(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 041 173 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2000 Patentblatt 2000/40

(21) Anmeldenummer: **00105126.7**

(22) Anmeldetag: **10.03.2000**

(51) Int. Cl.[7]: **C23C 26/02**, C23C 24/10, C23C 4/06, C23C 4/04, F02F 7/00, F02F 3/00

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **01.04.1999 DE 19915038**

(71) Anmelder: **VAW Aluminium AG**
53117 Bonn (DE)

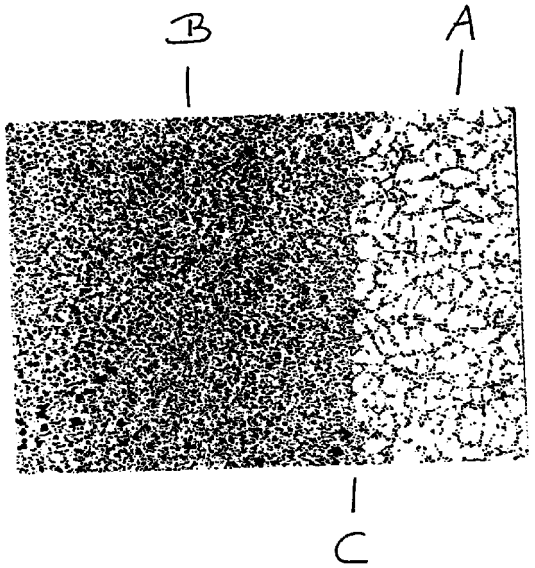
(72) Erfinder:
Feikus, Franz Josef Dr.
53123 Bonn (DE)

(74) Vertreter:
Müller-Wolff, Thomas, Dipl.-Ing. et al
HARWARDT NEUMANN
Patent- und Rechtsanwälte,
Brandstrasse 10
53721 Siegburg (DE)

(54) Leichtmetallzylinderblock, Verfahren zu seiner Herstellung und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

(57) Ein Leichtmetallzylinderblock mit mindestens einer verschleißfesten und tribologisch optimierten Zylinderlauffläche besteht aus einer Leichtmetallmatrixlegierung mit einer feindispersen, Primär-Silizium-Ausscheidungen enthaltenden Oberflächenschicht. Dies wird aus rundlichen Körnern mit Korndurchmessern zwischen 1 und 10 µm gebildet. Die Oberflächenschicht enthält 10 bis 14 % AlSi-Eutektikum, 5 bis 20 % Primärsilizium, Rest reine Al-Phase. Bei der Herstellung eines Leichtmetallzylinderblocks wird ein Laserstrahl in einer Streifenbreite quer zur Vorschubrichtung von mindestens 2 mm über die Leichtmetallmatrixoberfläche geführt und hartstoffhaltiges Pulver im Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die Leichtmetallmatrixoberfläche auf Schmelztemperatur aufgeheizt und eindiffundiert. Eine Vorrichtung zur Laufflächenbeschichtung von Hohlzylindern besteht aus Pulverzuführung, Laserstrahleinrichtung und Fokussiersystem mit Umlenkspiegel. Pulverzuführung und Laserstrahleinrichtung sind parallel zueinander in radialer und axialer Richtung des Hohlzylinders geführt. Das Fokussiersystem weist einen linienförmigen Strahlaustritt auf. Die Pulverzuführung ist mit einer Dosiereinrichtung versehen, über die der Volumenstrom des Pulvers in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahls einstellbar ist.

Fig. 4



EP 1 041 173 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Leichtmetallzylinderblock mit mindestens einer verschleißfesten und tribologisch optimierten Zylinderlauffläche, umfassend eine Leichtmetallmatrixlegierung und ein hartmetallhaltiges Pulvermaterial, das als feindisperser, Primär-Silizium-Ausscheidungen enthaltene Oberflächenschicht auf der Leichtmetallmatrix vorliegt.

[0002] Nach EP 0 837 152 A1 (Bayerische Motoren Werke AG) ist ein Verfahren zum Beschichten eines aus einer Aluminiumlegierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine bekannt. Dabei wird ein Laserstrahl so gelenkt, daß er nicht direkt auf die Oberfläche des zu beschichtenden Bauteils gelangt, sondern zuvor auf einen Pulverstrahl trifft. Durch die Energie des Laserstrahls wird das Pulver vollständig vom festen in die flüssige Phase überführt, so daß es beim Auftreffen auf die Bauteiloberfläche in Form feiner Tröpfchen als Schichtmaterial darauf abgeschieden wird, die aufgrund der Erstarrungsbedingungen teilweise amorph erstarren.

[0003] Bei dem bekannten Verfahren erfolgt daher kein Einlegieren des Pulvers in die Oberflächenschicht des Bauteils, sondern es wird eine Phasenumwandlung des Beschichtungsmaterials auf dem Weg zur Oberfläche durchgeführt, wobei das Aluminium-Siliziumpulver im Laserstrahl verflüssigt wird. Beim Erstarren auf der Oberfläche soll fein disperses Silizium, sogenanntes Primärsilizium, freigesetzt werden.

[0004] Je nach Abkühlgeschwindigkeit sollen hierbei Siliziumkristalle in der Größenordnung von 1 bis 5 µm erzeugt werden. Die dazu erforderliche schnelle Abkühlung kann aber in der Praxis nicht erreicht werden, da die Energie des Laserstrahls auf das zu beschichtende Bauteil einwirkt. Die Substratoberfläche wird somit sehr heiß und kann daher die Wärme der auftreffenden Si-Schmelze nicht schnell genug abführen, so daß keine kristalline Phase und keine Primärkristalle sondern amorphe Phasen entstehen.

[0005] Gemäß dem Ausführungsbeispiel des BMW-Patents werden bei einer auf getragenen Schichtdicke von 3 mm zur Erzielung einer glatten, ebenen Oberfläche des Schichtmaterials etwa 50 % abgetragen (Spalte 6, Zeilen 10 bis 15). Dies bedeutet einen hohen Abtragsverlust, zu dem noch eine ungenutzte Randzone durch eine hohe Welligkeit des tröpfchenförmig auf getragenen Materials als nachteilig hinzugerechnet werden muß.

[0006] Aus der EP-A-0 221 276 ist es ferner bekannt, eine Aluminiumlegierung durch Umschmelzen ihrer Randschichten mit Laserenergie verschleißbeständiger auszubilden. Dabei wird auf die Oberfläche eine Schicht aus einem Binder, pulverförmigen Silizium, Kupfer und Titancarbid aufgebracht und anschließend mit dem Laser in die Oberfläche eingeschmolzen. Die Zugaben an TIC betragen in den Ausführungsbeispielen zwischen 5 bis 30 % und bewirken eine beträchtliche Zunahme in der Oberflächenhärte.

[0007] Unter tribologischen Aspekten ist jedoch durch die extrem hohe Abkühlgeschwindigkeit beim Laserumschmelzen zwar eine hohe Kornfeinheit, jedoch keine ausreichende Ausbildung des Primärsiliziums bei diesem Verfahren erreichbar. Daher ist das Laserumschmelzen für die Herstellung von Zylinderlaufflächen von Hubkolbenmaschinen aus AlSi-Legierungen mit tragenden Plateaus aus Primärsilizium und zurückgesetzten, Schmierstoffen enthaltenden Bereichen ungeeignet.

[0008] In der EP 0 411 322 A1 wird ein Verfahren zum Herstellung verschleißfester Oberflächen an Bauteilen aus einer AlSi-Legierung beschrieben, das von der zuvor erwähnten EP 0 221 276 ausgeht, wobei jedoch der Schicht vor dem Lasereinschmelzen ein Impfmittel (Keimbildner) für primäre Siliziumkristalle zugegeben wird. Als Impfmittel bzw. Keimbildner werden folgende Substanzen genannt: Siliziumnitrid, Siliziumcarbid, Titancarbid, Titannitrid, Borcarbid und Titanborid.

[0009] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Beschichtung in Form der Siebdrucktechnik als Abziehfolie hergestellt und auf die Oberfläche des betreffenden Bauteiles aufgebracht. Die Dicke der Schicht kann vorzugsweise 200 µm und die Einschmelztiefe 400 bis 600 µm betragen. Es wird ein linienförmig fokussierter Laserstrahl in inerter Atmosphäre verwendet, um das Einschmelzen mit einer Einschmelztiefe von 400 µm zu verwirklichen. Der Siliziumanteil in der legierten Zone betrug im Beispiel 25 % bei einem Nickelanteil von 8 % (Härte über 250 HV).

[0010] Wie schon zuvor beschrieben ist es bei den letztgenannten Verfahren des Umschmelzens bzw. Einschmelzens erforderlich, eine Kühlung während des Auftragens einer Schicht auf die Matrixlegierung durchzuführen, um die gewünschten feindispersen Ausscheidungen des Primärsiliziums zu erreichen. Wegen der zugesetzten Impfmittel können Reaktionen mit der Aluminiumoberfläche erfolgen. Außerdem sind die Beschichtungsmaßnahmen bei gekrümmten Oberflächen nicht immer anwendbar.

[0011] Aus der EP 0 622 476 A1 ist ein Metallsubstrat mit laserinduzierter MMC-Beschichtung bekannt. Die MMC-Schicht weist eine Schichtdicke zwischen 200 µm und 3 mm auf und enthält homogen verteilte SIC-Partikel, wobei bevorzugt bis zu 40 Gewichtsprozent SiC als homogen verteilte SIC-Partikel in der MMC-Schicht enthalten sind. Zur Herstellung wird das Pulvergemisch, enthalten. SiC-Pulver und vorlegiertes AlSi-Pulver in einem Laserstrahl erhitzt, wobei der für die Herstellung einer homogenen Legierung aus dem Pulvergemisch erforderliche Wärmegehalt durch das auf die Substrat auftreffende Pulver herbeigeführt wird. Produkte mit Hartmetallstoffen wie SiC weisen eine sehr hohe Härte auf, die für das Verschleißverhalten der Kolbenringe ungünstig sind. Außerdem ist die Bearbeitung sehr aufwendig, da die oberste Schicht der Kera-

mikpartikel abgetragen werden muß, um eine funktionsfähige, splitterfreie Lauffläche zu erreichen.

[0012] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Leichtmetallzylinderblock mit mindestens einer verschleißfesten tribologisch beanspruchbaren Lauffläche zu entwickeln, bei der die Oberflächenschicht aus 5 bis 20 % feindispersem Primärsilizium besteht, das im Übergang zur Matrixlegierung eine geringe Randzonenbreite aufweist und das in der Übergangszone frei von Fehlstellen und Oxideinschlüssen ist. Das zur Herstellung des Leichtmetallzylinderblocks eingesetzte Verfahren soll mit weniger Verfahrensschritten auskommen, wobei auf eine chemische Nachbearbeitung vollständig verzichtet werden soll.

[0013] Die Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale gelöst. Im folgenden werden mehrere Ausführungsbeispiele angegeben, wobei es sich um bevorzugte Anwendungsfälle des erfindungsgemäßen Laserlegierens handelt.

[0014] Zunächst wird eine Vorrichtung zur Innenraumbeschichtung eines Leichtmetallmotorblockes aus Aluminium oder einer Magnesiumlegierung beschrieben, wobei eine Sonde in den Zylinder eines Motorblocks eingesenkt wird und gleichzeitig reines Siliziumpulver zugeführt werden kann. Die Sonde weist eine Pulverzuführung und eine Laserstrahleinrichtung auf.

[0015] Durch einen an der Sonde angeordneten Drehantrieb werden eine Pulverausbringungsdüse und ein Energiestrahl auf den Innenraum bzw. die Lauffläche des Leichtmetallmotorblockes gelenkt.

[0016] Mit dieser Vorrichtung soll das Einlegieren von Hartstoffteilchen in Form von Silizium über einen über die Lauffläche spiralig rotierenden Laserstrahl mit parallel zugeführten Siliziumteilchen erfolgen. Damit die Laserenergie sich über eine breite Spur auf die Matrixoberfläche verteilt, hat der Laserstrahl einen linienförmigen Fokus mit einer Spurbreite von vorzugsweise 2 bis 4 mm. Im Vergleich zu einer durch punktförmigen Laser erzeugten Oberfläche bildet sich beim Fokus kein wellenförmiges Profil, sondern ein flaches Band mit feindispersen Primärsiliziumteilchen aus. Das Band wird als Auflegierungszone bezeichnet, wobei es nur eine schmale Übergangszone (der Randzone) zwischen auf legierter Zone und dem Matrixmetall aufweist (siehe Figur 1).

[0017] Da das Pulver im Zeitpunkt kurz vor dem Auftreffen auf die Metallmatrixlegierung eine Kornstruktur besitzt und erst im Kontakt mit der Metallmatrixlegierung im Bereich des Laserstrahls innerhalb einer Kontaktzeit von 0,1 bis 0,5 sec aufgeschmolzen und einlegiert wird, läßt sich bei dem linienförmigen Fokus ein geringer Randzonenanteil von ca. 10 % erreichen. Die Laserspur wird in der Zylinderbohrung spiralisch abgesenkt, wobei im Bedarfsfalle auf eine Überlappung verzichtet werden kann, so daß die Nutzanteile praktisch gegeneinanderstoßen. Somit entsteht eine glatte, vollständig homogene Oberflächenschicht, die nur noch durch eine Feinbearbeitung zur Beseitigung einer leichten Welligkeit fertig bearbeitet werden muß.

[0018] Als Beispiel für die erfindungsgemäße Bearbeitung bei der Herstellung eines Leichtmetallzylinderblocks mit mindestens einer verschleißfesten, tribologisch optimierten Zylinderlauffläche wird von folgenden Bearbeitungsschritten ausgegangen:

[0019] Zunächst wird eine Auflegierungszone enthaltend Primärsilizium mit einer mittleren Schichtdicke von 300 bis 750 µm in der Matrixlegierung erzeugt. Die exakten Werte der Schichtdicke hängen von verschiedenen Einflußgrößen, wie Verfahrensparameter, Genauigkeit der Vorrichtungspositionierung und Maßtoleranz des Gußteils ab. Es wird daher im folgenden bei allen Dickenangaben von einer "mittleren" Schichtdicke gesprochen, wobei der Toleranzbereich sehr eng gehalten werden kann, da die Vorrichtung am Bauteil zentriert werden kann.

[0020] Die Ausgangsschichtdicke von 300 bis 750 µm wird dann in einem weiteren Bearbeitungsschritt auf die gewünschte Endschichtdicke durch eine Feinbearbeitung mit einem Abtrag bis zu 150 µm, wie z.B. durch Honen etc., gebracht. Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erreichte Endschichtdicke liegt im Bereich von 150 bis 650 µm. Dabei handelt es sich uni eine reine Diffusionsschicht, die durch eine besondere in den Ansprüchen 1 und 2 definierte Gefügestruktur gekennzeichnet ist.

[0021] Mit der Steuerung der Pulverzufuhr, dem Vorschub des Laserstrahls und der zugeführten Laserenergie lassen sich die Ausscheidungsgrößen der Hartphasen einstellen. Bei Ausscheidungsgrößen kleiner 10 µm verringert sich die Zerstörungstiefe in der mechanischen Endbearbeitung der Hartphasen, so daß die bisher erforderlichen Bearbeitungszugaben für die Entfernung der zerstörten Hartphasen sich deutlich reduzieren lassen. (Die Zerstörungstiefe wird durch die in der obersten Schicht enthaltenden, nicht fest eingebundenen Hartphasen bestimmt.)

[0022] Durch das Einlegieren mit dem Laserstrahl wird die Oberfläche gehärtet, wobei Härtewerte der Oberflächenschicht von mindestens 160 HV erreicht werden. Infolge der guten Härtung lassen sich die Laseroberflächen direkt honen. Bisher erforderliche zusätzliche mechanische oder chemische Bearbeitungsschritte zur Freistellung der Hartphasen sind ebenfalls nicht mehr erforderlich. Damit ist das bisher erforderliche Ausbohren der Zylinderbeschichtungen nicht mehr erforderlich, da die Oberflächenwelligkeit je nach Überlappung der streifenförmigen Auflegierungszone vernachlässigbar da sehr gering ist.

[0023] Im folgenden wird die erfindungsgemäß erzielbare Oberflächenstruktur auf einer Motorblock-Lauffläche anhand eines Vergleichsbeispieles näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Prinzipbild einer erfindungsgemäß ausgebildeten Beschichtungseinrichtung im Teilquer-

schnitt;

Fig. 2 Prinzipbild einer erfindungsgemäß erzeugten Oberflächenschicht;

Fig. 3 Vergleichsbeispiel mit einer anderen Oberflächenstruktur;

Fig. 4 Querschnitt an einem Gußteil im Bereich der laserlegierten Zone.

[0024] Nach Figur 1 besteht die erfindungsgemäß ausgebildete Beschichtungseinrichtung aus einer Pulverzuführung 1, die an ihrem Ende 1a eine auf die Lauffläche 5 gerichtete Düse 1b aufweist.

[0025] Die Energiezufuhr erfolgt über eine Laserstrahleinrichtung 2, einem Fokussiersystem 3 und einem Umlenkspiegel 4, die dafür sorgt, daß der Laserstrahl 6 erst auf der Laufflächenoberfläche 7 zusammen mit dem Pulver auftrifft.

[0026] Nach den bekannten optischen Gesetzen wird der Laserstrahl 6 linienförmig, vorzugsweise als X, I oder 8 fokussiert und dann beispielsweise durch Kippen des Spiegels auf der Laufflächenoberfläche 7 abgebildet. Durch die Form der Abbildung kann der Energieeintrag gesteuert werden, so daß das Ausscheidungsgefüge in seiner Ausprägung an den Rändern beeinflußbar ist.

[0027] Durch Drehung des Spiegels 4 wandert der Laserstrahl 6 über die Laufflächenoberfläche 7, so daß sich ein streifenförmiges Band ergibt. Wenn dabei gleichzeitig eine Vorschubbewegung in Richtung der Zylinderachse 8 erfolgt, ergibt sich durch Überlagerung der beiden Bewegungen eine spiralförmige Beschichtung der Laufflächenoberfläche 7. Die rotierende und die translatorische Bewegung in Richtung der Zylinderachse 8 sollten dabei so aufeinander abgestimmt werden, daß die Windungen der Spirale dicht aneinanderliegen, so daß sich eine geschlossene Auflegierungszone ergibt.

[0028] In Figur 2 ist die erfindungsgemäß mit einem Linienfokus erzeugte Auflegierungszone 10, bestehend aus einer ausscheidungsreichen Zone 11 und zwei seitlich angeordneten ausscheidungsarmen Zonen 12, 13, dargestellt. Figur 2 zeigt den Zustand der Auflegierungszone unmittelbar nach der Laserbeschichtung, wobei zu erkennen ist, daß der Anteil der ausscheidungsarmen Zone L_{AL}, bezogen auf die nutzbare Länge L_{NL} der ausscheidungsreichen Zone, relativ gering ist. Die entsprechenden Bereiche in Figur 3 sind mit L_{AK} bezeichnet, die zu den Randzonen 15, 16, 17 gehören.

[0029] In Figur 3 sind als Vergleichsbeispiel drei mit herkömmlichem Kreisfokus hergestellte Auflegierungszonen dargestellt, wobei die Beschichtungsbreite bei dem Verfahren mit Linienfokus und bei dem Verfahren mit Kreisfokus annähernd übereinstimmen. Man erkennt, daß die nutzbare Länge L_{NK} des ausscheidungsreichen Gefüges bei dem Verfahren mit Kreisfokus wesentlich geringer ist als die nutzbare Länge beim Linienfokus L_{NL}. Ferner ist die nutzbare Tiefe der gehärteten Oberflächenschicht beim Kreisfokus wesentlich geringer als beim Linienfokus, da beim Kreisfokus ein ausscheidungsarmes Gefüge bis in tiefere Zonen des Zylinderblockgefüges reicht. Dies ist im Querschnitt nach Figur 3 durch die breiten Randzonen 15, 16, 17 veranschaulicht.

[0030] Da bei gleicher Eindringtiefe die nutzbare Tiefe im Vergleichsbeispiel nach Figur 3 geringer ist als im erfindungsgemäßen Beispiel nach Figur 2 ist die Qualität der Beschichtung nach dem Vergleichsbeispiel ungünstiger. Ferner ist der erforderliche Abtrag ΔH_{WK} im Vergleichsbeispiel bei gleicher Bearbeitungstiefe wie im Erfindungsbeispiel wesentlich höher (ΔH_{WL}), da der Kreisfokus eine wellige Oberflächenschicht erzeugt, die im Bereich der Lauffläche einen geringeren nutzbaren Materialanteil M_K aufweist als ein entsprechender Laufflächenabschnitt gemäß Figur 2 (L_{NL}).

[0031] Der nutzbare Materialanteil ist im Erfindungsbeispiel L_{NL}, während M_K als Summe der Einzelwerte L_{NK1}, L_{NK2}, L_{NK3} gebildet wird.

[0032] Der erfindungsgemäße Leichtmetallzylinderblock hat daher eine verschleißfestere Zylinderlauffläche, die durch gleichmäßige Verteilung der feinen Si-Primärausscheidungen tribologisch optimiert ist und durch linienförmige Fokussierung und überlappende Beschichtung mit deutlich reduziertem Fertigungsaufwand herstellbar ist.

[0033] Es wird anhand des Gefügebildes in Figur 4 verdeutlicht. Es handelt sich um ein Schliffbild mit der Vergrößerung 200 : 1, wobei im rechten Bildteil A eine Gußlegierung vom Typ AlSi9Cu3 und im linken Bildteil B eine tribologisch optimierte Oberflächenschicht mit feindispersen Primär-Silizium-Ausscheidungen zu erkennen ist. Der Primärsiliziumanteil beträgt im vorliegenden Beispiel 10 %, der Primärphasendurchmesser 4,4 µm und der Abstand der Si-Primärphasen 13 µm.

[0034] Für die Belastungsfähigkeit des neuen Werkstoffs ist besonders von Bedeutung die Anbindung der Auflegierungszone B an das Matrixgefüge A. Am Schliffbild 4 ist erkennbar, daß in der Übergangszone C keine Oxide oder andere Fehlstellen vorliegen. Dieses beruht darauf, daß die Auflegierungszone quasi "insitu" aus dem Matrixgefüge gebildet wurde und somit ein einheitlicher Werkstoff mit unterschiedlichen Zusammensetzungen im Bereich A, B entstanden ist.

Bezugszeichenliste

[0035]

1	Pulverzuführung
1a	Ende der Pulverzuführung
1b	Düse
2	Laserstrahleinrichtung
3	Fokussiersystem

4	Umlenkspiegel
5	Lauffläche
6	Laserstrahl
7	Laufflächenoberfläche
8	Zylinderachse
9	-
10	Auflegierungszone
11	Ausscheidungsreiche Zone
12,13	Ausscheidungsarme Zone
14	-
15,16,17	Randzonen
M_K	Materialanteil
L_{NK}	Nutzbare Länge des ausscheidungsreichen Gefüges
L_{NL}	Nutzbare Länge der ausscheidungsreichen Zone
L_{AL}	Anteil der ausscheidungsarmen Zone
L_{AK}	Bereiche, die zu den Randzonen gehören
$\triangle H_{WK}$	Abtrag Vergleichsbeispiel
$\triangle H_{WL}$	Abtrag Erfindungsbeispiel
A	Matrixgefüge
B	Auflegierungszone
C	Übergangszone

Patentansprüche

1. Leichtmetallzylinderblock mit mindestens einer verschleißfesten und tribologisch optimierten Zylinderlauffläche, bestehend aus einer Leichtmetallmatrixlegierung mit einer feindispersen, Primär-Silizium-Ausscheidungen enthaltenden Oberflächenschicht,
wobei das Primärsilizium aus gleichmäßig verteilten, rundlich geformten Körnern mit einem mittleren Korndurchmesser zwischen 1 und 10 µm besteht und die Oberflächenschicht 10 bis 14 % AlSi-Eutektikum, 5 bis 20 % Primärsilizium, Rest reine Al-Phase enthält, wobei die Mindesthärte der Oberfläche 160 HV beträgt.

2. Leichtmetallzylinderblock nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß die Si-Primärphasen in einem Abstand von 1 - 5 Primärphasendurchmesser in der Oberflächenschicht verteilt vorliegen.

3. Leichtmetallzylinderblock nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß das Primärsilizium in einer streifenförmigen Auflegierungszone mit einer Streifenbreite von mindestens 2 mm und einer mittleren Schichtdicke von 150 - 650 µm in der Matrixlegierung angeordnet ist, wobei die Streiten spiralförmig über die Zylinderlauffläche verlaufen.

4. Leichtmetallbauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Streifenbreite 2 bis 4 mm beträgt.

5. Leichtmetallbauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß bei mehreren nebeneinander angeordneten Auflegierungszonen eine Überlappung der Streiten vorgesehen ist, wobei die Überlappungsbreite 5 bis 10 % beträgt.

6. Leichtmetallzylinderblock mit mindestens einer verschleißfesten und tribologisch optimierten Zylinderlauffläche, bestehend aus einer Leichtmetallmatrixlegierung mit einer feindispersen, Primär-Silizium-Ausscheidungen enthaltenden Oberflächenschicht, die als reine Diffusionsschicht aus einer ausscheidungsreichen Auflegierungszone (11) und ausscheidungsarmen Randzonen (12, 13) besteht, wobei die Ausscheidungen aus gleichmäßig verteilten, rundlich geformten Körnern des Primärsiliziums mit einem mittleren Korndurchmesser zwischen 1 und 10 µm gebildet werden und die Auflegierungszone aus 10 bis 14 % AlSi-Eutektikum, 5 bis 20 % Primärsilizium, Rest reine Aluminiumphase besteht und eine Mindesthärte von 160 HV aufweist.

7. Verfahren zur Herstellung eines Leichtmetallzylinderblocks mit mindestens einer verschleißfesten und tribologisch optimierten Zylinderlauffläche, umfassend eine Leichtmetallmatrixlegierung und ein hartstoffhaltiges Pulvermaterial, das als feindisperse, Primär-Silizium-Ausscheidungen enthaltene Oberflächenschicht in der Leichtmetallmatrix vorliegt, durch Schwerkraft-, Niederdruck- oder Druckgußverfahren mit anschließender Oberflächenbearbeitung durch parallel zueinandergerichtete Laser- und Pulverstrahlen,
wobei der Laserstrahl in einer Streitenbreite quer zur Vorschubrichtung von mindestens 2 mm über die Leichtmetallmatrixoberfläche geführt wird und bei dem das Pulver erst im Auftreffpunkt des Laserstrahls auf die Leichtmetallmatrixoberfläche in einer Kontaktzeit von 0,1 bis 0,5 Sekunden auf Schmelztemperatur aufgeheizt und eindiffundiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Leichtmetallmatrixlegierung im Auftreffpunkt in einer Tiefe von mindestens 350 µm vollständig aufgeschmolzen und an der Leichtmetallmatrixoberfläche in den Plasmazu-

stand überführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß das geschmolzene Pulver bei der Diffusion eine Auflegierungszone bildet, die eine Schichtdicke von 500 - 1000 µm aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß das Pulver im Zeitpunkt kurz vor dein Auftreffen auf die Metallmatrixlegierung eine Kornstruktur besitzt und erst im Kontakt mit der Metallmatrixlegierung im Bereich des Laserstrahls innerhalb einer Kontaktzeit von 0,1 bis 0,5 sec aufgeschmolzen und einlegiert wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorschubgeschwindigkeiten von Laserstrahl und Pulverstrahl derart gesteuert werden, daß

a) eine Diffusion in die Metallmatrixlegierung mit Eindringtiefen von 350 bis 850 µm erfolgt,

b) durch langsame gesteuerte Abkühlung der Auflegierungszone rundlich geformte Primärphasen kleiner 10 µm gebildet werden, deren Abstände 1 bis 5-mal Primärphasendurchmesser betragen,

c) eine Ausscheidung von Hartphasen erhalten wird, mit einer Schichthärte von HV 110 bis 160.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorschubgeschwindigkeit 0,8 bis 4,0 m pro Minute bei einer focussierten Auftrefffläche des Laserstrahls von 1 bis 10 mm^2 und einer Laserlichtleistung von 3 bis 4 kW beträgt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß der Laserstrahl mit einem linienförmigen Fokus auf der Innenlauffläche eines Hohlzylinders spiralig rotiert und dabei durch Zugabe eines Si-Pulvers eine streifenförmige, Primärsilizium enthaltende Auflegierungszone gebildet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die mittlere Bearbeitungstiefe in der Auflegierungszone 750 µm beträgt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Hartphasen der Auflegierungszone durch eine mechanische Bearbeitung freigelegt werden, wobei der Abtrag der obersten Schicht kleiner 30 % der Gesamtschichtdicke beträgt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Auflegierungszone ohne Zwischenbearbeitung direkt gehont wird.

17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens einer Laufflächenbeschichtung von Hohlzylindern, bestehend aus einer Pulverzuführung (1), einer Laserstrahleinrichtung (2) und einem Fokussiersystem (3) mit einem Umlenkspiegel (4),
dadurch gekennzeichnet,

daß Pulverzuführung (1) und Laserstrahleinrichtung (2) parallel zueinander in radialer und axialer Richtung des Hohlzylinders geführt sind,

daß das Fokussiersystem (3) einen linienförmigen Strahlaustritt mit einer Strahlenbreite von 2,0 bis 2,5 mm aufweist

und daß die Pulverzuführung mit einer Dosiereinrichtung versehen ist, über die der Volumenstrom des Pulvers in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahls einstellbar ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17,
dadurch gekennzeichnet,

daß das Fokussiersystem (3) eine X-, I- oder 8-förmige Fokusform aufweist, die an den oberen und unteren Randzonen im Vergleich zum mittleren Fokusbereich einen erhöhten Energieaustritt ermöglicht.

Fig. 1

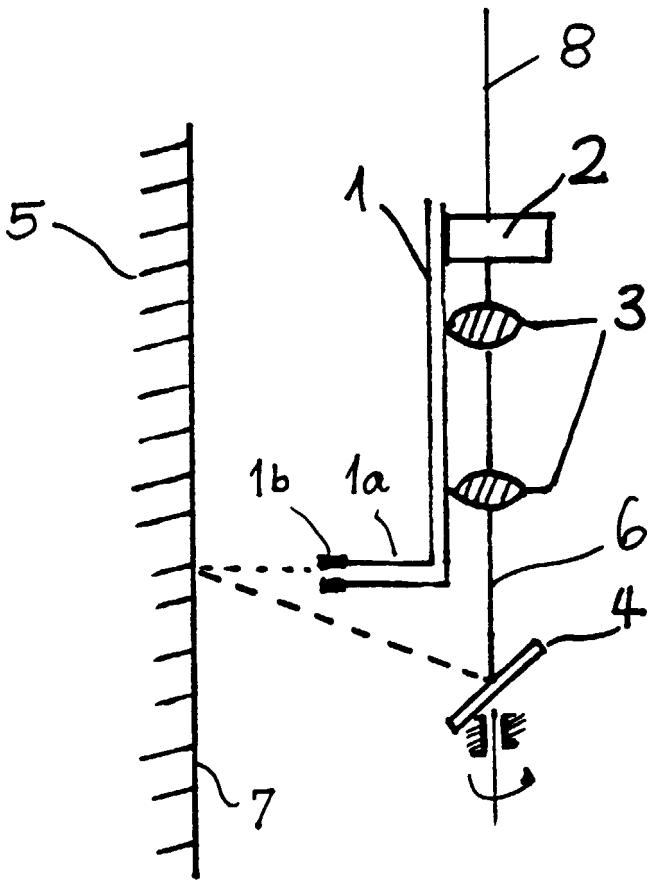


Fig. 3

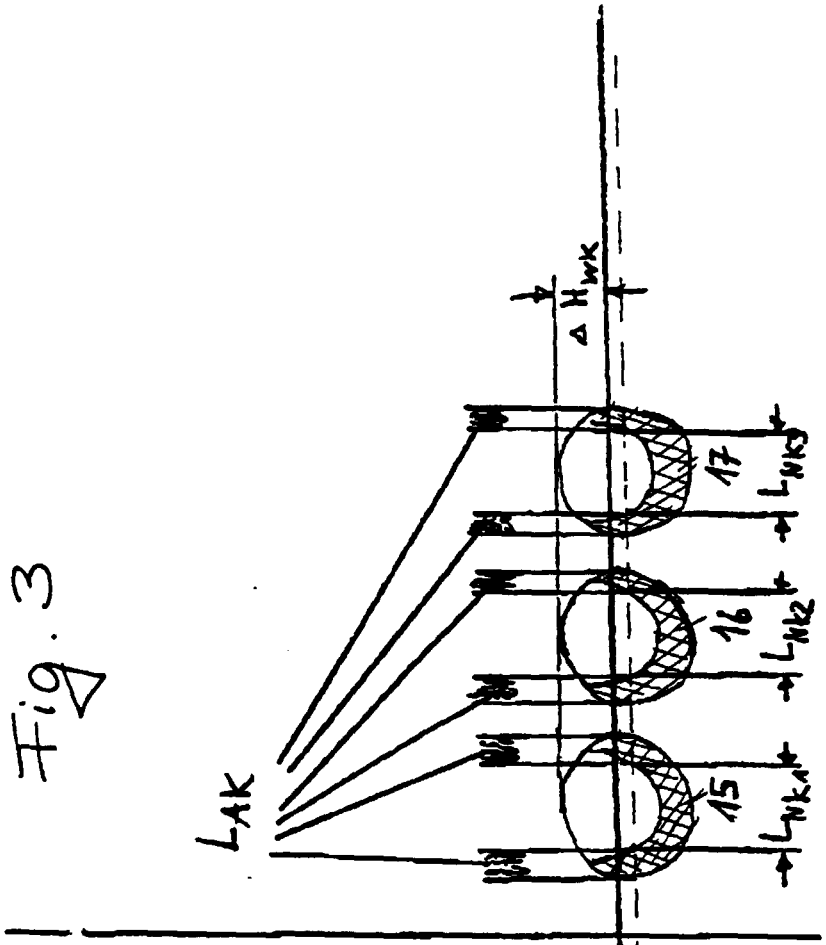


Fig. 2

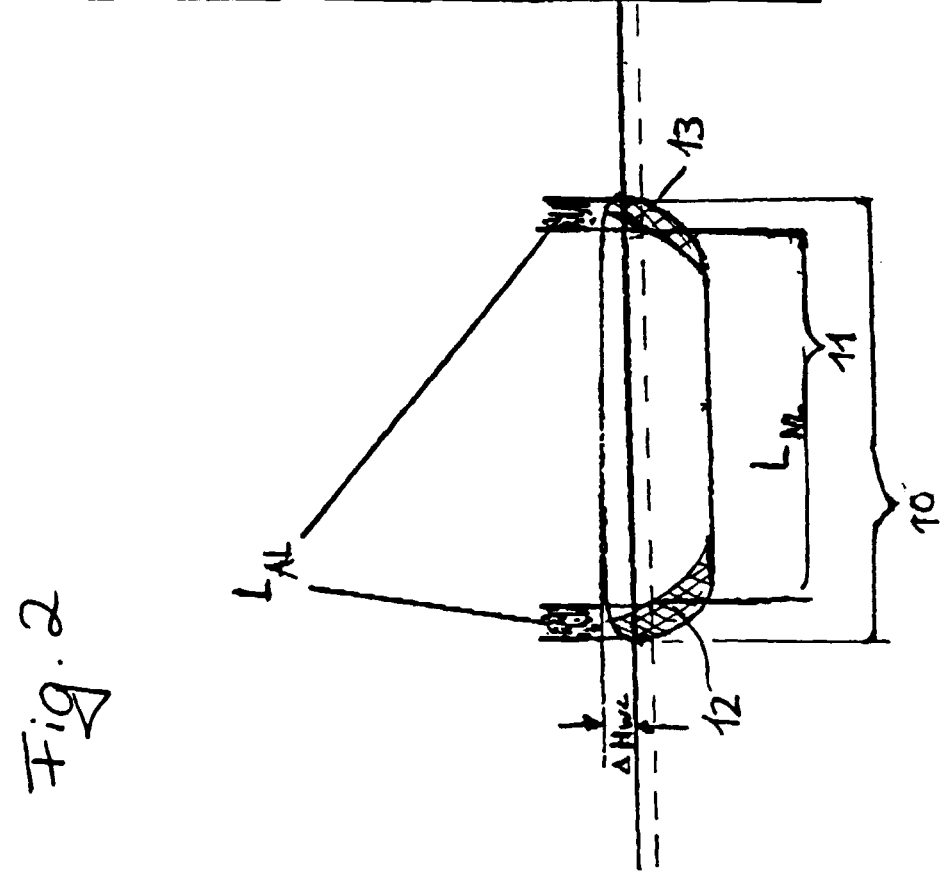
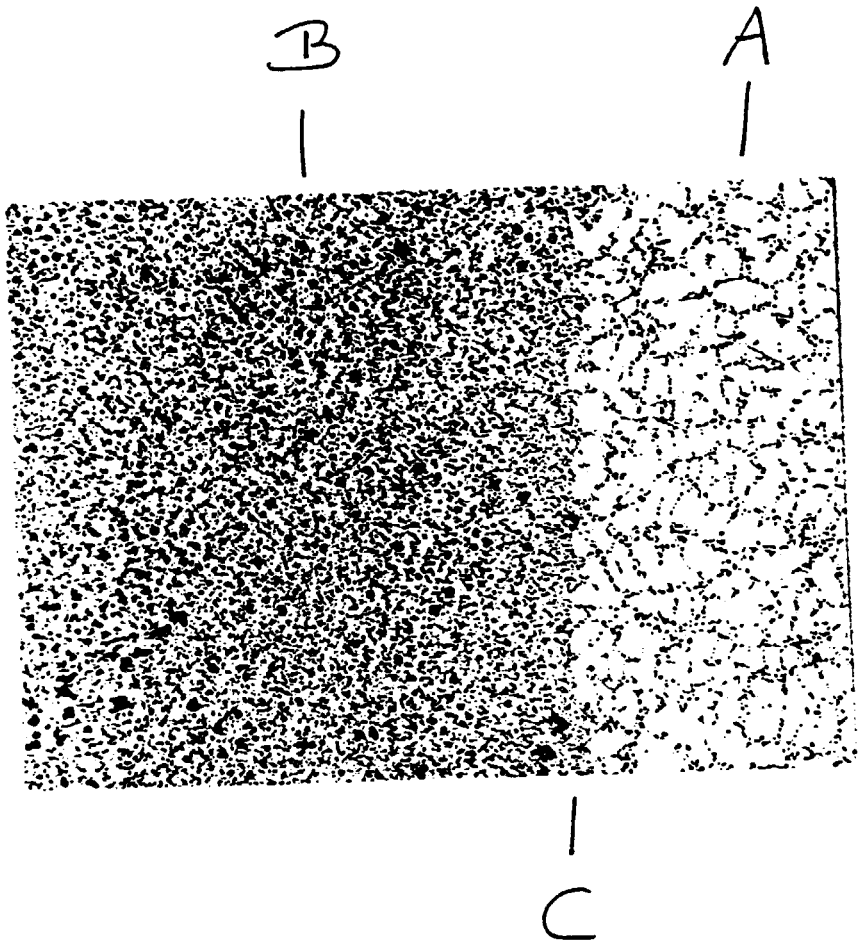


Fig. 4



Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 10 5126

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
D,A	EP 0 837 152 A (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG) 22. April 1998 (1998-04-22) * Spalte 2, Zeile 33 - Spalte 6, Zeile 19; Abbildung *	1,6,7,17	C23C26/02 C23C24/10 C23C4/06 C23C4/04 F02F7/00
A	EP 0 367 229 A (HONDA MOTOR CO LTD ;SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES (JP)) 9. Mai 1990 (1990-05-09) * Seite 2, Zeile 50 - Seite 4, Zeile 3 *	1	F02F3/00
A	DE 40 40 436 A (SIMSON FAHRZEUG GMBH I L) 25. Juni 1992 (1992-06-25) * Spalte 2, Zeile 5 - Spalte 3, Zeile 5; Abbildung *	3	
A	US 4 650 644 A (HURET NOEL ET AL) 17. März 1987 (1987-03-17)		
A	US 5 131 356 A (DUVE HANS H ET AL) 21. Juli 1992 (1992-07-21)		
A	EP 0 411 322 A (AUDI NSU AUTO UNION AG) 6. Februar 1991 (1991-02-06)		
A	EP 0 221 276 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 13. Mai 1987 (1987-05-13)		

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
C23C F02F

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	31. Juli 2000	von Arx, H

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 : nichtschriftliche 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 00 10 5126

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.

31-07-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0837152 A	22-04-1998	DE 19643029 A	23-04-1998
EP 0367229 A	09-05-1990	JP 1892846 C	26-12-1994
		JP 2122043 A	09-05-1990
		JP 6021309 B	23-03-1994
		DE 68912518 D	03-03-1994
		DE 68912518 T	05-05-1994
		US 4959276 A	25-09-1990
DE 4040436 A	25-06-1992	KEINE	
US 4650644 A	17-03-1987	FR 2528910 A	23-12-1983
		FR 2537654 A	15-06-1984
		BR 8307381 A	17-07-1984
		CA 1237919 A	14-06-1988
		DE 3363726 D	03-07-1986
		EP 0112848 A	11-07-1984
		ES 523319 D	16-03-1984
		ES 8403567 A	16-06-1984
		WO 8400050 A	05-01-1984
		IT 1194273 B	14-09-1988
		JP 1037464 B	07-08-1989
		JP 59500779 T	04-05-1984
US 5131356 A	21-07-1992	DE 4009714 A	02-10-1991
		BR 9101190 A	05-11-1991
		CA 2038833 A	28-09-1991
		CS 9100806 A	12-11-1991
		DE 59106239 D	21-09-1995
		EP 0449356 A	02-10-1991
		ES 2079553 T	16-01-1996
		IE 73872 B	02-07-1997
		JP 2994482 B	27-12-1999
		JP 4224071 A	13-08-1992
		PT 97149 A,B	31-05-1993
EP 0411322 A	06-02-1991	DE 3922378 A	17-01-1991
EP 0221276 A	13-05-1987	JP 1816648 C	18-01-1994
		JP 5024967 B	09-04-1993
		JP 62054588 A	10-03-1987
		AU 582675 B	06-04-1989
		AU 6205486 A	05-03-1987
		CA 1281949 A	26-03-1991
		DE 3666594 D	30-11-1989
		US 4732778 A	22-03-1988

EPO FORM P0461

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