
4. Thermally insulated component according to claim 1, 2 or 3, **characterised in that** the friction-optimised surface (2) is machined by honing.
5. Thermally insulated component according to claim 4, **characterised in that** the friction-optimised surface (2) is finished by honing at least twice, first with a tool with diamond honing stones and then with a tool with ceramic honing stones.
6. Thermally insulated component according to any of claims 1 to 5, **characterised in that** the thermal coating is a thermal spray coat, preferably an arc wire spray coat or a PTWA coating.
7. Thermally insulated component according to any of claims 1 to 6, **characterised in that** the component is a cylinder crankcase or a piston or a sleeve, preferably a cylinder liner.

Revendications

1. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique, laquelle présente une surface optimisée en termes de frottements (2) d'une voie de roulement pour un partenaire de frottement, la surface (2) présentant des pores, **caractérisée en ce que** les pores (1) présentent un arrondi d'insertion (4, 4'), dont l'élévation (A) présente en tant que rapport entre la profondeur (y) de l'arrondi d'insertion (4, 4') et

une section de longueur (x) de la surface (2) ou parallèle à la surface (2), une valeur supérieure à 2,5 $\mu\text{m}/\text{mm}$ et jusqu'à 5, 5 $\mu\text{m}/\text{mm}$.

2. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'élévation atteint au moyen de tous les pores de la surface (2) 3 $\mu\text{m}/\text{mm}$. 5

3. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisée en ce que** la surface optimisée en termes de frottements (2) est usinée mécaniquement, de préférence usinée par enlèvement de copeaux. 10
15

4. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique la revendication 1 ou la revendication 2 ou 3, **caractérisée en ce que** la surface optimisée en termes de frottement (2) est usinée par polissage. 20

5. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la surface optimisée en termes de frottement (2) est soumise à au moins deux passages de polissage de finition, d'abord à l'aide d'un outil doté de barres de polissage en diamant et ensuite à l'aide d'un outil doté de barres de polissage en céramique. 25

6. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** le revêtement thermique est une couche appliquée selon le procédé de projection à chaud, de préférence une couche appliquée selon le procédé de projection à chaud de fil par arc électrique ou une couche PTWA. 30
35

7. Pièce structurale dotée d'un revêtement thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que** la pièce structurale est un bloc moteur ou un piston ou une chemise, de préférence une chemise de cylindre. 40

45

50

55

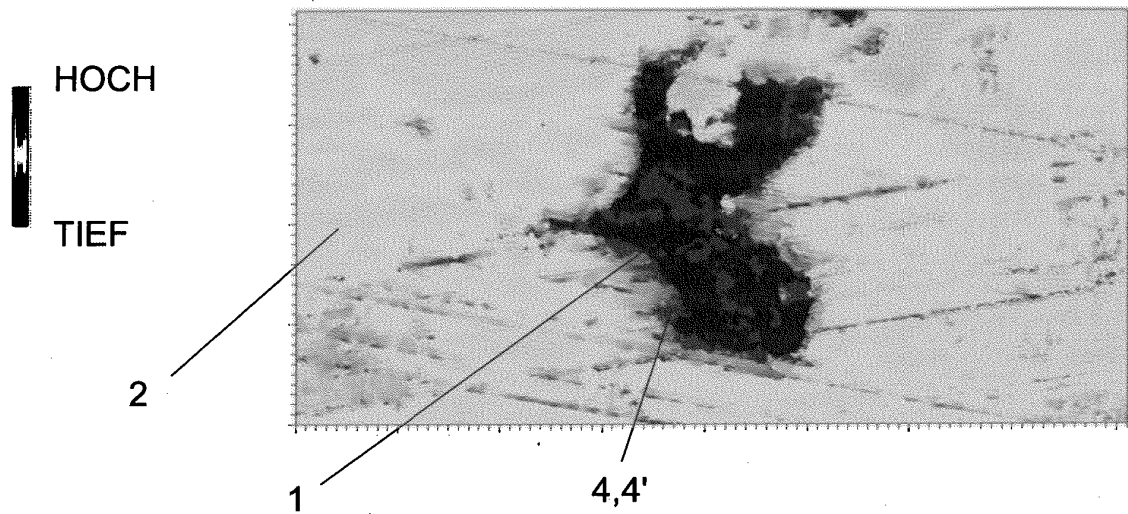


Fig. 1

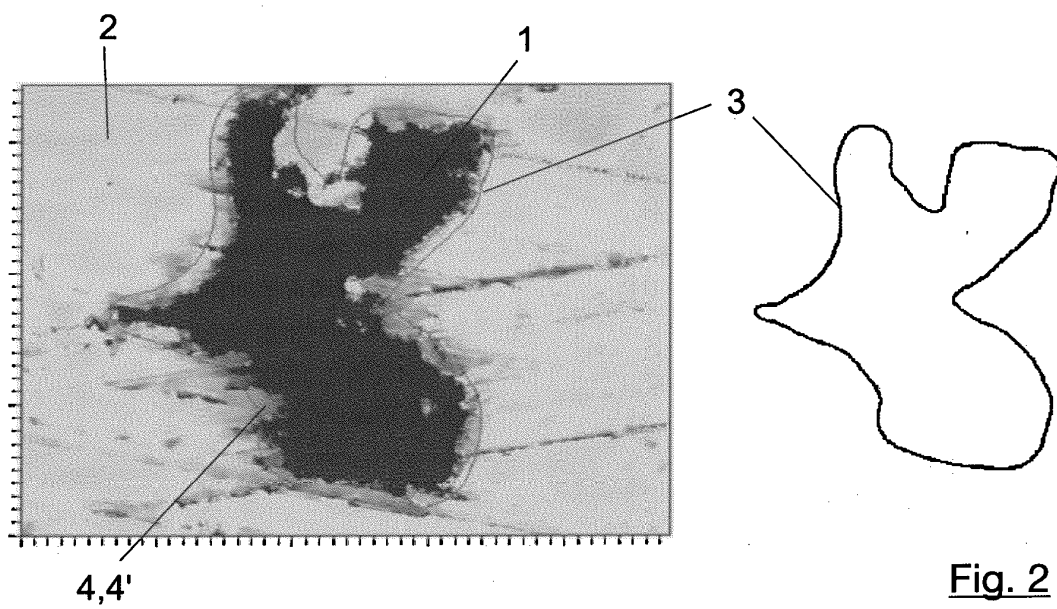


Fig. 2

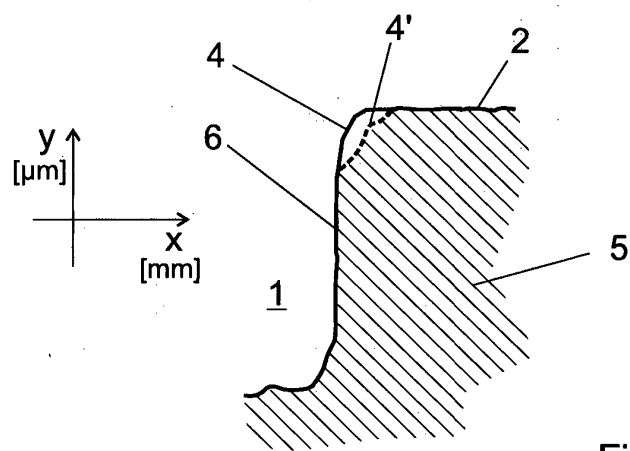
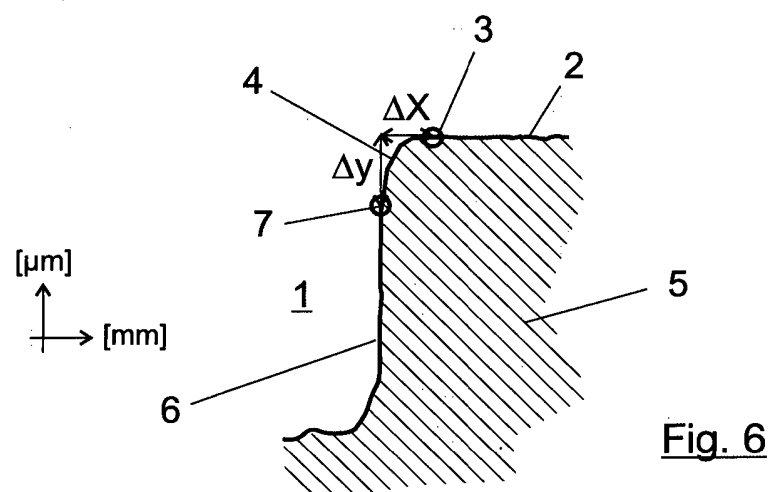
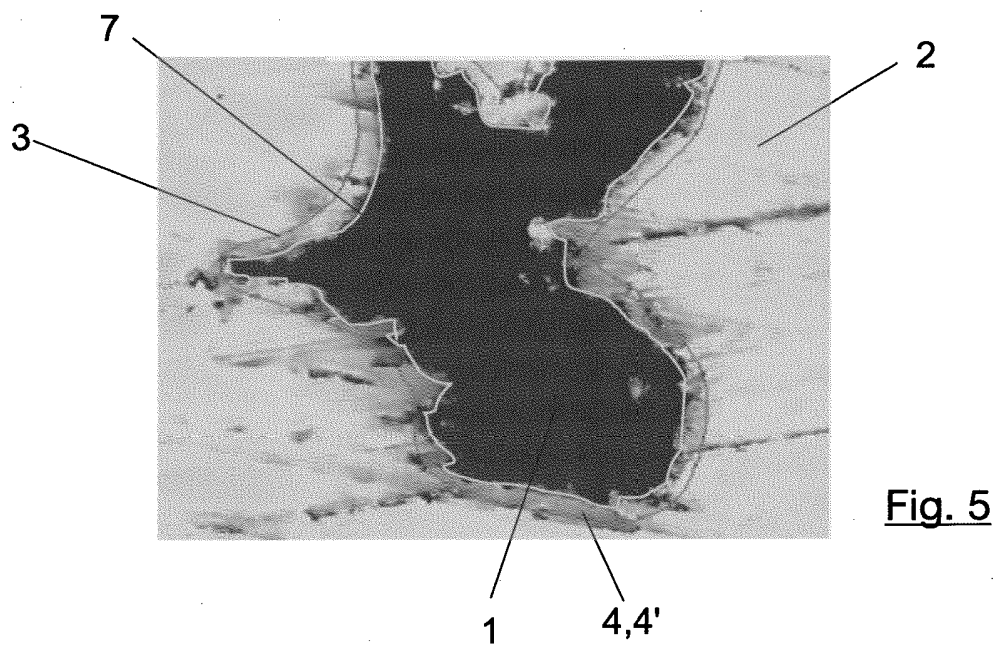
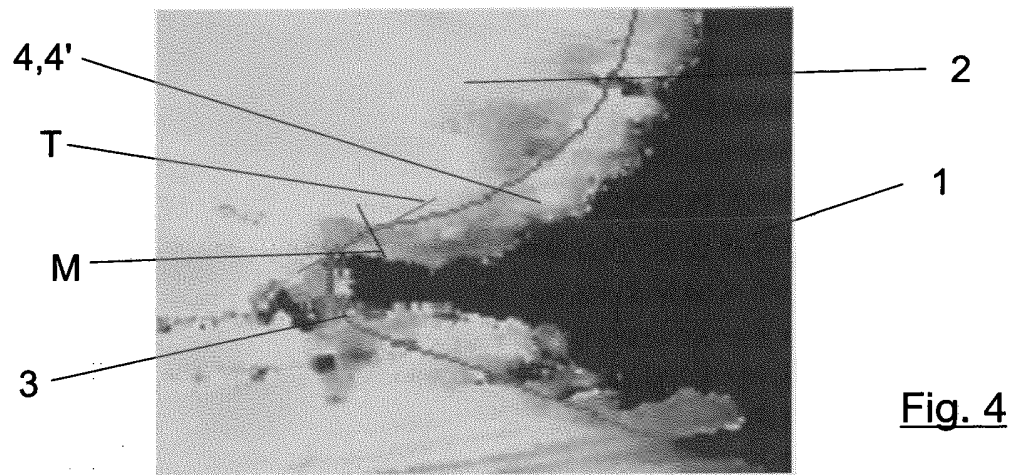
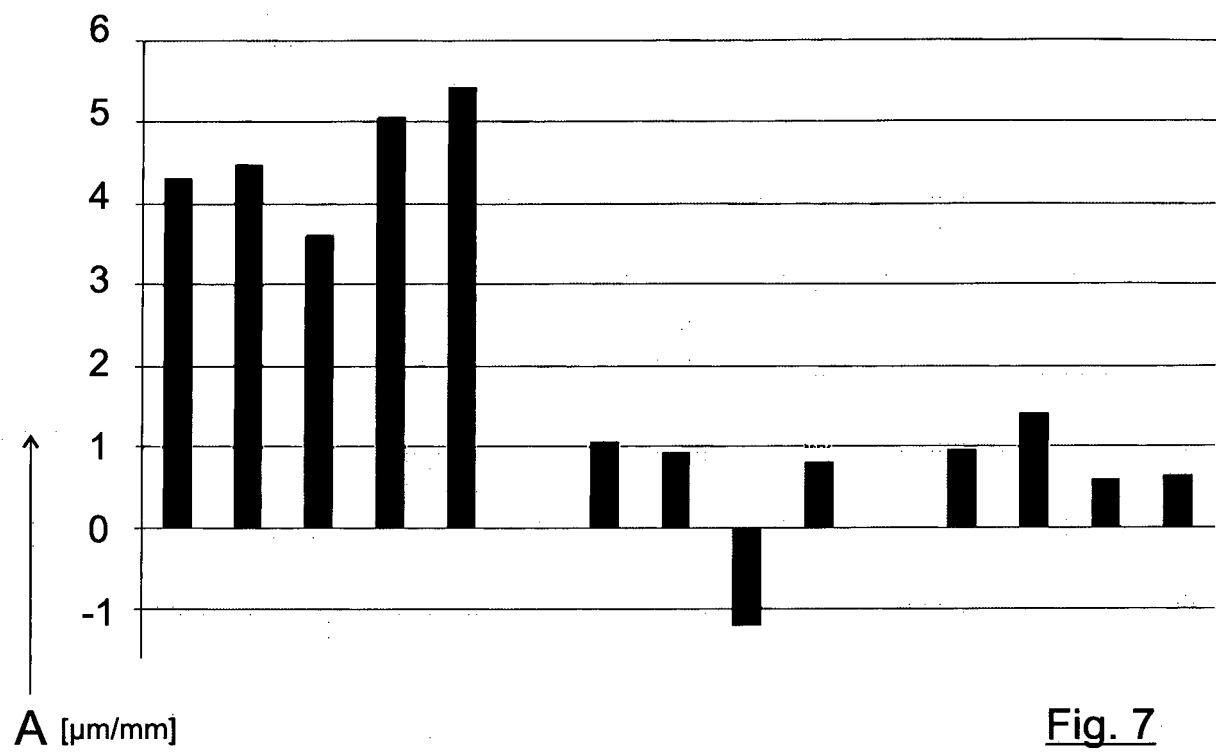


Fig. 3





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 Patentedokumente

- DE 102012002766 A1 [0004]
- US 5863870 A [0005]
- JP 0198764H A [0005]
- WO 9716577 A1 [0006]
- DE 4440713 A1 [0006]
- DE 102010053326 A1 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Plasmabeschichtungen von Zylinderkurbelgehäusen und ihre Bearbeitung durch Honen. **BARBE-ZAT G. et al.** MTZ Motortechnische Zeitschrift. Vieweg Verlag, 01. April 2001, vol. 62, 314-320 [0007]