

VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG VON ZYLINDERLAUFBAHNEN VON ZYLINDERN
ODER ZYLINDERLAUFBUCHSEN DURCH LASERBEAUFSCHLAGUNG

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen für Hubkolbenmotoren.

Technischer Hintergrund

[0002] Zylinderlaufbahnen oder Zylinderlaufbuchsen sind kritische Komponenten in Hubkolbenmotoren, die eine dauerhafte Oberfläche für die Kolbenbewegung und Verbrennungsprozesse bieten. Diese Laufbuchsen können aus Lamellengraphitguss mit einer perlitischen Struktur, die Zementit-, Ferrit- und Graphitlamellenanteile aufweist, bestehen. Die Oberflächeneigenschaften von Zylinderlaufbuchsen haben einen erheblichen Einfluss auf die Motorleistung, Effizienz und Langlebigkeit.

[0003] Im Laufe der Zeit sind Zylinderlaufbuchsen extremen Bedingungen ausgesetzt, einschließlich hoher Temperaturen, Drücke und mechanischer Belastungen. Dies kann zu Verschleiß, Verschlechterung der Oberflächeneigenschaften und Ansammlung von Verbrennungsrückständen in den Honriefen und Sekundärriefen der Laufbuchsenoberfläche führen. Diese Faktoren können die Motorleistung negativ beeinflussen, den Ölverbrauch erhöhen und möglicherweise die Lebensdauer des Motors verkürzen.

[0004] Verschiedene Methoden wurden eingesetzt, um die Oberflächeneigenschaften von Zylinderlaufbuchsen zu verbessern, einschließlich Honverfahren zur Erzeugung eines Kreuzschliffmusters, das die Ölrückhaltung und -verteilung unterstützt. Herkömmliche Honverfahren bieten jedoch nicht immer optimale Oberflächeneigenschaften für moderne Hochleistungsmotoren.

[0005] Es besteht ein anhaltender Bedarf an verbesserten Verfahren und Technologien zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen und -

laufbuchsen, sowohl bei der Herstellung neuer Motoren als auch bei der Aufarbeitung gebrauchter Motoren. Fortschritte in diesem Bereich könnten zu Motoren mit besserer Leistung, erhöhter Effizienz, reduzierten Emissionen und verlängerter Betriebslebensdauer führen.

Beschreibung

[0006] Basierend auf dem bekannten Stand der Technik ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen von Hubkolbenmotoren bereitzustellen, insbesondere zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften der Zylinderlaufbahnen der Zylinder oder der Zylinderlaufbuchsen.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Figuren.

[0008] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird ein Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen vorgeschlagen, wobei das Verfahren die Schritte des berührungslosen Beaufschlagens einer gehonten Oberfläche der Zylinderlaufbahn oder der Zylinderlaufbuchse mit einem gepulsten Laserstrahl umfasst, wobei die gehonte Oberfläche Honriefen und/oder Sekundärriefen aufweist, und wobei die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl so eingerichtet ist, dass Zementitanteile auf der gehonten Oberfläche zu einer Zementitschicht umgeschmolzen werden.

[0009] Zementit, auch als Eisencarbid bekannt, hat unter anderem eine sehr hohe Härte, so dass die Zementitschicht auf der gehonten Oberfläche zu einer erhöhten Stabilität und Verschleißfestigkeit der Zylinderbahn oder der Zylinderbuchse führt. Auf diese Weise kann mittels des Verfahrens die Dauerfestigkeit der Zylinderlaufbahnen der Zylinder oder der Zylinderlaufbuchsen verbessert werden.

[0010] Die Zylinderlaufbahn des Zylinders oder die Zylinderlaufbuchse kann Lamellengraphitguss mit einem perlitischen Gefüge umfassen oder daraus bestehen und Zementitanteile, Ferritanteile und Graphitlamellenanteile umfassen, wobei die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl weiterhin so eingerichtet sein kann, dass Graphitlamellenanteile auf der gehonten Oberfläche freigelegt werden und Ferritanteile verdampft werden.

[0011] Auf diese Weise können die tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche verbessert werden, denn durch das Freilegen der Graphitlamellenanteile werden die Ölrückhaltung und die Schmierung verbessert. Dies führt zu einer verbesserten Verschleißfestigkeit, verbesserter Ölrückhaltung und einer verlängerten Motorlebensdauer, wodurch sich die Eigenschaften des entsprechend behandelten Motors verbessern.

[0012] Zum Aufbereiten von durch Verbrennungsrückstände zugesetzten Honriefen und/oder Sekundärriefen, insbesondere durch Verbrennungsrückstände in Form von Ölkohle in einem Flüssigkraftstoffmotor oder Verlackung in einem Gasmotor, kann der gepulste Laserstrahl dazu eingerichtet sein, die Verbrennungsrückstände in den Honriefen und/oder den Sekundärriefen der gehonten Oberfläche durch Verdampfung zu entfernen.

[0013] Damit kann das Verfahren nicht nur zur Bearbeitung von neuen Zylinderlaufbahnen des Zylinders oder Zylinderlaufbuchsen verwendet werden, sondern auch zur Aufarbeitung von bereits verwendeten Zylinderlaufbahnen oder Zylinderlaufbuchsen. Das Verfahren kann daher besonders flexibel eingesetzt werden.

[0014] Insbesondere können die oben genannten Vorteile mit einer einzigen Behandlung mit dem gepulsten Laserstrahl erreicht werden. So kann mittels der Behandlung sowohl ein Umschmelzen der Zementitanteile in die Zementitschicht, ein Freilegen der Graphitlamellenanteile, ein Verdampfen der Ferritanteile und ein Reinigen durch Verdampfen der Verbrennungsrückstände in einem einzigen Verfahrensschritt der Beaufschlagung der gehonten Oberfläche mit dem gepulsten Laserstrahl erreicht werden.

[0015] Die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl kann wiederholt werden, bis die Zementitschicht auf der gehonten Oberfläche als weitgehend geschlossene Oberfläche oder vollständig geschlossene Oberfläche, bevorzugt mit einer homogenen Oberflächenstruktur, gebildet ist.

[0016] Unter einer weitgehend geschlossenen Oberfläche der Zementitschicht wird beispielsweise eine solche verstanden, bei der sich die Zementitschicht über alle Bereiche der gehonten Oberfläche erstreckt, aber die Honriefen und/oder Sekundärriefen ausnimmt. Mit anderen Worten ist in den Honriefen oder den Sekundärriefen keine Zementitschicht ausgebildet.

[0017] Unter einer vollständig geschlossenen Oberfläche der Zementitschicht wird beispielsweise eine solche verstanden, bei der die Zementitschicht auf der gesamten gehonten Oberfläche vorliegt und dabei auch in den Honriefen und/oder Sekundärriefen vorliegt. Die Zementitschicht folgt dabei der Oberflächenkontur, so dass die Honriefen und Sekundärriefen weiterhin vorhanden sind, aber mit einer Zementitschicht belegt sind.

[0018] Die Zementitschicht kann dabei in einer Dicke von 2nm bis zu 1 μm , bevorzugt von 3-10nm, ausgebildet werden.

[0019] Der gepulste Laserstrahl kann so eingerichtet sein, dass er scharfkantige Strukturen und/oder Kanten von Honriefen und/oder hervorstehende Materialzungen und/oder Kanten von Sekundärriefen durch Schmelzen während des Beaufschlagens der gehonten Oberfläche mit dem gepulsten Laserstrahl abrundet, insbesondere um die tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche zu verbessern.

[0020] Durch die Abrundung der genannten Strukturen kann der Verschleiß an der gehonten Oberfläche reduziert werden und die tribologischen Eigenschaften werden durch die Homogenisierung der Oberfläche verbessert.

[0021] Der gepulste Laserstrahl kann so eingerichtet sein, dass er Material auf der gehonten Oberfläche schmilzt und/oder umverteilt, um eine gleichmäßigere Oberflächenstruktur mit reduzierten scharfen Kanten und

Vorsprüngen im Vergleich zur Oberflächenstruktur vor der Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl zu erreichen.

[0022] Auch auf diese Weise kann der Verschleiß an der entsprechend behandelten Oberfläche verbessert werden.

[0023] Der gepulste Laserstrahl kann eine mittlere Laserleistung von 90-300W, eine Wellenlänge von 1060-1070nm, eine Pulsfrequenz von 135-165kHz und eine Pulsbreite von 18-22ns aufweisen.

[0024] Auf diese Weise lassen sich die oben genannten Vorteile erreichen.

[0025] Die oben beschriebene Aufgabe wird weiterhin durch ein Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen, die eine gehonte Oberfläche mit Honriefen und/oder Sekundärriefen aufweist, gelöst, wobei die gehonte Oberfläche mit einem gepulsten Laserstrahl beaufschlagt wird, wobei der gepulste Laserstrahl eine mittlere Laserleistung von 90-300W, eine Wellenlänge von 1060-1070nm, eine Pulsfrequenz von 135-165kHz und eine Pulsbreite von 18-22ns aufweist.

[0026] Mit einem entsprechend eingerichteten gepulsten Laserstrahl zur Beaufschlagung der gehonten Oberfläche können die oben genannten Behandlungsschritte und Vorteile erreicht werden.

[0027] Die mittlere Laserleistung kann für alle oben genannten Verfahren und Verfahrensvarianten abhängig von der Belastung der gehonten Oberfläche mit Verbrennungsrückständen angepasst werden. Bevorzugt wird bei einer neuen, nicht mit Verbrennungsrückständen belasteten gehonten Oberfläche die mittlere Laserleistung auf 90-110W angepasst, bei einer leicht mit Verbrennungsrückständen belasteten gehonten Oberfläche die mittlere Laserleistung auf 125-155W angepasst, und bei einer stark mit Verbrennungsrückständen belasteten gehonten Oberfläche die mittlere Laserleistung auf 180-220W angepasst.

[0028] Damit kann, wie bereits beschrieben, das Verfahren sehr flexibel und unabhängig von dem jeweiligen Zustand der gehonten Oberflächen

eingesetzt werden. Entsprechend können neue und gebrauchte Zylinderlaufbahnen oder Zylinderlaufbuchsen behandelt werden.

[0029] Die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl kann so eingerichtet sein, dass Graphitlamellenanteile auf der gehonten Oberfläche freigelegt werden, Ferritanteile verdampft werden und verbleibende Zementitanteile zu einer Zementitschicht umgeschmolzen werden, wobei die Zylinderlaufbahn des Zylinders oder die Zylinderlaufbuchse Lamellengraphitguss mit einem perlitischen Gefüge umfasst oder daraus besteht und Zementitanteile, Ferritanteile und Graphitlamellenanteile umfasst.

[0030] Der gepulste Laserstrahl kann mittels einer optischen Anordnung so auf die gehonte Oberfläche aufgebracht werden, dass die gehonte Oberfläche mit einem Bearbeitungsfleck mit einer Länge von 28-32nm und einer Breite von 1.9-2.1nm beaufschlagt wird.

[0031] Der gepulste Laserstrahl kann mit einer Scangeschwindigkeit von 7200-8800mm/s über die gehonte Oberfläche geführt werden, um diese mit dem Laserstrahl zu beaufschlagen.

[0032] Mittels dieses Abscannens der Oberfläche kann erreicht werden, dass die gesamte gehonte Oberfläche mit dem gepulsten Laserstrahl beaufschlagt wird und entsprechend alle Bereiche der gehonten Oberfläche bearbeitet werden. Mittels des beschriebenen Scannens ist es möglich, die Behandlung einfach an die jeweilige Geometrie und Dimensionen der gehonten Oberfläche anzupassen.

[0033] Die Einzelpulse des gepulsten Laserstrahls können eine Einzelpulsenergie von bis zu 1.8mJ, bevorzugt 0,2-2,5μJ, aufweisen.

[0034] Damit kann eine zuverlässige und schnelle Bearbeitung erreicht werden.

[0035] Das Verfahren kann im eingebauten Zustand eines Motors durchgeführt werden.

[0036] Damit lässt sich insbesondere bei der Aufbereitung von bereits verwendeten Zylinderlaufbahnen oder Zylinderlaufbuchsen eine

besonders einfache und effiziente Behandlung durchführen, ohne dass der Motor weitgehend zerlegt werden muss.

[0037] Die oben genannte Aufgabe wird auch durch einen Zylinder oder eine Zylinderlaufbuchse eines Hubkolbenmotors, der eine gehonte Oberfläche mit Honriefen und/oder Sekundärriefen aufweist, gelöst, wobei die gehonte Oberfläche eine Zementitschicht mit einer Dicke von 2nm bis zu 1µm, bevorzugt von 3-10nm, aufweist.

[0038] Ein solcher Zylinder oder eine solche Zylinderlaufbuchse bietet den Vorteil einer verbesserten Verschleißfestigkeit, einer verbesserten Ölrückhaltung und einer verlängerten Lebensdauer aufgrund der einzigartigen Oberflächenstruktur, die durch den Laserbehandlungsprozess erzeugt wird.

[0039] Die Zementitschicht kann weitgehend geschlossen sein oder geschlossen sein und bevorzugt eine homogene Oberflächenstruktur ausbilden, wobei sich die Zementitschicht besonders bevorzugt über die gesamte gehonte Oberfläche erstreckt.

[0040] Unter einer weitgehend geschlossenen Oberfläche der Zementitschicht wird beispielsweise eine solche verstanden, bei der sich die Zementitschicht über alle Bereiche der gehonten Oberfläche erstreckt, aber die Honriefen und/oder Sekundärriefen ausnimmt. Mit anderen Worten ist in den Honriefen oder den Sekundärriefen keine Zementitschicht ausgebildet.

[0041] Unter einer vollständig geschlossenen Oberfläche der Zementitschicht wird beispielsweise eine solche verstanden, bei der die Zementitschicht auf der gesamten gehonten Oberfläche vorliegt und dabei auch in den Honriefen und/oder Sekundärriefen vorliegt. Die Zementitschicht folgt dabei der Oberflächenkontur, so dass die Honriefen und Sekundärriefen weiterhin vorhanden sind, aber mit einer Zementitschicht belegt sind.

[0042] Der Zylinder oder die Zylinderlaufbuchse können ein perlitisches Gefüge mit Zementitanteilen, Ferritanteilen und Graphitlamellenanteilen umfassen, und Graphitlamellenanteile können auf der

gehonten Oberfläche freigelegt sein und Ferritanteile entfernt sein, bevorzugt verdampft.

[0043] Scharfkantige Strukturen und/oder Kanten von Honriefen und/oder hervorstehende Materialzungen und/oder Kanten von Sekundärriefen können durch Schmelzen abgerundet sein.

[0044] Die Zementitschicht auf der gehonten Oberfläche kann als weitgehend geschlossene Oberfläche oder als geschlossene Oberfläche, bevorzugt mit einer homogenen Oberflächenstruktur, gebildet sein, besonders bevorzugt auf der ganzen gehonten Oberfläche.

[0045] Graphitlamellenanteile auf der gehonten Oberfläche können freigelegt sein und ein Netzwerk von freigelegten Graphitlamellen erzeugen, wodurch die tribologischen Eigenschaften der Oberfläche verbessert sind.

[0046] Das Verfahren und die Vorrichtung zur Laserbehandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen bieten mehrere technische Vorteile. Erstens erreicht der Laserbehandlungsprozess gleichzeitig mehrere vorteilhafte Effekte in einem einzigen Arbeitsgang. Er entfernt effektiv Verbrennungsrückstände und Verunreinigungen von der gehonten Oberfläche, einschließlich verstopfter Honriefen und Sekundärriefen, durch Verdampfung. Diese Reinigungswirkung stellt die ursprünglichen tribologischen Eigenschaften der Oberflächentextur wieder her, was für eine ordnungsgemäße Schmierung und reduzierte Reibung während des Motorbetriebs entscheidend ist.

[0047] Gleichzeitig legt die Laserbehandlung Graphitlamellenanteile auf der gehonten Oberfläche frei. Diese Freilegung von Graphitlamellen verbessert die selbstschmierenden Eigenschaften des Zylinderlaufbuchsenmaterials, was weiter zur Reduzierung von Reibung und Verschleiß während des Motorbetriebs beiträgt.

[0048] Die laserinduzierten thermischen Effekte führen auch zur Abrundung von scharfkantigen Strukturen, Honriefenkanten und hervorstehenden Materialzungen. Dieser Abrundungseffekt erzeugt eine gleichmäßigere

Oberflächentopographie, die weniger anfällig für die Ansammlung von Verbrennungsrückständen ist und verbesserte tribologische Eigenschaften aufweist.

[0049] Die Laserbehandlung kann eine Umwandlung der Oberflächenmikrostruktur bewirken, indem Ferritanteile verdampft und verbleibende Zementitanteile zu einer Zementitschicht umgeschmolzen werden. Diese Zementitschicht mit einer Dicke von einigen Nanometern bis zu 1 μm bildet eine keramikähnliche Struktur auf der gehonten Oberfläche. Das Vorhandensein dieser Zementitschicht verbessert die Verschleißfestigkeit der Zylinderlaufbuchse erheblich und verlängert ihre Betriebslebensdauer. Darüber hinaus weist die Zementitschicht eine reduzierte Materialaffinität zu Reibpartnern wie Kolbenringen und Kolbenschäften auf, was die Tendenz zu adhäsivem Verschleiß verringert.

[0050] Die Vielseitigkeit des Verfahrens ist ein weiterer wichtiger Vorteil. Es kann sowohl auf neue Zylinderlaufbuchsen als auch auf leicht oder stark mit Verbrennungsrückständen belastete gehonte Oberflächen angewendet werden, wobei die Laserparameter an unterschiedliche Oberflächenzustände angepasst werden können. Diese Flexibilität ermöglicht die Behandlung von Motoren in verschiedenen Stadien ihres Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Wartung und Aufarbeitung.

[0051] Darüber hinaus kann das Verfahren im eingebauten Zustand der Zylinderlaufbuchsen im Motor durchgeführt werden, wobei nur der Zylinderkopf entfernt werden muss. Diese In-situ-Fähigkeit reduziert die Wartungszeit und -kosten im Vergleich zu herkömmlichen Aufarbeitungsmethoden, die möglicherweise eine vollständige Motorzerlegung oder den Austausch von Zylinderlaufbuchsen erfordern, erheblich.

[0052] Schließlich bietet das Verfahren eine ausgezeichnete Prozesskontrolle und Wiederholbarkeit. Die Möglichkeit, die behandelte Oberfläche visuell zu inspizieren oder automatisierte magnetwelleninduzierte Oberflächeninspektionstechniken zu verwenden, gewährleistet eine konsistente

Qualität und reduziert die Abhängigkeit von subjektiven menschlichen Beurteilungen. Diese Eigenschaft ist besonders wertvoll in industriellen Anwendungen, bei denen Konsistenz und Qualitätskontrolle von größter Bedeutung sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0053] Bevorzugte weitere Ausführungsformen der Erfindung werden anhand der folgenden Beschreibung der Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen:

[0054] Figur 1 zeigt eine schematische Querschnittsansicht einer gehonten Oberfläche einer Zylinderlaufbahn eines Zylinders eines Hubkolbenmotors oder einer Zylinderlaufbuchse vor der Behandlung und in einer etwa 800fachen Vergrößerung des Querschnitts.

[0055] Figur 2 zeigt eine schematische Querschnittsansicht der gehonten Oberfläche aus Figur 1 nach einer Behandlung mit einem Laserstrahl gemäß Aspekten der vorliegenden Offenbarung.

[0056] Figur 3 zeigt eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer unbehandelten gehonten Oberfläche.

[0057] Figur 4 zeigt eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer gehonten Oberfläche nach der Behandlung mittels Beaufschlagung mit einem Laserstrahl gemäß Aspekten der vorliegenden Offenbarung.

Detaillierte Beschreibung der Figuren

[0058] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben. Gleiche, ähnliche oder gleichwertige Elemente in den verschiedenen Figuren sind mit identischen Bezugszeichen versehen, und eine wiederholte Beschreibung dieser Elemente wird teilweise weggelassen, um Redundanz zu vermeiden.

[0059] Die vorliegende Offenbarung stellt ein Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen für

einen Hubkolbenmotor bereit, insbesondere solche aus Lamellengraphitguss. Dieses Verfahren verwendet einen gepulsten Laser zur berührungslosen Behandlung einer gehonten Oberfläche der Zylinderlaufbahn oder der Zylinderlaufbuchse, wobei die gehonte Oberfläche Honriefen und/oder Sekundärriefen aufweist.

[0060] Die Beaufschlagung der gehonten Oberfläche mit dem gepulsten Laserstrahl dient zunächst dazu, Zementitanteile auf der gehonten Oberfläche zu einer Zementitschicht umzuschmelzen. Auf diese Weise kann eine harte und verschleißfeste gehonte Oberfläche bereitgestellt werden.

[0061] Die Beaufschlagung der gehonten Oberfläche kann auch Graphitlamellenanteile auf der gehonten Oberfläche freilegen und Ferritanteile verdampfen. Wenn Verbrennungsrückstände auf der gehonten Oberfläche vorliegen, können diese durch die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laser ebenfalls verdampft werden. Diese gleichzeitige Reinigung, Umstrukturierung und Verbesserung der Oberflächeneigenschaften der gehonten Oberfläche kann zu einer verbesserten Motorleistung und Langlebigkeit führen.

[0062] Das Verfahren ist vielseitig und kann auf neue, leicht mit Verbrennungsrückständen belastete und stark mit Verbrennungsrückständen belastete gehonte Oberflächen angewendet werden, wobei die Behandlungsparameter an die unterschiedlichen Zustände der gehonten Oberfläche vor der Behandlung angepasst werden können. Diese Flexibilität ermöglicht die Behandlung von Motoren in verschiedenen Stadien ihres Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Wartung und Aufarbeitung.

[0063] Unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 2 zeigen diese Figuren einen Ausschnitt aus einem Zylinder, insbesondere einer Zylinderlaufbahn, oder einer Zylinderlaufbuchse, die in dem gezeigten Beispiel jeweils ein perlitisches Gefüge 1 umfassen.

[0064] In den schematischen Querschnittsansichten ist eine gehonte Oberfläche 5 dargestellt, die in Figur 1 vor der Behandlung mittels des

Beaufschlagens mit dem gepulsten Laserstrahl, und in Figur 2 nach dieser Behandlung gezeigt ist.

[0065] Der Zylinder mit der Zylinderlaufbahn oder die Zylinderlaufbuchse besteht aus oder umfasst Lamellengraphitguss, der ein perlitisches Gefüge 1 aufweist. Dieses Gefüge 1 umfasst Zementitanteile 2, Ferritanteile 3 und Graphitlamellenanteile 4. Die gehonte Oberfläche 5 umfasst Honriefen 7 und/oder Sekundärriefen.

[0066] Ein gepulster Laser wird verwendet, um die gehonte Oberfläche 5 berührungslos zu behandeln. Dieser Behandlungsprozess beinhaltet eine Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl. Wie bereits erwähnt, kann die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl auf der gehonten Oberfläche 5 Zementitanteile 2 zu einer Zementitschicht 8 umschmelzen. Dieser Umschmelzprozess kann die Oberflächeneigenschaften der gehonten Oberfläche 5 verbessern und damit die Zylinderlaufbahn oder die Zylinderlaufbuchse verbessern und eine haltbarere und effizientere Oberfläche für den Motorbetrieb schaffen.

[0067] Weiterhin kann die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laser Graphitlamellenanteile 4 auf der gehonten Oberfläche 5 freilegen. Diese Freilegung der Graphitlamellenanteile 4 kann die tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche 5 verbessern und somit die Leistung und Langlebigkeit des Motors steigern.

[0068] Die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl kann auch Ferritanteile 3 verdampfen. Dieser Verdampfungsprozess kann die gehonte Oberfläche 5 auch reinigen und unerwünschte Materialien und Verunreinigungen entfernen.

[0069] Im Falle einer neuen Zylinderlaufbahn oder Zylinderlaufbuchse, die noch nicht im Betrieb war, kann auf diese Weise eine gehonte Oberfläche 5 bereitgestellt werden, die von allen Überresten und Zusatzstoffen, die bei der Herstellung der gehonten Oberfläche 5 übriggeblieben sind, wie beispielsweise Späne oder Honöl, befreit ist. Damit kann ein

schonendes Einlaufen des Motors mit verringertem Abrieb erreicht werden und was damit zu einer Verbesserung der Lebensdauer des Motors beiträgt.

[0070] Der Laserbehandlungsprozess kann auf neue, leicht mit Verbrennungsrückständen 6 belastete und stark mit Verbrennungsrückständen 6 belastete gehonte Oberflächen 5 angewendet werden.

[0071] In einigen Aspekten können die Laserparameter angepasst werden, um unterschiedliche Oberflächenzustände zu berücksichtigen. Diese Flexibilität ermöglicht die Behandlung von Motoren in verschiedenen Stadien ihres Lebenszyklus, von der Herstellung bis zur Wartung und Aufarbeitung.

[0072] Mit anderen Worten beinhaltet die Behandlung das Umschmelzen einer perlitischen Struktur 1 zu einer geschlossenen Zementitschicht 8. Die Bildung dieser Zementitschicht 8 kann die Oberflächeneigenschaften der Zylinderlaufbuchse verbessern und somit die Leistung und Langlebigkeit des Motors steigern.

[0073] Die Behandlung durch die Beaufschlagung mit dem Laserstrahl kann einen erheblichen Einfluss auf die Oberflächenstruktur der gehonten Oberfläche 5 haben. Zum Beispiel können die Honriefen 7 und/oder Sekundärriefen auf der Oberfläche 5 der Zylinderlaufbahn durch Verbrennungsrückstände 6 oder Schmutz verstopft sein. Diese Verbrennungsrückstände können beispielsweise Ölkohle in einem Flüssigkraftstoffmotor, der beispielsweise mit Diesel, Leichtöl oder Schweröl betrieben wird, oder eine Verlackung in einem Gasmotor, der beispielsweise mit Erdgas betrieben wird, umfassen. Die Beaufschlagung mit dem Laserstrahl während der Behandlung kann diese Riefen durch Verdampfung der Verbrennungsrückstände 6 wieder freilegen.

[0074] Damit kann dieser Reinigungsprozess die Funktionalität der Riefen wiederherstellen und es ihnen damit zu ermöglichen, wieder effektiv zu den tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche 5 beizutragen.

[0075] Zusätzlich oder alternativ zur Reinigung der Hohnriefen und/oder Sekundärriefen kann die Behandlung durch die Beaufschlagung mit

dem gepulsten Laserstrahl auch scharfkantige Strukturen auf der gehonten Oberfläche 5 der Zylinderlaufbahn abrunden. Zu diesen Strukturen können Kanten von Honriefen 7 und/oder hervorstehende Materialzungen und/oder Kanten von Sekundärriefen gehören. Der Abrundungsprozess wird durch Aufschmelzen dieser Strukturen während der Beaufschlagung mit dem Laserstrahl erreicht. Dies kann zu einer glatteren Oberflächenstruktur mit reduzierten scharfen Kanten und Vorsprüngen im Vergleich zur Oberflächenstruktur vor der Behandlung mit dem gepulsten Laserstrahl führen.

[0076] Dieser Abrundungsprozess kann die tribologischen Eigenschaften der Oberfläche verbessern und Reibung und Verschleiß während des Motorbetriebs reduzieren, so dass auf diese Weise ebenfalls die Langlebigkeit des Motors wiederhergestellt wird.

[0077] Im Falle einer neuen Zylinderlaufbahn oder Zylinderlaufbuchse, die noch nicht im Betrieb war, kann auf diese Weise eine gehonte Oberfläche 5 bereitgestellt werden, die ein schonendes Einlaufen des Motors mit verringertem Abrieb ermöglicht und damit zu einer Verbesserung der Lebensdauer des Motors beiträgt.

[0078] Die Behandlung mit dem gepulsten Laserstrahl kann auch Material auf der gehonten Oberfläche 5 umverteilen. Dies wird durch teilweises Schmelzen des Materials auf der gehonten Oberfläche 5 während der Beaufschlagung mit dem Laserstrahl erreicht. Das geschmolzene Material wird dann auf der gehonten Oberfläche 5 umverteilt, um Lücken zu füllen und Unregelmäßigkeiten zu glätten. Dies kann zu einer gleichmäßigeren Oberflächenstruktur mit reduzierter Rauheit im Vergleich zur Oberflächenstruktur vor der Laserbehandlung führen.

[0079] Der gepulste Laserstrahl, mit dem die gehonter Oberfläche 5 beaufschlagt wird, kann eine mittlere Laserleistung von 90-300W, eine Wellenlänge von 1060-1070nm, eine Pulsfrequenz von 135-165kHz und eine Pulsbreite von 18-22ns aufweisen.

[0080] Abhängig von der Belastung der gehonten Oberfläche 5 mit Verbrennungsrückständen 6 kann die Laserleistung angepasst werden. Dabei kann bei einer neuen, nicht mit Verbrennungsrückständen 6 belasteten gehonten Oberfläche 5 die mittlere Laserleistung auf 90-110W angepasst werden. Bei einer leicht mit Verbrennungsrückständen 6 belasteten gehonten Oberfläche 5 kann die mittlere Laserleistung auf 125-155W angepasst werden. Bei einer stark mit Verbrennungsrückständen 6 belasteten gehonten Oberfläche 5 kann die mittlere Laserleistung auf 180-220W angepasst werden.

[0081] Die Einzelpulse des gepulsten Laserstrahls können eine Einzelpulsenergie von bis zu 1.8mJ, bevorzugt 0,2-2,5μJ aufweisen.

[0082] Diese Einstellungen sind darauf ausgelegt, die Zylinderlaufbahnen oder Zylinderlaufbuchsen effektiv zu behandeln, ohne unnötige Schäden oder Verschleiß zu verursachen.

[0083] Um ein vollständiges Behandeln der gehonten Oberfläche 5 zu ermöglichen, kann der gepulste Laserstrahl mittels einer optischen Anordnung so auf die gehonte Oberfläche 5 aufgebracht werden, dass die gehonte Oberfläche 5 mit einem Bearbeitungsfleck mit einer Länge von 28-32nm und einer Breite von 1.9-2.1nm beaufschlagt wird.

[0084] Dabei kann der gepulste Laserstrahl mit einer Scangeschwindigkeit von 7200-8800mm/s über die gehonte Oberfläche 5 geführt wird, um diese mit dem gepulsten Laserstrahl zu beaufschlagen.

[0085] Die Beaufschlagung der gehonten Oberfläche 5 mit dem Laserstrahl kann durchgeführt oder wiederholt werden, bis die Zementitschicht 8 auf der gehonten Oberfläche 5 als weitgehend geschlossene Oberfläche mit einer homogenen Oberflächenstruktur gebildet ist. Bevorzugt wird diese Zementitschicht 8 auf der kompletten gehonten Oberfläche 5 erreicht.

[0086] Diese Wiederholung der Beaufschlagung mit dem Laserstrahl kann sicherstellen, dass die gesamte gehonte Oberfläche 5 gleichmäßig behandelt wird, was zu einer konsistenten und einheitlichen Zementitschicht 8 über die gesamte Oberfläche führt.

[0087] Die mittels der Beaufschlagung der gehonten Oberfläche 5 mit dem gepulsten Laserstrahl erreichte Ausbildung der Zementitschicht kann zu einer Zementitschicht 8 in einer Dicke von 2nm bis zu 1 µm, bevorzugt 3-10nm, führen.

[0088] Dies kann die Gesamtleistung und Langlebigkeit des Motors verbessern, indem eine konsistente und dauerhafte Oberfläche für den Motorbetrieb bereitgestellt wird.

[0089] Unter Bezugnahme auf die Figuren 3 und 4 zeigen diese schematischen Abbildungen Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von gehonten Oberflächen in verschiedenen Behandlungsstadien.

[0090] Figur 3 zeigt eine Querschnittsansicht einer unbehandelten gehonten Oberfläche. Das perlitische Gefüge 1 ist als Grundmaterial sichtbar. Eine Schicht von Verbrennungsrückständen 6 ist auf der gehonten Oberfläche vorhanden und erscheint als dunkles Band am oberen Bildrand. Der Maßstabsbalken zeigt, dass die Schicht der Verbrennungsrückstände eine Dicke von einigen wenigen µm umfasst.

[0091] Figur 4 hingegen zeigt eine Querschnittsansicht einer gehonten Oberfläche nach der Laserbehandlung. Das perlitische Gefüge 1 bleibt als Grundmaterial sichtbar.

[0092] Eine Graphitlamelle 4 ist zu sehen, die sich vom Grundmaterial zur Oberfläche erstreckt. Diese Freilegung erzeugt ein Netzwerk von exponierten Graphitlamellen, das die Ölrückhaltungseigenschaften der Oberfläche verbessert. Dies kann die Leistung und Langlebigkeit des Motors verbessern, indem Reibung und Verschleiß während des Betriebs reduziert werden.

[0093] Die Laserbehandlung hat auch zur Bildung einer Zementitschicht 8 geführt, die als helles Band entlang der oberen Oberfläche sichtbar ist. Diese Zementitschicht 8 erscheint gleichmäßiger und kontinuierlicher im Vergleich zur Schicht der Verbrennungsrückstände 6 in Figur 3. Der

Maßstabsbalken zeigt, dass die Dicke der Zementitschicht 8 deutlich unterhalb eines μm liegt.

[0094] Der Vergleich zwischen Figur 3 und 4 zeigt die Auswirkungen der Laserbehandlung auf die gehonte Oberfläche, einschließlich der Entfernung von Verbrennungsrückständen und der Bildung der Zementitschicht 8. Die Zementitschicht 8 hat in einigen Aspekten eine Dicke von 2nm bis zu 1 μm , bevorzugt von 3-10nm. Diese Schicht bietet eine dauerhafte und effiziente Oberfläche für den Motorbetrieb.

[0095] In einigen Aspekten unterscheidet sich eine mit dem Laserverfahren behandelte Zylinderlaufbuchse sichtbar von einer unbehandelten Zylinderlaufbuchse. Dieser Unterschied kann unter einem Rasterelektronenmikroskop beobachtet werden, wie in den Figuren 3 und 4 gezeigt. Die behandelte Zylinderlaufbuchse weist eine gleichmäßigere und kontinuierlichere Zementitschicht 8, reduzierte Verbrennungsrückstände und freigelegte Graphitlamellen auf. Diese Veränderungen in der Oberflächenstruktur und -zusammensetzung, die aus dem Laserbehandlungsverfahren resultieren, können zu einer verbesserten Motorleistung und Langlebigkeit führen.

[0096] In einigen Aspekten ist der für das Behandlungsverfahren verwendete Laser zur Bereitstellung des Laserstrahls ein Puls laser. Der Puls laser kann eine Wellenlänge von 1.060 bis 1.070 nm, eine Pulsbreite von 10 bis 500 ns, eine Pulsfrequenz von 1 bis 4.000 kHz und eine maximale Einzelpulsenergie von bis zu 1,8 mJ haben.

[0097] In einigen Fällen handelt es sich speziell um einen Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1064 nm. Diese Art von Laser ist für seine hohe Leistung und Präzision bekannt, was ihn für die Behandlung von Zylinderlaufbuchsen geeignet macht.

[0098] In einigen Aspekten wird das Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen im eingebauten Zustand eines Motors durchgeführt. Diese Eigenschaft ermöglicht es, den Behandlungsprozess durchzuführen, ohne dass eine umfangreiche Demontage

des Motors erforderlich ist, wodurch Ausfallzeiten und Arbeitskosten reduziert werden. In einigen Fällen sind die in dem Verfahren verwendete Laservorrichtung oder deren Austrittsoptik auf einem Linearantrieb montiert. Diese Anordnung kann die Bewegung der Laservorrichtung oder ihrer Austrittsoptik entlang der Länge der Zylinderlaufbahn erleichtern und eine gleichmäßige Behandlung der gesamten Oberfläche gewährleisten.

[0099] In einigen Ausführungsformen wird das Verfahren unter einer Reihe von Umgebungsbedingungen durchgeführt. Zum Beispiel kann das Verfahren bei einer Luftfeuchtigkeit von 10 bis 95% und einer zulässigen Raumtemperatur von 0 bis 40°C durchgeführt werden. Diese Flexibilität in den Umgebungsbedingungen ermöglicht es, das Verfahren in einer Vielzahl von Umgebungen zu implementieren, von kontrollierten Innenräumen bis hin zu Außenstandorten mit unterschiedlichen Wetterbedingungen.

[00100] In einigen Fällen führt das Verfahren zur Koagulation der inneren Rauheit der Zylinderlaufbuchse. Dieser Koagulationsprozess beinhaltet das teilweise Schmelzen und Umverteilen von Material auf der Oberfläche der Zylinderlaufbahn während der Laserstrahlbeaufschlagung. Dies kann zu einer gleichmäßigeren Oberflächenstruktur mit reduzierter Rauheit im Vergleich zur Oberflächenstruktur vor der Laserbehandlung führen. Dies kann die tribologischen Eigenschaften der Oberfläche verbessern und Reibung und Verschleiß während des Motorbetriebs reduzieren.

[00101] In einigen Aspekten wird das Verfahren von Hand durchgeführt. Diese Eigenschaft ermöglicht es, den Behandlungsprozess ohne den Bedarf an komplexen Maschinen oder automatisierten Systemen durchzuführen. Dies kann das Verfahren zugänglicher und kostengünstiger machen, insbesondere für kleinere Betriebe oder in Situationen, in denen der Zugang zu fortschrittlichen Geräten begrenzt ist. Obwohl es von Hand durchgeführt wird, kann das Verfahren dennoch eine effektive und gleichmäßige Behandlung der gehonten Oberfläche erreichen, dank der Präzision und Kontrolle, die das Lasergerät bietet.

[00102] In einigen Aspekten können die Ergebnisse des Laserbehandlungsprozesses auf der gehonten Oberfläche mit verschiedenen Methoden inspiziert und verifiziert werden. Eine solche Methode beinhaltet die visuelle Inspektion basierend auf klar erkennbaren Veränderungen in der Oberflächentextur der gehonten Oberfläche. Nach dem Laserbehandlungsprozess kann die Oberfläche der Zylinderlaufbahn eine gleichmäßigere und kontinuierlichere Zementitschicht 8, reduzierte Verbrennungsrückstände und freigelegte Graphitlamellen aufweisen. Diese Veränderungen in der Oberflächenstruktur und -zusammensetzung können visuell beobachtet werden und bieten eine einfache und zugängliche Möglichkeit, die Ergebnisse des Laserbehandlungsprozesses zu verifizieren.

[00103] In einigen Fällen können automatisierte Techniken verwendet werden, um die Ergebnisse des Laserbehandlungsprozesses zu inspizieren und zu verifizieren. Zum Beispiel kann eine automatisierte magnetwelleninduzierte Oberflächeninspektion, auch bekannt als Tom's Check-Methode, eingesetzt werden. Diese Methode beinhaltet die Verwendung von Magnetwellen zur Inspektion der Oberfläche der Zylinderlaufbahn. Die Magnetwellen können Veränderungen in der Oberflächenstruktur und -zusammensetzung erkennen und bieten eine detaillierte und genaue Bewertung der Ergebnisse des Laserbehandlungsprozesses. Diese automatisierte Inspektionsmethode kann besonders nützlich sein in Situationen, in denen ein hohes Maß an Präzision und Genauigkeit erforderlich ist, oder wo menschliche Faktoren wie Ermüdung oder wechselnde Tagesform die Zuverlässigkeit der visuellen Inspektion beeinträchtigen können.

[00104] In einigen Aspekten können die Inspektions- und Verifizierungsmethoden kombiniert werden, um eine umfassende Bewertung der Ergebnisse des Laserbehandlungsprozesses zu liefern. Zum Beispiel kann die visuelle Inspektion für eine vorläufige Bewertung der Oberflächenveränderungen verwendet werden, gefolgt von einer automatisierten magnetwelleninduzierten Oberflächeninspektion für eine detailliertere und genauere Auswertung. Diese

Kombination von Methoden kann sicherstellen, dass der Laserbehandlungsprozess die gehonte Oberfläche effektiv behandelt hat, ihre tribologischen Eigenschaften verbessert und die Motorleistung und Langlebigkeit erhöht.

[00105] In einigen Aspekten kann die Qualität der laserbehandelten gehonten Oberfläche durch verschiedene Methoden bestimmt werden. Eine solche Methode kann den Einsatz von Profilometrietechniken zur Messung von Oberflächenrauheitsparametern beinhalten. Zum Beispiel kann ein Tastschnittgerät oder optisches Profilometer verwendet werden, um die arithmetische mittlere Rauheit (Ra), die quadratische mittlere Rauheit (Rq) und die maximale Spitzen-Tal-Höhe (Rz) der behandelten Oberfläche zu messen. Diese Messungen können quantitative Daten über die Glätte und Gleichmäßigkeit der Oberfläche nach der Laserbehandlung liefern.

[00106] In einigen Fällen kann die Oberflächenstruktur der laserbehandelten Zylinderlaufbahn experimentell mit fortschrittlichen Mikroskopietechniken bestimmt werden. Rasterelektronenmikroskopie (REM) kann eingesetzt werden, um die Oberflächentopographie bei hoher Vergrößerung zu visualisieren und Details der Zementitschicht 8, freiliegender Graphitlamellen 4 und verbleibender Honriefen 7 zu zeigen. Zusätzlich kann Rasterkraftmikroskopie (AFM) verwendet werden, um dreidimensionale Karten der Oberfläche zu erstellen und eine nanometerskalige Auflösung der Oberflächenmerkmale zu liefern.

[00107] In einigen Aspekten kann eine Röntgenbeugungsanalyse (XRD) durchgeführt werden, um die Kristallstruktur der laserbehandelten Oberfläche zu bestimmen. Diese Technik kann die Anwesenheit und relative Häufigkeit von Zementit in der neu gebildeten Schicht 8 bestätigen sowie Veränderungen in dem darunterliegenden perlitischen Gefüge 1 erkennen.

[00108] Verschiedene Messungen können an der laserbehandelten gehonten Oberfläche vorgenommen werden, um ihre Qualität und Eigenschaften zu beurteilen. In einigen Fällen kann die Dicke der Zementitschicht 8 mittels

Querschnitts-REM oder Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) gemessen werden. Die Dicke dieser Schicht kann je nach den spezifischen verwendeten Laserbehandlungsparametern von einigen Nanometern bis zu 1 µm reichen.

[00109] In einigen Aspekten umfasst das Verfahren die Anpassung der Behandlungsparameter und Laserparameter in Abhängigkeit vom Zustand der Oberfläche der Zylinderlaufbuchse. Bei neuen Zylinderlaufbuchsen muss die Behandlung möglicherweise keine Reinigung der Oberfläche von Ölkohle oder Gasverlackung beinhalten, da diese Verunreinigungen typischerweise auf unbenutzten Laufbuchsen nicht vorhanden sind. Die Behandlung kann jedoch immer noch die Reinigung von Honrückständen wie Honöl umfassen. In diesem Fall können die Laserparameter angepasst werden, um sich primär auf das Freilegen von Graphitlamellenanteilen und die Bildung der Zementitschicht zu konzentrieren, anstatt auf die Entfernung von Verbrennungsrückständen.

[00110] Bei leicht gebrauchten Zylinderlaufbuchsen kann das Verfahren einen milden Reinigungsprozess zur Entfernung leichter Ablagerungen von Ölkohle oder Gasverlackung beinhalten. Die Laserparameter können angepasst werden, um ausreichend Energie für die Reinigung bereitzustellen, während der Fokus weiterhin auf dem Oberflächenumstrukturierungsprozess liegt. In einigen Fällen kann die Laserleistung im Vergleich zu den für neue Laufbuchsen verwendeten Parametern um 5-10% erhöht werden, und die Pulsfrequenz kann angepasst werden, um den Reinigungseffekt zu optimieren.

[00111] Bei stark gebrauchten Zylinderlaufbuchsen mit erheblichen Ablagerungen von Ölkohle oder Gasverlackung kann das Verfahren einen intensiveren Reinigungsprozess beinhalten. Die Laserparameter können angepasst werden, um höhere Energie für die effektive Entfernung dieser Ablagerungen bereitzustellen. In einigen Aspekten kann die Laserleistung im Vergleich zu den für neue Laufbuchsen verwendeten Parametern um 15-25% erhöht werden, und die Pulsbreite kann verlängert werden, um eine gründlichere Verdampfung von Verunreinigungen zu ermöglichen. Die Scangeschwindigkeit

kann auch reduziert werden, um eine ausreichende Expositionszeit für die Reinigung und Oberflächenumstrukturierung zu gewährleisten.

[00112] In einigen Fällen kann das Verfahren eine Vorbehandlungsbewertung der gehonten Oberfläche beinhalten, um ihren Zustand und das Vorhandensein von Verunreinigungen zu bestimmen. Diese Bewertung kann eine visuelle Inspektion, Profilometriemessungen oder spektroskopische Analysen zur Charakterisierung der Oberflächenzusammensetzung umfassen. Basierend auf dieser Bewertung können die Laserparameter und der Behandlungsprozess auf den spezifischen Zustand jeder Zylinderlaufbuchse zugeschnitten werden, um optimale Ergebnisse unabhängig von ihrer Nutzungshistorie zu gewährleisten.

[00113] Das hier beschriebene Verfahren und die Vorrichtung zur Laserbehandlung von Zylinderlaufbahnen und Zylinderlaufbuchsen haben weitreichende industrielle Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere in der Automobil-, Schifffahrts- und Schwermaschinenbauindustrie. Diese Technologie ist für die industrielle Anwendung in der Motorenherstellung, Wartung und Aufarbeitung geeignet. Sie kann sowohl in Produktionslinien für neue Motoren als auch in Reparatur- und Überholungseinrichtungen für gebrauchte Motoren implementiert werden. Die Vielseitigkeit des Verfahrens ermöglicht seine Anwendung auf verschiedene Arten und Größen von Motoren, von kleinen Automotoren bis hin zu großen Schiffsdieselmotoren. Während sich die angeführten Beispiele auf Verbrennungsmotoren konzentrieren, können die Prinzipien und Techniken dieser Erfindung für den Einsatz in anderen Branchen angepasst werden, in denen eine präzise Oberflächenbehandlung zylindrischer Bohrungen erforderlich ist, wie z.B. in hydraulischen Systemen, pneumatischen Zylindern oder sogar in der Luft- und Raumfahrtindustrie zur Behandlung von Motorkomponenten. Die Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit dieses Laserbehandlungsverfahrens machen es zu einem wertvollen Werkzeug zur Verbesserung der Leistung, Effizienz und Langlebigkeit einer breiten Palette von Industriemaschinen und -ausrüstungen.

[00114] Soweit anwendbar, können alle in den Ausführungsformen dargestellten Einzelmerkmale miteinander kombiniert und/oder gegeneinander ausgetauscht werden, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

- 1 perlitisches Gefüge
- 2 Zementitanteil
- 3 Ferritanteil
- 4 Graphitlamelle
- 5 gehobte Oberfläche
- 6 Verbrennungsrückstand
- 7 Honrille
- 8 Zementitschicht

Ansprüche

1. Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:
 - berührungsloses Beaufschlagen einer gehonten Oberfläche (5) der Zylinderlaufbahn oder der Zylinderlaufbuchse mit einem gepulsten Laserstrahl, wobei die gehonte Oberfläche (5) Honriefen (7) und/oder Sekundärriefen aufweist, wobei
 - die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl so eingerichtet ist, dass Zementitanteile (2) auf der gehonten Oberfläche (5) zu einer Zementitschicht (8) umgeschmolzen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Zylinderlaufbahn des Zylinders oder die Zylinderlaufbuchse Lamellengraphitguss mit einem perlitischen Gefüge (1) umfassen oder daraus bestehen und Zementitanteile (2), Ferritanteile (3) und Graphitlamellenanteile (4) umfassen, wobei die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl weiterhin so eingerichtet ist, dass Graphitlamellenanteile (4) auf der gehonten Oberfläche (5) freigelegt werden und Ferritanteile (3) verdampft werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zum Aufbereiten von durch Verbrennungsrückstände (6) zugesetzten Honriefen (7) und/oder Sekundärriefen, insbesondere durch Verbrennungsrückstände (6) in Form von Ölkohle in einem Flüssigkraftstoffmotor oder Verlackung in einem Gasmotor, der gepulste Laserstrahl dazu eingerichtet ist, die Verbrennungsrückstände (6) in den Honriefen (7) und/oder den Sekundärriefen der gehonten Oberfläche (5) durch Verdampfung zu entfernen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl wiederholt wird, bis die Zementitschicht (8) auf der gehonten Oberfläche (5) als weitgehend geschlossene oder vollständig geschlossene Oberfläche, bevorzugt mit einer homogenen Oberflächenstruktur, gebildet ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Zementitschicht (8) in einer Dicke von 2nm bis zu 1µm, bevorzugt in einer Dicke von 3-10nm, ausgebildet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der gepulste Laserstrahl so eingerichtet ist, dass er scharfkantige Strukturen und/oder Kanten von Honriefen (7) und/oder hervorstehende Materialzungen und/oder Kanten von Sekundärriefen durch Schmelzen während des Beaufschlagens mit dem gepulsten Laserstrahl abrundet, insbesondere um die tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche (5) zu verbessern.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der gepulste Laserstrahl so eingerichtet ist, dass er Material auf der gehonten Oberfläche (5) schmilzt und/oder umverteilt, um eine gleichmäßigere Oberflächenstruktur mit reduzierten scharfen Kanten und Vorsprüngen im Vergleich zur Oberflächenstruktur vor der Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl zu erreichen.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der gepulste Laserstrahl eine mittlere Laserleistung von 90-300W, eine Wellenlänge von 1060-1070nm, eine Pulsfrequenz von 135-165kHz und eine Pulsbreite von 18-22ns aufweist.

9. Verfahren zur Behandlung von Zylinderlaufbahnen von Zylindern oder Zylinderlaufbuchsen, die eine gehonte Oberfläche (5) mit Honriefen (7) und/oder Sekundärriefen aufweist, wobei die gehonte Oberfläche (5) mit einem gepulsten Laserstrahl beaufschlagt wird, wobei der gepulste Laserstrahl eine mittlere Laserleistung von 90-300W, eine Wellenlänge von 1060-1070nm, eine Pulsfrequenz von 135-165kHz und eine Pulsbreite von 18-22ns aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei die mittlere Laserleistung abhängig von der Belastung der gehonten Oberfläche (5) mit Verbrennungsrückständen (6) angepasst wird und bevorzugt bei einer neuen, nicht mit Verbrennungsrückständen (6) belasteten gehonten Oberfläche (5) die mittlere Laserleistung auf 90-110W, bei einer leicht mit Verbrennungsrückständen (6) belasteten gehonten Oberfläche (5) die mittlere Laserleistung auf 125-155W, und bei einer stark mit Verbrennungsrückständen (6) belasteten gehonten Oberfläche (5) die mittlere Laserleistung auf 180-220W angepasst wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Beaufschlagung mit dem gepulsten Laserstrahl so eingerichtet ist, dass Graphitlamellenanteile (4) auf der gehonten Oberfläche (5) freigelegt werden, Ferritanteile (3) verdampft werden und verbleibende Zementitanteile (2) zu einer Zementitschicht (8) umgeschmolzen werden, wobei die Zylinderlaufbahn des Zylinders oder die Zylinderlaufbuchse Lamellengraphitguss mit einem perlitischen Gefüge (1) umfasst oder daraus besteht und Zementitanteile (2), Ferritanteile (3) und Graphitlamellenanteile (4) umfasst.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der gepulste Laserstrahl mittels einer optischen Anordnung so auf die gehonte Oberfläche (5) aufgebracht wird, dass die gehonte Oberfläche (5) mit einem

Bearbeitungsfleck mit einer Länge von 28-32nm und einer Breite von 1.9-2.1nm beaufschlagt wird.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der gepulste Laserstrahl mit einer Scangeschwindigkeit von 7200-8800mm/s über die gehonte Oberfläche (5) geführt wird, um diese mit dem Laserstrahl zu beaufschlagen.

14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Einzelpulse des gepulsten Laserstrahls eine Einzelpulsenergie von bis zu 1.8mJ, bevorzugt 0,2-2,5µJ, aufweisen.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren im eingebauten Zustand eines Motors durchgeführt wird.

16. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse eines Hubkolbenmotors, die eine gehonte Oberfläche (5) mit Honriefen (7) und/oder Sekundärriefen aufweist, wobei die gehonte Oberfläche (5) eine Zementitschicht (8) mit einer Dicke von 2nm bis zu 1µm, bevorzugt mit einer Dicke von 3-10nm, aufweist.

17. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse nach Anspruch 16, wobei die Zementitschicht (8) geschlossen ist oder weitgehend geschlossen ist und bevorzugt eine homogene Oberflächenstruktur ausbildet, wobei sich die Zementitschicht (8) besonders bevorzugt über die gesamte gehonte Oberfläche (5) erstreckt.

18. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Zylinderlaufbahn des Zylinders oder die Zylinderlaufbuchse ein perlitisches Gefüge (1) mit Zementitanteilen (2), Ferritanteilen (3) und Graphitlamellenanteilen (4) umfasst, und Graphitlamellenanteile (4) auf der

gehonten Oberfläche (5) freigelegt sind und Ferritanteile (3) entfernt sind, bevorzugt verdampft sind.

19. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei scharfkantige Strukturen und/oder Kanten von Honriefen (7) und/oder hervorstehende Materialzungen und/oder Kanten von Sekundärriefen durch Schmelzen abgerundet sind.

20. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei Graphitlamellenanteile (4) auf der gehonten Oberfläche (5) freigelegt sind und ein Netzwerk von freigelegten Graphitlamellen erzeugt ist, das die tribologischen Eigenschaften der gehonten Oberfläche (5) verbessert.

21. Zylinder oder Zylinderlaufbuchse eines Hubkolbenmotors, die eine gehonte Oberfläche (5) mit Honriefen (7) und/oder Sekundärriefen aufweist, wobei die gehonte Oberfläche (5) mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 behandelt ist.