

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 127 958 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

29.08.2001 Patentblatt 2001/35

(51) Int Cl.7: **C23C 26/02, C23C 24/10**

(21) Anmeldenummer: **01102134.2**

(22) Anmeldetag: **01.02.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **26.02.2000 DE 10009133**

(71) Anmelder: **Volkswagen Aktiengesellschaft
38436 Wolfsburg (DE)**

(72) Erfinder:

- **Heinemann, Rolf, Dipl.-Ing.
38165 Lehre (DE)**
- **Heider, Thomas, Dipl.-Ing.
38448 Wolfsburg (DE)**
- **Färber, Klaus, Dipl.-Ing.
38158 Gifhorn (DE)**

(54) Verfahren zum Laserbeschichten einer Oberfläche

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbeschichten einer Oberfläche, insbesondere einer Innenfläche einer zylinderförmigen Bohrung eines Bauteils, insbesondere eines Aluminium-Zylinderkurbelgehäuses einer Brennkraftmaschine, wobei ein Grundwerkstoff der Oberfläche mittels eines Laserstrahls zu einem lokalen Schmelzbad aufgeschmolzen und ein wenigstens eine Komponente aufweisendes Legie-

rungspulver in das Schmelzbad eingebracht wird. Hierbei wird das Schmelzbad derart gebildet bzw. wird/werden die Komponente/Komponenten das Legierungspulver derart gewählt, daß wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers in dem Schmelzbad nicht oder nur teilweise aufgeschmolzen wird, so daß diese Komponente vollständig oder wenigstens teilweise im festen Aggregatzustand in den Grundwerkstoff eingebettet wird.

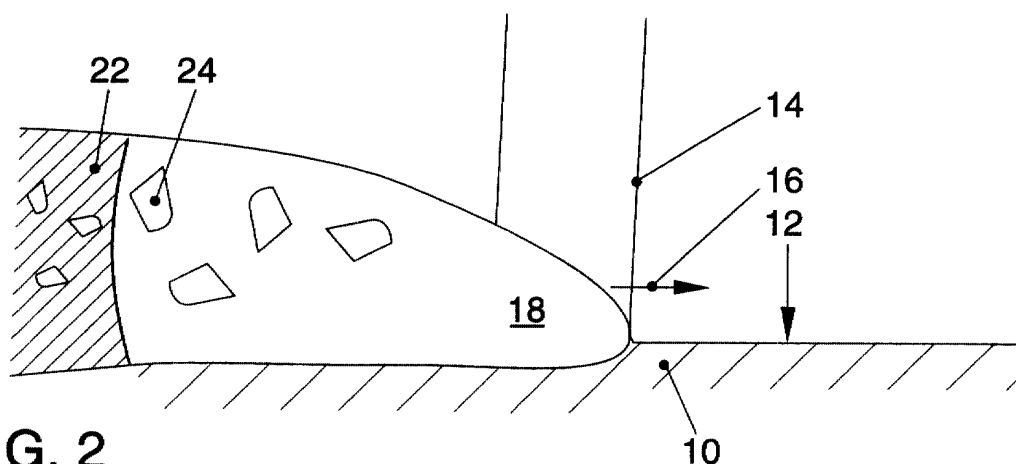


FIG. 2

EP 1 127 958 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Laserbeschichten einer Oberfläche, insbesondere einer Innenfläche einer zylinderförmigen Bohrung eines Bauteils, insbesondere eines Aluminium-Zylinderkurbelgehäuses einer Brennkraftmaschine, wobei ein Grundwerkstoff der Oberfläche mittels eines Laserstrahls zu einem lokalen Schmelzbad aufgeschmolzen und ein wenigstens eine Komponente aufweisendes Legierungspulver in das Schmelzbad eingebracht wird, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Die für Zylinderkurbelgehäuse vorwiegend eingesetzten untereutektischen Aluminium-Silizium-Legierungen sind aufgrund des zu geringen Anteils der verschleißfesten Siliziumphase für die tribologische Beanspruchung des Systems Kolben-Kolbenring-Zylinderlaufbahn ungeeignet. Übereutektische Legierungen, z.B. die Legierung $\text{AlSi}_7\text{Cu}_4\text{Mg}$, besitzen einen ausreichenden Anteil an Siliziumkristalliten. Dieser harte, verschleißbeständige Gefügebestandteil wird durch chemische und/oder mechanische Bearbeitungsstufen gegenüber der aus dem Aluminiummischkristall bestehenden Matrix hervorgehoben und bildet einen erforderlichen Tragflächenanteil. Nachteilig wirkt sich jedoch die gegenüber den untereutektischen und naheutektischen Legierungen mangelhafte Ver gießbarkeit, die schlechte Bearbeitbarkeit und die hohen Kosten für diese Legierung aus.

[0003] Eine Möglichkeit zur Umgehung dieses Nachteils ist das Eingießen von Laufbuchsen aus verschleißbeständigem Material wie z.B. Grauguß- und übereutektischen Aluminiumlegierungen. Problematisch ist hier jedoch die Verbindung zwischen Buchse und Umguß, welcher alleine durch eine mechanische Verzahnung gewährleistet wird. Durch Einsatz eines porösen keramischen Buchsenwerkstoffs ist es möglich, beim Gießprozeß diesen zu infiltrieren und zu einer stofflichen Verbindung zu gelangen. Dazu ist eine langsame Formfüllung sowie die Anwendung von hohem Druck erforderlich, was die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erheblich herabsetzt.

[0004] Alternativ werden unter- und naheutektischen Legierungen als galvanische Beschichtungen direkt auf die Laufbahnen aufgebracht. Dies ist jedoch teuer und tribochemisch nur ungenügend beständig. Eine weitere Alternative bilden thermische Spritzschichten, welche ebenfalls direkt auf die Laufflächen appliziert werden. Die Haftfestigkeit dieser Schichten ist jedoch aufgrund einer alleinigen mikromechanischen Verklammerung nur ungenügend.

[0005] Es wurde daher bereits vorgeschlagen, die Oberflächenmodifikationen Umschmelzen, Einlegieren, Dispergieren und Beschichten durch den Einsatz eines Lasers auszuführen, wie beispielsweise aus der DE 196 43 029 A1 oder der EP 0 950 461 A2 bekannt. Hierbei wird ein zu bearbeitender Hohlkörper, welcher zylinderförmig mit einer rotationssymmetrischen Zylinderachse

ausgebildet ist, ortsfest gehalten und eine Umlenkoptik für den Laserstrahl sowie eine Zuführung für Legierungspulver rotiert und gleichzeitig entlang der Zylinderachse vorgeschoben. Der auf die Oberfläche des zu bearbeitenden Körpers fallende Laserstrahl erzeugt an der Zylinderwand im Bereich einer Kolbenlauffläche ein Schmelzbad, in welches hier vorzugsweise Silizium oder andere Hartstoffe eingebracht werden, um eine verschleißfeste, tribologisch geeignete Lauffläche zu erhalten. Bei derartigen bekannten Verfahren ist es jedoch nachteilig, daß eine relativ hohe Bearbeitungsdauer und Laserenergie erforderlich ist, wodurch sich die Herstellung von beispielsweise Zylinderkurbelgehäusen aufwendig und kostenintensiv gestaltet.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der obengenannten Art dahingehend zu verbessern, daß eine Laserbeschichtungsrate erhöht bzw. eine Bearbeitungsdauer verkürzt wird.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der o.g. Art mit den in Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Dazu ist es erfindungsgemäß vorgesehen, daß das Schmelzbad derart gebildet wird bzw. die Komponente/Komponenten des Legierungspulvers derart gewählt wird/werden, daß wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers in dem Schmelzbad nicht oder nur teilweise aufgeschmolzen wird, so daß diese Komponente vollständig oder wenigstens teilweise im festen Aggregatzustand in den Grundwerkstoff eingebettet wird.

[0009] Dies hat den Vorteil, daß bei erhöhtem Laserbearbeitungsvorschub und geringerer Laserbearbeitungszeit die Wirtschaftlichkeit der Laseroberflächenbearbeitung erhöht wird. Dadurch steht ein Verfahren mit erhöhter Beschichtungs- bzw. Einlegierungsleistung zur Verfügung, wobei eine Beschichtungsrate bei der Laseroberflächenbearbeitung von Innenflächen, wie beispielsweise Rohren, insbesondere von Leichtmetall-Zylinderkurbelgehäusen, wie beispielsweise Aluminium-Zylinderkurbelgehäusen, verbessert ist.

[0010] Beispielsweise besteht das Legierungspulver aus ein oder mehreren Komponenten, wobei eine Komponente im Schmelzbad vollständig aufgeschmolzen werden kann. Zweckmäßigerweise wird der Grundwerkstoff derart aufgeschmolzen, daß das Legierungspulver einlegiert oder auftragsgeschweißt wird.

[0011] Dadurch, daß das Legierungspulver oder wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers vor dem Einbringen in das Schmelzbad vorgewärmt wird, kann das Verfahren mit niedrigerer Laserenergie bzw. schneller durchgeführt werden, da der Laserstrahl nicht mehr die vollständige Energie zum Aufschmelzen oder Anschmelzen bestimmter Anteile des Legierungspulvers aufbringen muß.

[0012] Dadurch, daß vor dem Erzeugen des

Schmelzbades der Grundwerkstoff vorgewärmt wird, kann das Verfahren mit niedrigerer Laserenergie bzw. schneller durchgeführt werden, da der Laserstrahl nicht mehr die vollständige Energie zum Aufschmelzen des Grundwerkstoffes aufbringen muß.

[0013] Beispielsweise wird der Grundwerkstoff mit einer Tiefe von $\leq 0,2$ mm zum Schmelzbad aufgeschmolzen. Hier kann z.B. als wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers Silizium mit einer Teilchengröße von $35\text{ }\mu\text{m}$ bis $100\text{ }\mu\text{m}$, vorzugsweise $50\text{ }\mu\text{m}$, gewählt werden. Zudem kann das Legierungspulver ein- oder mehrphasig sein, wobei das Legierungspulver Silizium und AlSi umfassen kann. Das Legierungspulver kann auch Stoffe beinhalten, welche eine geeignete Ausscheidung, wie beispielsweise Eisen, bilden. Desweiteren kann das Legierungspulver Hartstoffe, wie beispielsweise Karbide, Nitride, Boride oder Oxide beinhalten.

[0014] Verschiedenste Einlegierungs-, Dispergierungs- und Auftragsstrukturen erzielt man dadurch, daß ein Laserbrennpunkt oder Schmelzpunkt in einem vorbestimmten Muster über die Innenfläche geführt wird.

[0015] Zweckmäßigerweise wird ein Laserbrennpunkt mit einer Vorschubgeschwindigkeit ≥ 4000 mm/min bewegt.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Laserbrennpunkt über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben mit Kolbenringen zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung derart geführt, daß sich in axialer Richtung ein vorbestimmter Abstand zwischen mit einer Laserspurbreite aufgeschmolzenen Bereichen der Oberfläche ergibt, wobei dieser Abstand gleich groß oder größer als eine Dicke der Kolbenringe gewählt wird.

[0017] Für eine vollständige Abdeckung einer Lauffläche eines Kolbens in der Zylinderbohrung wird ein Laserbrennpunkt über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung geführt, wobei bis ca. 2 mm oberhalb eines OT des Kolbens in der Zylinderbohrung und bis ca. 2 mm unterhalb eines UT des Kolbens in der Zylinderbohrung beschichtet wird.

[0018] In vorteilhafter Weise wird ein Laserbrennpunkt über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung geführt, wobei unterhalb eines UT des Kolbens in der Zylinderbohrung in einem Bereich eines Kolbenanschlages bzw. in einem Bereich in dem der Kolben seine Anlage wechselt, eine punktförmige, linienförmige oder flächenhafte Beschichtung ausgebildet wird.

[0019] Weitere Merkmale, Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, sowie aus der nachstehenden Beschreibung der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen. Diese zeigen in

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer Laseroberflächenbeschichtung,

Fig. 2 eine Laserbeschichtung einer Oberfläche mit flacher Einlegierung eines Legierungspulvers in schematischer Schnittansicht und

Fig. 3 eine Laserbeschichtung einer Oberfläche mit tiefer Einlegierung eines Legierungspulvers in schematischer Schnittansicht.

[0020] Fig. 1 veranschaulicht schematisch das Grundprinzip einer Laseroberflächenbearbeitung eines Grundwerkstoffes 10 an einer Oberfläche 12 mittels eines Laserstrahls 14, der in Vorschubrichtung 16 bewegt wird. Der Laserstrahl 14 schmilzt den Grundwerkstoff 10 zu einem Schmelzbad 18 auf, in das ein entsprechendes Legierungspulver 20 eingebracht wird. Üblicherweise wird das Legierungspulver 20 in dem Schmelzbad 18 aufgeschmolzen und bildet zusammen mit dem Grundwerkstoff 10 eine Matrix aus. In einem Bereich 22 ist dann schließlich die Matrix erstarrt und bildet beispielsweise eine tribologisch geeignete Oberfläche in Form einer Lauffläche an einer Zylinderwand für einen Kolben in einem Zylinderkurbelgehäuse einer Brennkraftmaschine.

[0021] Das Legierungspulver 20 setzt sich beispielsweise aus ein oder mehreren Komponenten k_1, k_2, \dots, k_n zusammen. Der Schmelzpunkt der Matrix $T_s(M)$ ist bei einer Einlegierung, bei der das Pulver vollständig aufgeschmolzen ist, kleiner als der Schmelzpunkt des Grundwerkstoffes $T_s(G)$, wobei $T_s(M) = T_s(k_1, k_2, \dots, k_n + G)$ (siehe Fig. 1).

[0022] Erfindungsgemäß wird nun eine hohe Laserbeschichtungsrate durch die Wahl der geeigneten Komponenten k des Legierungspulvers 20 und durch eine geeignete Festlegung des Schmelzgrades des Schmelzbades 18 erreicht, wobei wenigstens eine Komponente k_1 des Legierungspulvers 20 nicht oder nur teilweise angeschmolzen wird und der Grundwerkstoff 10 ggf. zusammen mit angeschmolzenen Komponenten k_2, \dots, k_n des Legierungspulvers 20 die metallische Matrix M der so gebildeten Schicht 22 bildet. Die nicht angeschmolzene Komponente k_1 wird dabei im festen Aggregatzustand in die Matrix eingebettet. Mit anderen Worten wird eine oder werden mehrere Komponenten des Legierungspulvers 20 nicht oder nur teilweise angeschmolzen und weitere Komponenten des Legierungspulvers 20, die idealerweise niedrig schmelzend sind bzw. mit dem Grundwerkstoff 10 eine niedrig schmelzende Legierung bilden, werden vollständig aufgeschmolzen.

[0023] Bei der in Fig. 2 schematisch dargestellten Laseroberflächenbehandlung des Grundwerkstoffes 10 erfolgt eine flache Einlegierung eines Legierungspulvers mit zwei oder n -Komponenten, wobei die Komponente k_1 24 des Legierungspulvers 20 im Schmelzbad 18 nicht angeschmolzen wird. Die Matrix M setzt sich

hierbei lediglich aus den angeschmolzenen Komponenten k_2 des Legierungspulvers 20 zusammen mit dem Grundwerkstoff G 10 zusammen: $M = k_2 + G$. Hierbei ist die Energie des Laserstrahls 14 bzw. sind die Komponenten k des Legierungspulvers derart gewählt, daß sich folgendes Relationen bezüglich jeweiliger Schmelzpunkte T_s ergeben:

$$T_s(k_1) > T_s(G), T_s(k_2), \dots T_s(k_n)$$

oder

$$T_s(k_1) > T_s(G).$$

[0024] Mit anderen Worten wird die Komponente k_1 im festen Aggregatzustand, ohne jemals aufgeschmolzen zu werden, in die Matrix M eingebettet. Bedingt dadurch, daß eine oder mehrere Komponenten $k_2 \dots k_n$ des Legierungspulvers 20 nicht oder nur teilweise aufgeschmolzen werden müssen, ist eine geringere Energiemenge notwendig. Folglich kann bei gleichbleibender Laserausgangsleistung der Vorschub 16 der Laseroberflächenbearbeitung erhöht oder der Fokus an der Oberfläche 12 vergrößert werden, so daß die Beschichtungsrate erhöht und Fertigungszeit reduziert ist.

[0025] Zur weiteren Erhöhung der Laserbearbeitungsrate wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, den Grundwerkstoff 10 und/oder wenigstens eine Komponente k des Legierungspulvers 20 vorzuwärmen, da im Normalfall ein Teil der Laserleistung des Laserstrahls 14 zum Erwärmen des Grundwerkstoffes 10 benötigt wird.

[0026] Eine typische Vorschubgeschwindigkeit 16 des Laserstrahls 14 auf der Oberfläche 12 beträgt, beispielsweise bezogen auf den Umfang einer zylinderförmigen Bohrung, 4000 mm/min oder mehr.

[0027] Fig. 3 veranschaulicht eine Laseroberflächenbehandlung der Oberfläche 12 mit Grundwerkstoff 10 mittels Laserstrahl 14 mit einer Einlegierung eines Legierungspulvers mit zwei oder n -Komponenten. Hierbei sind die Verhältnisse betreffend der Schmelzpunkte T_s der nicht aufgeschmolzenen Komponente k_1 des Legierungspulvers, des Grundwerkstoffes G 10 und der übrigen Komponenten $k_2 \dots k_n$ analog, wie oben in bezug auf Fig. 2 beschrieben, gewählt. Lediglich die Laserleistung ist derart gewählt, daß das Schmelzbad 18 eine größere Eindringtiefe in den Grundwerkstoff 10 aufweist. Die Komponente k_1 24 wird wiederum unaufgeschmolzen im festen Aggregatzustand in die Matrix M eingebettet. Diese Art der Laseroberflächenbehandlung bezeichnet man als Einlegieren, während die Bearbeitung gemäß Fig. 2 üblicherweise als Auftragsschweißen bezeichnet wird.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0028]

- | | | |
|----|----|--|
| 5 | 10 | Grundwerkstoff |
| | 12 | Oberfläche |
| | 14 | Laserstrahl |
| | 16 | Vorschubrichtung |
| | 18 | Schmelzbad |
| 10 | 20 | Legierungspulver |
| | 22 | erstarrter Bereich |
| | 24 | Komponente K_1 des Legierungspulvers |

15 Patentansprüche

1. Verfahren zum Laserbeschichten einer Oberfläche, insbesondere einer Innenfläche einer zylinderförmigen Bohrung eines Bauteils, insbesondere eines Aluminium-Zylinderkurbelgehäuses einer Brennkraftmaschine, wobei ein Grundwerkstoff der Oberfläche mittels eines Laserstrahls zu einem lokalen Schmelzbad aufgeschmolzen und ein wenigstens eine Komponente aufweisendes Legierungspulver in das Schmelzbad eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schmelzbad derart gebildet wird bzw. die Komponente/Komponenten des Legierungspulvers derart gewählt wird/werden, daß wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers in dem Schmelzbad nicht oder nur teilweise aufgeschmolzen wird, so daß diese Komponente vollständig oder wenigstens teilweise im festen Aggregatzustand in den Grundwerkstoff eingebettet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver wenigstens zwei Komponenten umfaßt, wobei wenigstens eine Komponente im Schmelzbad vollständig aufgeschmolzen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundwerkstoff derart aufgeschmolzen wird, daß das Legierungspulver einlegt oder auftragsgeschweißt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver oder wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers vor dem Einbringen in das Schmelzbad vorgewärmt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor dem Erzeugen des Schmelzbades der Grundwerkstoff vorgewärmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

che, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundwerkstoff mit einer Tiefe von $\leq 0,2$ mm zum Schmelzbad aufgeschmolzen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als wenigstens eine Komponente des Legierungspulvers Silizium mit einer Teilchengröße von 35 μm bis 100 μm , vorzugsweise 50 μm , gewählt wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver ein- oder mehrphasig gewählt wird. 10
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver Silizium und AlSi umfaßt. 15
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver Stoffe beinhaltet, welche eine geeignete Ausscheidung, wie beispielsweise Eisen, bilden. 20
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Legierungspulver Hartstoffe, wie beispielsweise Karbide, Nitride, Boride oder Oxide, umfaßt. 25
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserbrennpunkt oder Schmelzpunkt in einem vorbestimmten Muster über die Innenfläche geführt wird. 30
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserbrennpunkt mit einer Vorschubgeschwindigkeit ≥ 4000 mm/min bewegt wird. 35
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserbrennpunkt derart über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben mit Kolbenringen zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung geführt wird, daß sich in axialer Richtung ein vorbestimmter Abstand zwischen mit einer Laserspurbreite aufgeschmolzenen Bereichen der Oberfläche ergibt, wobei dieser Abstand gleich groß oder größer als eine Dicke der Kolbenringe gewählt wird. 40
45
50
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserbrennpunkt über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung geführt wird, wobei bis ca. 2 mm oberhalb eines OT des Kolbens in der Zylinderbohrung und bis ca. 2 mm unterhalb eines UT des Kol-

bens in der Zylinderbohrung beschichtet wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Laserbrennpunkt über die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Kurbelgehäuses für einen Kolben zum Ausbilden einer Lauffläche für den Kolben in der Zylinderbohrung geführt wird, wobei unterhalb eines UT des Kolbens in der Zylinderbohrung in einem Bereich eines Kolbenanschlages bzw. in einem Bereich in dem der Kolben seine Anlage wechselt, eine punktförmige, linienförmige oder flächenhafte Beschichtung ausgebildet wird.

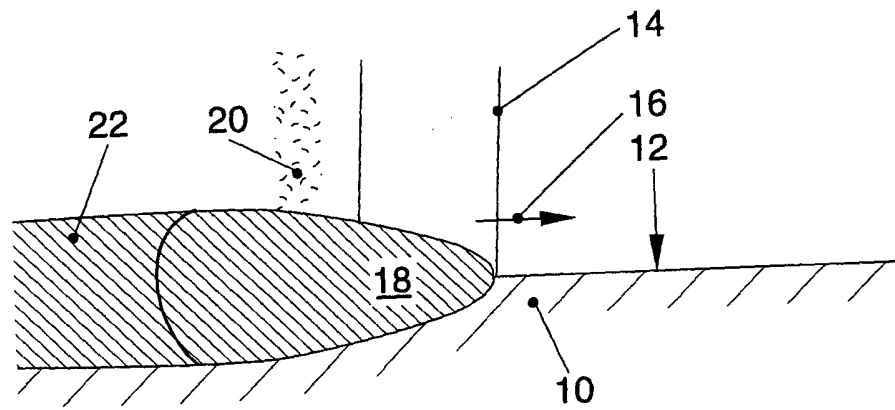


FIG. 1

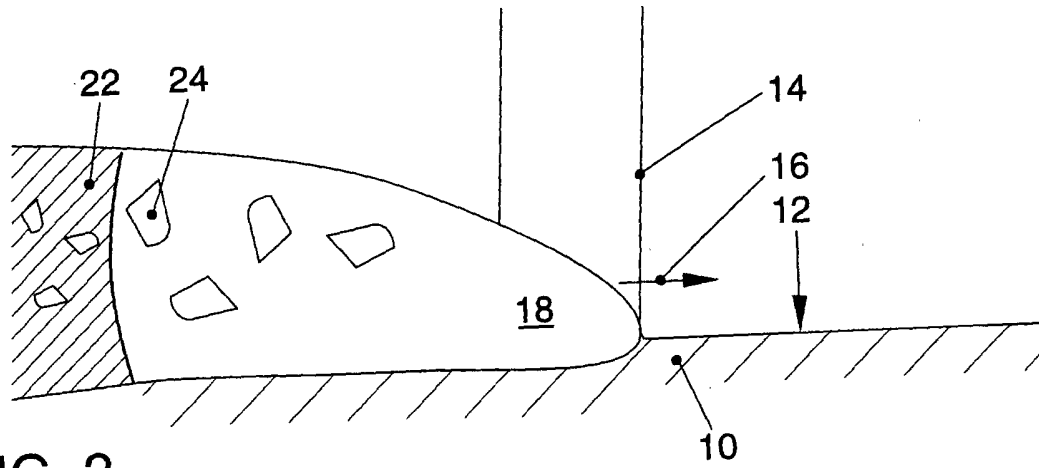


FIG. 2

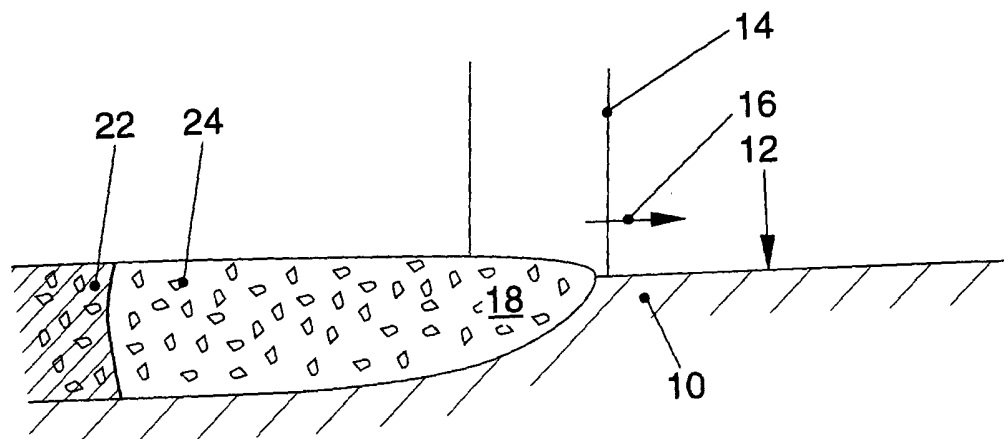


FIG. 3