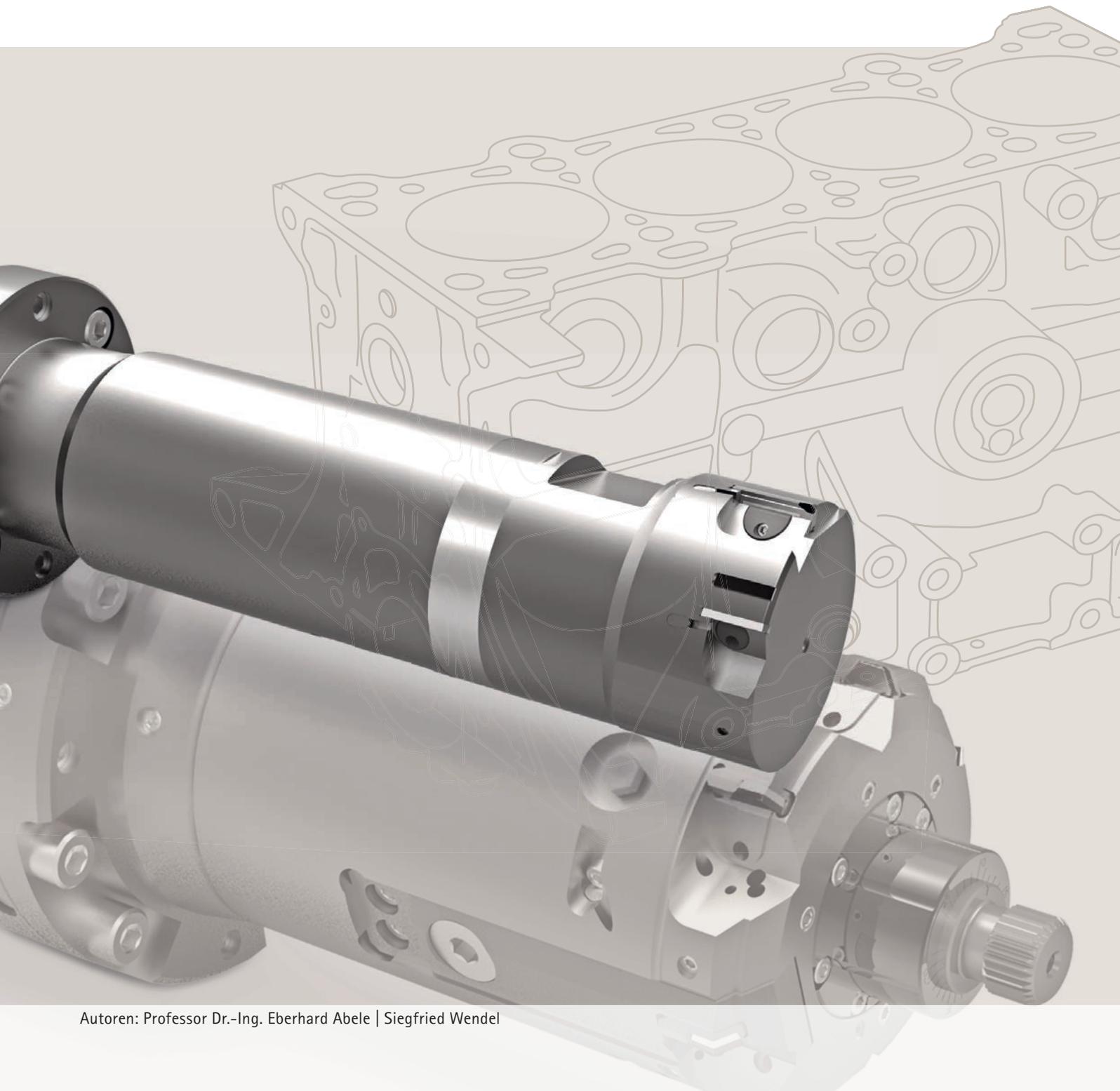


TECHNOLOGIE REPORT

05 | Thermische Spritzschichten wirtschaftlich bearbeiten



Motivation

Motivation

Um die europäischen und internationalen Klimaziele zu erreichen, wurden die Obergrenzen der Emissionen im PKW-Sektor verschärft. Dies führt zu einem Innovationsdruck seitens der Motorenentwicklung und -fertigung, Verbrennungsmotoren effizient zu gestalten beziehungsweise deren Wirkungsgrad zu erhöhen. Um diese Ziele zu erreichen, müssen alle Verbesserungspotentiale von Gewichtsersparnissen im gesamten Fahrzeug über Reibungsreduzierung im Antriebsstrang bis hin zu einer effizienteren Verbrennung genutzt werden. Allein die Reduzierung des Fahrzeuggewichts um 100 kg führt zu einer Reduzierung des Emissionsausstoßes um 8,5 g/km CO₂, was in etwa 0,3 Litern Benzin pro 100 km entspricht. Bei einer Laufleistung von 150.000 km über den Lebenszyklus des Fahrzeugs entspricht das immerhin 450 Litern. Zur Realisierung einer effizienteren Verbrennung ist in den letzten Jahren der Trend hin zu hoch aufgeladenen Motoren mit geringerem Hubraum und einer reduzierten Zylinderzahl zu beobachten – oftmals als Downsizing bezeichnet. Die damit einhergehenden Anforderungen an den Verbrennungsmotor wie ein erhöhter Verbrennungsdruck sowie insgesamt erhöhte

Temperaturen erfordern neue Konstruktionswerkstoffe [1]. Da wie oben erwähnt gleichzeitig Gewichtseinsparungen gefordert werden, kommen vermehrt Aluminiumwerkstoffe zum Einsatz. Zudem wird das Bauteildesign in Richtung eines minimalen Materialvolumens beziehungsweise minimalen Kolbenbohrungsabstands optimiert, wobei die Materialstärke zwischen den einzelnen Zylindern einen wichtigen Stellhebel darstellt. Eine Möglichkeit, die Forderung nach einem minimalen Bauteilvolumen mit einer Reibungsverminderung zwischen Zylinderlauffläche und Kolbenring zu kombinieren, stellen thermisch gespritzte Zylinderlaufflächen dar. Durch den Wegfall der aktuell eingesetzten Laufbuchse können Bauraum und Gewicht eingespart werden. Die direkte Aufbringung einer solchen Beschichtung erfordert jedoch eine spezielle Vorbehandlung, um eine ausreichende Haftung der aufgetragenen Schicht zu ermöglichen. In der Vergangenheit wurde dies in der Regel durch zeitintensive Strahltechnologien realisiert. Um die Produktivität an dieser Stelle zu erhöhen, bietet MAPAL eine Lösung zur mechanischen Aktivierung der Oberfläche. Diese Feinbohrtechnologie ermöglicht die

Index

INDEX

Motivation	2
Trends im Motorendesign	3
Beschichtungsverfahren	4
Lichtbogendrahtspritzen (LDS)	4
Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS)	5
Plasma Transferred Wire Arc (PTWA)	5
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)	6
Vorbereitung der zu beschichtenden Oberfläche	6
Nachbearbeitung thermisch gespritzter Schichten	9
Vorteile thermisch gespritzter Schichten	9
Zusammenfassung	10
Literaturverzeichnis	11
Impressum	11

Vorbereitung und Aktivierung der Zylinderbohrung auf der gleichen Maschine. Ein spezielles Werkzeugdesign realisiert die Erzeugung von feinen Hinterschnitten auf der Oberfläche, wodurch die Schichthaftung deutlich erhöht werden kann.

Nach dem Beschichtungsprozess folgt in der Regel ein zweistufiger Honprozess, der die geforderte Oberfläche, bestehend aus Riefen zur Ölhaftung und Plateaus zur Erzeugung des Traganteils, erzeugt. Auch hier bietet MAPAL ein System mit geometrisch definierter Schneide an, das den Prozess des Vorhons durch einen Fein-

bohrprozess substituiert. Werden diese beiden Technologien eingesetzt, kann die Produktivität in der Fertigung bei gleichzeitiger Verbesserung der Funktionalität des Bauteils gesteigert werden.

Im Folgenden werden neben Trends im Motorenbau zunächst die wichtigsten Beschichtungsverfahren im Bereich der Zylinderlauffläche vorgestellt. Zudem wird auf die oben genannten Technologien eingegangen, um einen Einblick in deren Funktionsweise und Potentiale zu geben.

Motivation

Trends im Motorendesign

Der Einsatz von leichtgewichtigen Aluminiumlegierungen für Kurbelgehäuse erfordert aufgrund hoher Anforderungen an die Zylinderlaufflächen spezielle Lösungen, da diese in der Regel keine ausreichenden tribologischen Eigenschaften hinsichtlich Reibung und Verschleiß aufweisen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, stehen drei verschiedene Bauarten des Aluminium-Kurbelgehäuses zur Verfügung:

- **heterogene Bauart**
- **monolithische Bauart**
- **quasi-monolithische Bauart**

Bei der heterogenen Bauart des Kurbelgehäuses werden Zylinderlaufbuchsen aus Gusseisen in das Aluminium-Kurbelgehäuse eingesetzt oder eingegossen [2]. Eine monolithische Bauart stellt einen vollständigen Verzicht auf Zylinderlaufbuchsen dar und ist nur unter Verwendung spezieller Legierungen (übereutektische Al-Si-Legierungen mit harten Siliziumkristallen) möglich, welche wiederum erhöhte Anforderungen an die spanende Bearbeitung stellen. Die quasi-monolithische Bauart verzichtet, wie die monolithische Bauart, auf Zylinderlaufbuchsen und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen an die Zylinderlauffläche auch bei Verwendung konventioneller (untereutektischer) Aluminiumlegierungen des Kurbelgehäuses. Dies wird durch eine Beschichtung der Zylinderlauffläche sowie lokales Werkstoff-Engineering erreicht. Welche Bauart verwendet wird, leitet sich aus den Leistungsanforderungen an den Motor ab. So werden heute im PKW-Bereich die Zylinderlaufbuchsen aufgrund der relativ geringen Laufleistung und der dadurch

entfallenden Notwendigkeit einer Austauschbarkeit eingegossen (heterogene Bauart). Diese heterogene Bauart des Kurbelgehäuses gewährleistet eine hervorragende Wärmeabfuhr aus dem Zylinderraum [2]. Die aufgerauten Buchsen werden in eine Gussform eingelegt und mit einer Aluminium-Legierungsschmelze umgossen. Anschließend werden sie feingeböhrt und gehont. Das Honen stellt einen letzten, wichtigen mechanischen Bearbeitungsschritt dar und lässt sich bislang nicht substituieren. Dabei entsteht durch Überlagerung einer rotatorischen und einer translatorischen Bewegung des Werkzeuges ein Netz von sich kreuzenden Riefen in der Oberfläche der Zylinderlauffläche, welche für die Erzeugung des Schmierfilms notwendig sind. Nach dem Honen der Buchsen weisen diese schließlich eine Wanddicke von bis zu 4 Millimeter auf. Als Werkstoff für die Zylinderlaufbuchsen wird überwiegend Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) oder bei höherer Beanspruchung Gusseisen mit Vermiculargrafit (GJV) verwendet [2]. Zudem kommen beschichtete oder unbeschichtete Aluminiumlegierungen sowie einfache Baustähle zur Anwendung. Der Einsatz von Buchsen hat den Vorteil geringer Kosten sowie eines hohen Verschleißwiderstands. Jedoch rückt man durch diesen Ansatz von der ursprünglichen Intention der Gewichtsreduzierung und kompakteren Bauweise ab. Daher kommt vermehrt die quasi-monolithische Bauart zum Einsatz, welche die guten tribologischen Eigenschaften einer Laufbuchse mit der Möglichkeit einer deutlichen Gewichtsersparnis verbindet. Die dabei zum Einsatz kommenden Beschichtungsverfahren werden im Folgenden vorgestellt.

Trends im Motorendesign

¹ Vgl. „Die EU-Verordnung zur Verminderung der CO₂ – Emissionen von Personenkraftwagen“

² Vgl. „Volkswagen Nachhaltigkeitsbericht 2013“

Beschichtungsverfahren

Beschichtungsverfahren

Aufgrund hoher Herstellungskosten und hoher Substrattemperaturen kommen CVD- und PVD-Verfahren für eine Serienanwendung nicht in Frage [3]. Auch galvanische Verfahren (z.B. Nikasil) werden trotz eines hohen Variantenreichtums und niedriger Substrattemperaturen aufgrund von langen Zykluszeiten, hohen Kosten und geringer Umweltverträglichkeit zunehmend durch

thermische Verfahren substituiert [3]. Der Trend bei der Beschichtung von Zylinderlaufflächen geht damit eindeutig in Richtung der thermischen Spritzverfahren. Das Funktionsprinzip thermischer Spritzverfahren wird nachfolgend eingehender beschrieben. Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die gängigen Beschichtungsverfahren.

Beschichtungsverfahren		
Thermisches Spritzen	Galvanische Verfahren	Sonstige
Lichtbogendrahtspritzen (LDS)	NIKASIL	Physical Vapour Deposition (PVD)
Atmosphärisches Plasmaspritzen (ASP)	CROMAL	Chemical Vapour Deposition (CVD)
Plasma Transferred Wire Arc (PTWA)		
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)		

Abbildung 1: Übersicht Beschichtungsverfahren

Lichtbogendrahtspritzen (LDS)

Lichtbogendrahtspritzen (LDS)

Das Lichtbogendrahtspritzen wird bereits von großen Automobilherstellern wie Daimler und BMW in der Serienproduktion eingesetzt [4, 5]. Bei diesem Verfahren werden zwei Drähte unter elektrischer Spannung in die Spritzpistole gefördert. Beim Zusammentreffen der Drähte im vorderen Teil der Pistole entsteht ein Lichtbogen. Dieser schmilzt die Drähte vollständig auf, und die aufgeschmolzenen Partikel werden mittels eines Zerstäubergases (Luft, Stickstoff oder Argon) mit hoher Geschwindigkeit auf die zu beschichtende Oberfläche geschleudert [6]. So können nahezu alle elektrisch leitenden Drähte aufgeschmolzen und aufgespritzt werden. Darüber hinaus ist es möglich, Fülldrähte zur Erzeugung verschie-

derer Legierungen oder zum Einbringen von Hartstoffen (Carbide) einzusetzen. Die Flexibilität zeigt sich auch im Einsatz des Verfahrens unabhängig vom Herstellprozess des Kurbelgehäuses. So können Kurbelgehäuse aus Druck-, Kokillen- oder Sandguss mit LDS beschichtet werden. Die Auftragungsraten für LDS im Allgemeinen (nicht explizit für Zylinderlaufflächenbeschichtung) sind im Vergleich zu anderen thermischen Spritzverfahren relativ hoch und liegen im Bereich von 6–8 kg/h [6]. Die erreichbaren Wanddicken bei der Zylinderlaufflächenbeschichtung liegen je nach Anwender bei bis zu 0,3 Millimeter [7]. Abbildung 2 veranschaulicht den Prozess des Lichtbogendrahtspritzens.

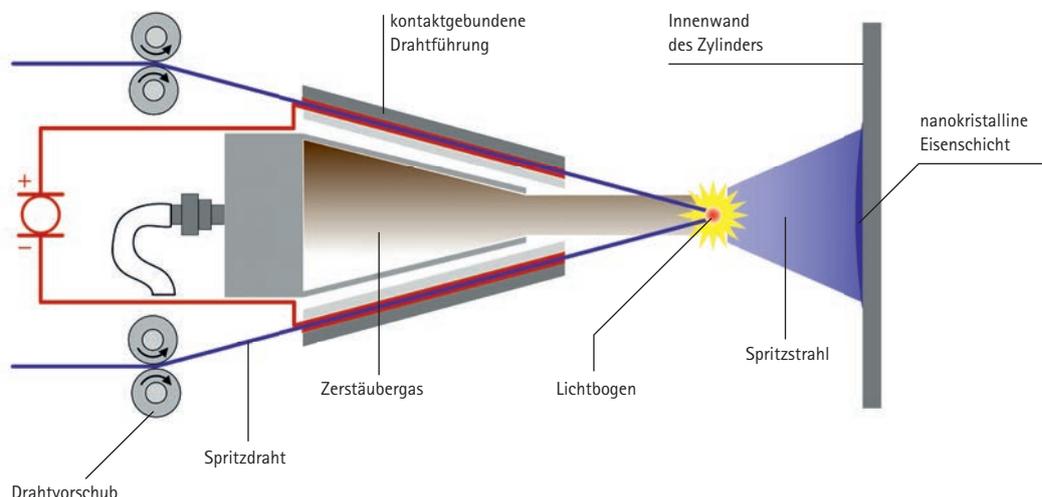


Abbildung 2: Lichtbogendrahtspritzen LDS, eigene Darstellung in Anlehnung an [9]

Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS)

Dieses Verfahren nutzt einen rotierenden Plasmabrenner zur Beschichtung von Zylinderlaufflächen und wurde von Sulzer Metco entwickelt [8]. Die Beschichtungseinheit mit dem Namen RotaPlasma sowie das Gesamtpaket für die Zylinderlaufflächenbeschichtung namens SUMEBore wird bereits in der Serienproduktion von VW und Bugatti eingesetzt und besteht aus einer Reinigung, einer Oberflächenaktivierung sowie dem Honprozess [8, 9]. Bei diesem Verfahren wird im Plasmabrenner ein gebündelter Plasmastrahl mit hoher Geschwindigkeit erzeugt und auf der Austrittsseite des Brenners ein pulverförmiger Werkstoff zugeführt, aufgeschmolzen und auf die Beschichtungs-

oberfläche gespritzt (Abbildung 3). Der Plasmastrahl entsteht beim Führen der Gase (Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff oder deren Gemische) durch einen permanent brennenden Lichtbogen. Die Zufuhr von Werkstoffen in Form von Pulver sowie Temperaturen des Plasmas von bis zu 20.000 °C erlauben eine hohe Flexibilität bezüglich der Wahl der Werkstoffe [10, 11]. Durch diese Technologie können von niedriglegierten Kohlenstoffstählen über Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe bis hin zu reinen Keramiken verschiedenste Werkstoffe aufgespritzt werden. Typische Schichtdicken mit SUMEBore liegen im PKW-Bereich bei 0,12 Millimeter [8].

Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS)

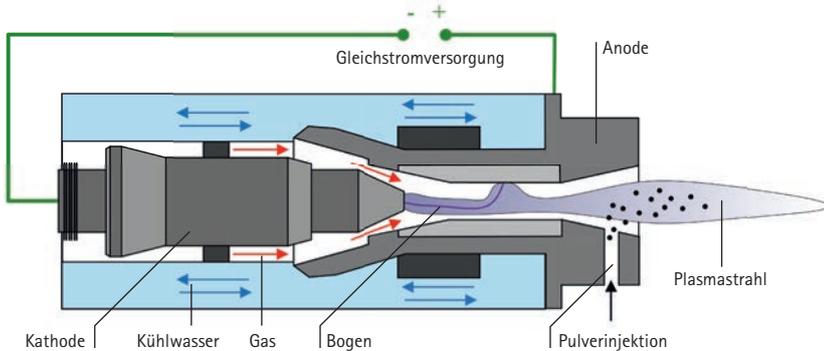


Abbildung 3: Atmosphärisches Plasmaspritzen, eigene Darstellung in Anlehnung an Sulzer Metco

Plasma Transferred Wire Arc (PTWA)

Plasma Transferred Wire Arc wurde ursprünglich von Flame-Spray Industries in Kooperation mit Ford entwickelt und stellt heute ebenfalls ein in der Industrie eingesetztes Verfahren zur Zylinderlaufflächenbeschichtung dar. Die Honsel AG sowie GTV vertreiben dieses Verfahren kommerziell und setzen es bereits in der Serie bei Ford und bei Nissan ein [3, 9]. In der Nähe des Plasmaaustritts wird dem Plasmastrahl ein Spritzzusatzwerkstoff in Form eines Drahts seitlich zugeführt. Der Gasstrom aus Argon und Wasserstoff wird mit hoher Geschwindigkeit entlang der Wolframkathode geführt. Das Plasma wird durch eine Hochspannungsentladung erzeugt und zum Draht hin transportiert, wobei der elektrische Kreis

durch den als Anode dienenden Draht geschlossen wird. Der Draht wird durch eine hohe Stromstärke (65-90 Ampere) widerstandserhitzt und beim Aufprall des Plasmastrahls aufgeschmolzen und zerstäubt. Der so erzeugte Plasmabrenner wird nun auf einer rotierenden Spindel angebracht und kann zur Beschichtung von Zylinderlaufflächen eingesetzt werden [9]. Das PTWA-Verfahren der Honsel AG kann unabhängig vom verwendeten Gießverfahren des Aluminium-Zylinderkurbelgehäuses eingesetzt werden [3]. Die Auftragungsraten liegen bei 4 kg/h [13]. Die aufgetragene Schicht weist nach dem Honen eine Dicke von 0,15 Millimeter auf.

Plasma Transferred Wire Arc (PTWA)

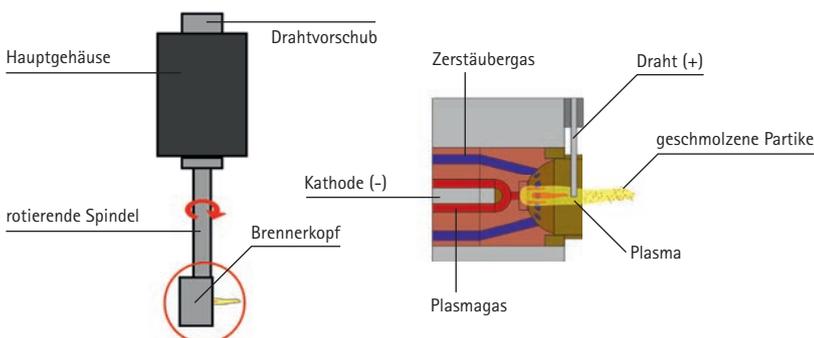


Abbildung 4: Plasma Transferred Wire Arc (PTWA), eigene Darstellung in Anlehnung an [9]

Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)

Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)

Bei dem Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen wird ein pulverförmiger Werkstoff in eine Flamme aus Propan, Propen, Acetylen, Wasserstoff oder Erdgas sowie flüssigen Brennstoffen wie Kerosin injiziert. Charakteristisch für diesen Prozess sind Temperaturen von 2.500–3.200°C sowie sehr hohe Geschwindigkeiten der Gasstrahl-Strömung hinter der Expansionsdüse von bis zu 2.000 m/s (somit die höchste unter alle thermischen Spritzverfahren) [10, 11, 14]. Die hohe kinetische Energie der Partikel führt zu einer dichten Struktur mit geringer Porosität. Die thermische Energie der Pulverteilchen bleibt dagegen vergleichsweise gering, wodurch die Beschichtungseigenschaften begünstigt und der Wärmeübertrag an das Substrat reduziert werden. Das Verfahren ist außerdem charakterisiert durch höchste Bindungskräfte

sowie durch höchste Härte der aufgetragenen Schicht [10]. Nach Angaben der Sulzer Metco AG kann es jedoch aufgrund der Abhängigkeit von der Temperatur der Flamme und des verwendeten Brennstoffs sowie aufgrund des geringen Abstandes zum Substrat während des Beschichtungsprozesses trotz der geringen thermischen Energie der Pulverteilchen zu einem Überhitzen des Zylinderblocks kommen. Hinsichtlich der Wahl des pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffes besteht eine hohe Flexibilität. Mit HVOF können geringe Schichtdicken mit hoher Güte erreicht werden [15]. Das Verfahren befindet sich jedoch derzeit noch in der Entwicklung und wird bislang nicht in der Serienproduktion von Zylinderlaufflächenbeschichtungen eingesetzt [3].

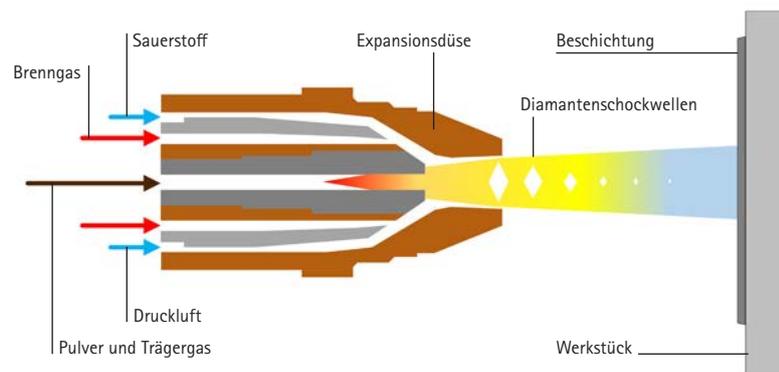


Abbildung 5: Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF), eigene Darstellung in Anlehnung an [10]

Vorbereitung der zu beschichtenden Oberfläche

Vorbereitung der zu beschichtenden Oberfläche

Bevor die Schicht aufgetragen werden kann, muss die zu beschichtende Oberfläche durch einen Aufräuprozess aktiviert werden. Dies stellt eine Voraussetzung für das Haften der aufgespritzten Partikel auf der Zylinderlauffläche dar. Zur Oberflächenaktivierung stehen zahlreiche Verfahren mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen zur Verfügung:

- Korundstrahlen
- Hochdruckwasserstrahlen
- Mechanische Aktivierung
- Chemische Aktivierung
- Aufrauen der Oberfläche mittels Laser

Das Korundstrahlen ist dabei das bisher am häufigsten in der Industrie eingesetzte Verfahren. Das Hochdruckwasserstrahlen hingegen wird teilweise in Verbindung mit LDS eingesetzt, obwohl es als sehr aufwändig gilt und mit hohen Anlagen- und Betriebskosten verbunden ist [12]. Ein bedeutender Nachteil der chemischen Behandlung ist die Entsorgung von Flussmitteln. Die mechanische Aktivierung mit geometrisch bestimmter Schneide weist im Vergleich zu anderen Verfahren wesentliche Vorteile auf. Abbildung 6 zeigt anschaulich die charakteristische Oberflächenstruktur der gängigen Verfahren. Die mechanische Aktivierung stellt dabei das einzige Verfahren dar, das eine geometrisch definierte Oberfläche erzeugt.

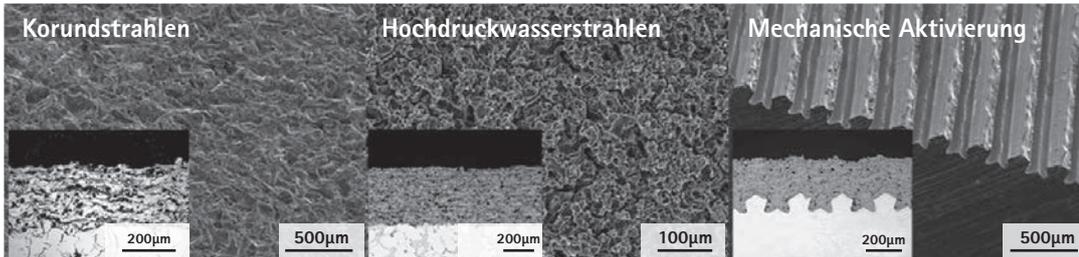


Abbildung 6: Oberflächenaktivierungen. Quelle: [12]

Die mechanische Aktivierung wird der Verfahrensgruppe Feinbohren zugeordnet und kann somit im Bearbeitungszentrum in der gleichen Werkstückaufspannung wie das vorausgehende Feinbohren erfolgen [16]. Die mechanische Aktivierung ermöglicht eine einfache und kosteneffektive Integration des Aufraprozesses in die Serienproduktion bei vergleichsweise kurzen Zykluszeiten. Zudem wird eine im Gegensatz zu Wasser- oder Korundstrahlen erhöhte Prozesssicherheit durch die Verwendung von geometrisch bestimmten Schneiden bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Energieeffizienz und Umweltfreundlichkeit erreicht. Auch der Einfluss wechselnder Werkstoffeigenschaften wird durch die Verwendung einer geometrisch bestimmten Schneide minimiert. Eine optische Kontrolle auf Schneidenbruch und Werkzeugverschleiß ist in diesem Prozess nötig. Dies stellt jedoch gleichzeitig die geforderte Bearbeitungsqualität sicher.

Verfahren und Werkzeuge zum mechanischen Aufrauen der Oberfläche für das im Anschluss erfolgende thermische Spritzen werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Während die Werkzeuge Unterschiede hinsichtlich des Aufbaus aufweisen, so ähneln sie sich im Funktionsprinzip sowie in der Topologie der entstehenden Oberfläche. Die Werkzeuge erzeugen ein Profil mit Nuten, Stegen sowie Hinterschneidungen, eine sogenannte schwalbenschwanzartige Struktur auf der gesamten zu beschichtenden Oberfläche und ermöglichen dadurch optimale Haftbedingungen für die Spritzschicht.

Am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) der Technischen Universität Braunschweig wurde ebenfalls ein Verfahren und Werkzeug zur mechanischen Aktivierung der Oberfläche mit geometrisch bestimmter Schneide entwickelt und patentiert. Auch mit diesem Werkzeug kann eine schwalbenschwanz-

förmige Oberflächenstruktur erzeugt werden. Bei dem Werkzeug handelt es sich um eine konventionelle Schneidplatte, in welche ein PKD-Insert eingelötet ist. Das PKD-Insert besteht wiederum aus zwei gegenseitig orientierten Einzelschneiden, welche durch einen Erodierprozess eingebracht werden (vergleiche Abbildung 7) [16]. Das Feinspindeln der Zylinderbohrung erfolgt zunächst mit einem separaten Werkzeug in einem vorgelagerten Arbeitsschritt. Durch die Überlagerung der Zerspaltung beider Einzelschneiden des entwickelten Werkzeugs ergibt sich bei konstantem Vorschub die typische schwalbenschwanzförmige Oberflächenstruktur mit Hinterschneidungen. Durch Untersuchungen der Haftzugfestigkeit konnte eine optimale Schnitttiefe von 100 µm ermittelt werden, wobei ein Minimum von 75 µm Schnitttiefe für eine ausreichende Haftung erforderlich ist. Bei optimaler Schnitttiefe konnte ein Zugfestigkeitswert von 60 MPa erreicht werden [16]. Die Schnittzeit beträgt in Abhängigkeit von der Länge der Zylinderlaufbohrung sowie der Aluminiumlegierung 10 bis 20 Sekunden. Im Vergleich zu konventionellen Strahlverfahren stellt dies noch immer eine deutliche Verbesserung dar [16].

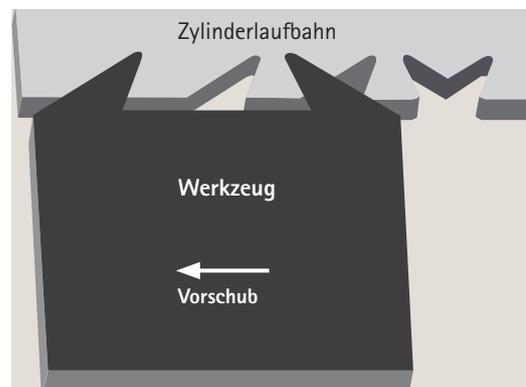


Abbildung 7: Fertigung des Aufraprofils mit Wendeplattenwerkzeug. Quelle: [16]

Vorbereitung der zu beschichtenden Oberfläche

Vorbereitung der zu beschichtenden Oberfläche

Das Werkzeugkonzept von MAPAL führt den Aufrauprozess in einem Arbeitsgang aus. Im ersten Verfahrensschritt wird der Zylinderdurchmesser feingspindelt. Anschließend wird mit einer Kammschneide ein Rechteckprofil erzeugt, bevor im dritten Verfahrensschritt das Rechteckprofil mit einer Umformkugel abgeflacht und auf diese Weise eine Hinterschneidung erzeugt wird. Abbildung 8 zeigt das Aufrauwerkzeug mit zwei Schneiden (1 und 2) und einer Umformkugel (3). Die Struktur der Oberfläche (Tiefe, Breite von Nut und Hinterschnittwinkel) lässt sich durch Auswahl des Werkzeuges sowie durch Einstellung der Prozessparameter wie beispielsweise Vorschub flexibel an das jeweilige Beschichtungsverfahren anpassen (vergleiche Abbildung 9). Dabei können die Profiltiefe im Bereich von 70-120 µm und

der Abstand der Nuten im Bereich von 0,3-0,45 Millimeter variiert werden. Als Schneidstoff kommt polykristalliner Diamant (PKD) zum Einsatz. Die Taktzeit mit dem Verfahren beträgt zwischen 7,5 und 11 Sekunden. Das Hochdruckwasserstrahlen benötigt im Vergleich in der Regel 30 - 40 Sekunden. Die Qualität der erzeugten Struktur wird dadurch gesichert, dass die Schneiden vor und nach der Bearbeitung vermessen und mit den Bahn- oder Maschinendaten verrechnet werden. Durch den Erwerb eines Grundlagenpatents zum mechanischen Aufrauen der Zylinderlaufflächen vor dem Thermischen Spritzen kann MAPAL zudem seinen Kunden technisch und vor allem rechtlich sichere Lösungen anbieten. Das Grundlagenpatent schützt dabei Nuten sowie gewindeähnliche Profile mit Hinterschneidungen.



Abbildung 8: Aufrauwerkzeug. Quelle: MAPAL

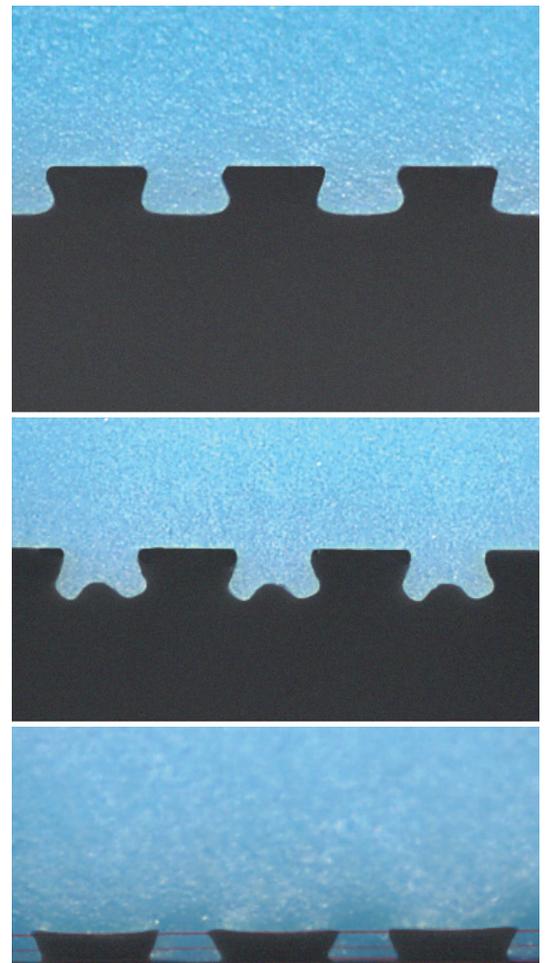


Abbildung 9: Aufrauprofil. Quelle: MAPAL

Nachbearbeitung thermisch gespritzter Schichten

Nach dem Beschichtungsprozess erfolgt die Fertigbearbeitung der Zylinderlauffläche durch das Honen. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen die Parameter des Honverfahrens an die jeweilige Beschichtungstechnologie angepasst sein. Dieser Prozessschritt ist von besonderer Bedeutung, da durch das Honen die wesentlichen Eigenschaften der Schicht definiert werden. Durch das thermische Spritzen entstandene Mikroporen dürfen nicht durch den Prozess geschlossen werden, sondern müssen über den Honprozess freigelegt werden [8]. Diese Poren sind essentiell, da sie als Ölreservoirs dienen und die tribologischen Eigenschaften maßgeblich bestimmen. Damit stellen sie das Pendant zu den Riefen der klassischen Zylinderlauffläche dar.

Um die gewünschte Struktur der Zylinderlauffläche bestehend aus Plateaus mit sehr hohem Traganteil sowie mit einzelnen Riefen zur Ölhaftung zu erreichen, besteht der klassische Honprozess in der Regel aus dem Vorhonen und dem Fertighonen (Feinhonen). Durch das

Vorhonen entsteht zuerst eine raue Oberfläche mit Riefen und Spitzen. Diese Spitzen werden anschließend durch das Feinhonen abgeflacht, wodurch eine Plateaustruktur erreicht wird. Während für das Feinhonen bisher keine Alternativen angeboten werden, kann das Vorhonen durch das Feinbohren substituiert werden. Hierfür bietet MAPAL ein Werkzeug zum Schruppdrehen mit geometrisch bestimmter Schneide an, welches mit PcBN-Schneiden bestückt ist (Abbildung 10). Die optimalen Prozessparameter beim Einsatz des Werkzeugs zeigen eine starke Abhängigkeit vom verwendeten Beschichtungsverfahren. Das Werkzeug verfügt darüber hinaus über eine Verschleißkompensation sowie über einen kühlmittegesteuerten Aussteuermechanismus. Die Kombination aus Verschleißkompensation sowie der Verwendung von fünf- oder sechsschneidigen Werkzeugen ermöglicht es, dass mit einem Werkzeug etwa 1.000 bis 1.500 Bohrungen bearbeitet und die von der Industrie geforderten Taktzeiten eingehalten werden.

Nachbearbeitung
thermisch gespritzter
Schichten



Abbildung 10: MAPAL Aussteuerwerkzeug

Vorteile thermisch gespritzter Schichten

Durch den Einsatz thermisch gespritzter Schichten konnten bereits Gewichtsreduzierungen von über 4 Kilogramm pro Motor von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Beschichtungsverfahren erreicht werden [17]. Darüber hinaus ergeben sich durch die Mikroporen in der thermisch gespritzten Schicht verbesserte tribolo-

gische Eigenschaften, welche zu geringeren Reibwerten und höherer Verschleißbeständigkeit führen. Dies wirkt sich positiv auf den Kraftstoff- und Ölverbrauch aus und ermöglicht somit geringere Schadstoffemissionen der Fahrzeuge von morgen.

Vorteile thermisch
gespritzter Schichten

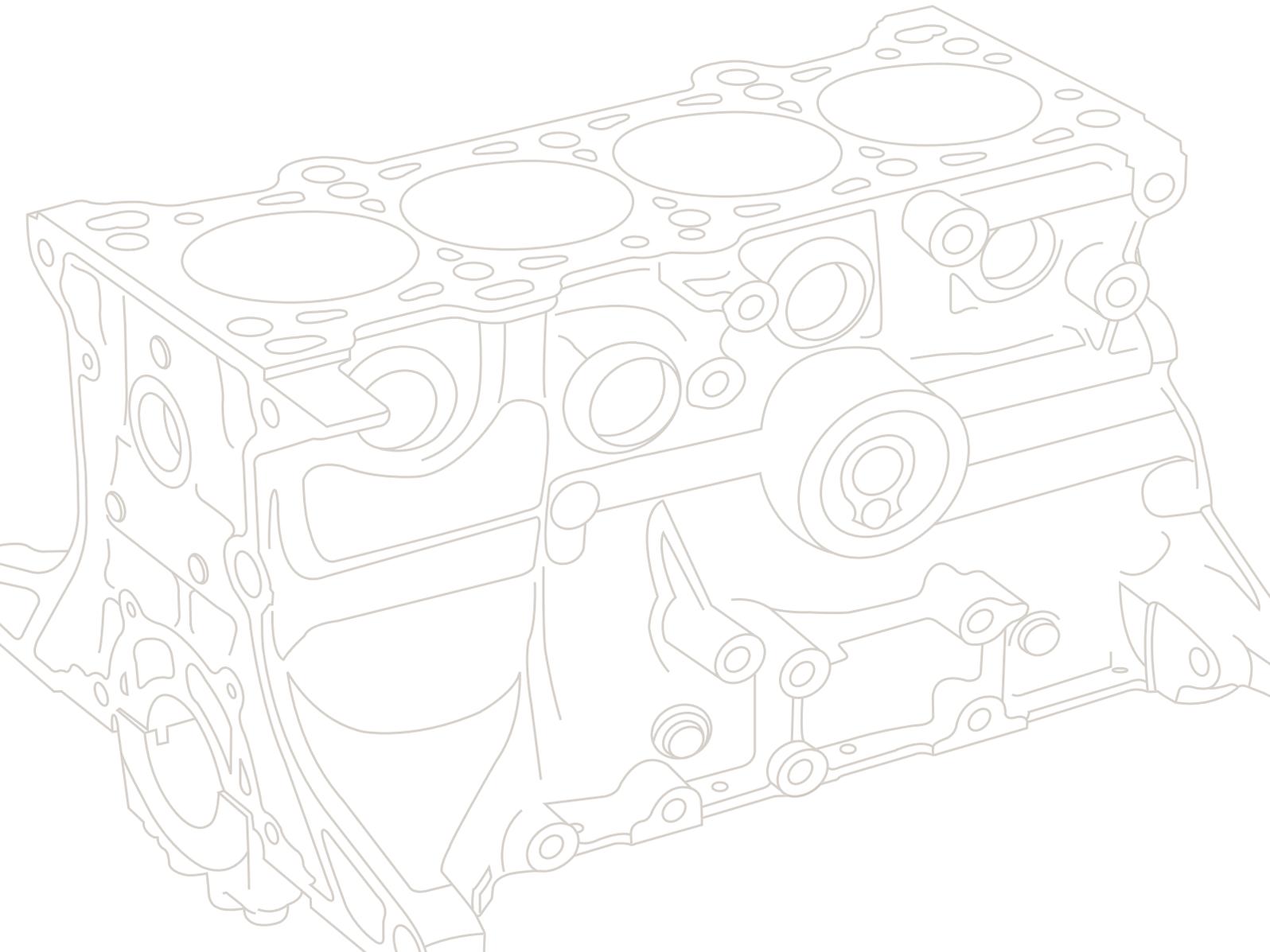
Zusammenfassung

Zusammenfassung

Zur Erfüllung der internationalen Klimaziele sind Automobilhersteller mit ständig steigenden Emissionsrichtlinien konfrontiert. Diese erfordern immer effizientere Verbrennungsmotoren bei gleichzeitig steigenden Leistungsansprüchen der Kunden. Diesem Zielkonflikt wird mit kleinen, hoch aufgeladenen Motoren seitens der Hersteller begegnet, die zudem gewichtsoptimiert und reibungsreduziert ausgeführt sind. Hierfür sind neue Fertigungstechnologien unabdingbar.

Eine Möglichkeit der Gewichtsreduktion besteht in der Anwendung des thermischen Spritzens zur Beschichtung der Zylinderlauffläche. Durch die reduzierte Schichtdicke und die direkte Schichtauftragung auf das Grundmaterial können die Zylinderbohrungen näher beieinander positioniert werden, wodurch der gesamte Motorblock kleiner und leichter wird. Wird diese Technologie mit einer effizienten Nachbearbeitung kombiniert, können die Fertigungszeiten verkürzt und die Laufeigenschaften des Motors verbessert werden.

MAPAL hat hierfür eine spezielle Technologie mit geometrisch definierter Schneide entwickelt, die zum einen die Aktivierung der Oberfläche vor dem Beschichtungsprozess ermöglicht und zum anderen die Prozesskette der Nachbearbeitung vereinfacht. Die zu beschichtende Oberfläche wird mit einem Feindrehprozess dahingehend bearbeitet, dass ein feinstrukturiertes Oberflächenprofil entsteht. Die besondere Struktur erzeugt Hinterschnitte, die eine optimale Haftung der Schicht ermöglichen. Allein durch diese Technologie konnte die Fertigungshauptzeit pro Zylinderbohrung in diesem Prozessschritt um mehr als 50% reduziert werden. Zusätzlich konnte das Vorhonen durch einen Feindrehprozess ersetzt werden, wodurch der Prozessschritt auf einem konventionellen Bearbeitungszentrum durchgeführt werden kann. Die Umsetzung der genannten Technologien führt zu einer Steigerung der Produktivität und Gewichtsreduzierungen von über 4 kg pro Motor bei einer Verbesserung der Laufeigenschaften.



Literaturverzeichnis

- [1] E. Abele, P. Pfeiffer: Automobilantriebe und Auswirkungen auf die zerspanende Industrie. Maschinenbau und Metallbearbeitung, Kuhn Verlag, Villingen-Schwenningen, 2013
- [2] Mahle GmbH: Zylinderkomponenten – Eigenschaften, Anwendungen, Werkstoffe. ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieweg+Teubner, ISBN 978-3-8348-0437-2, 2009
- [3] B. Gand: Beschichtung von Zylinderlaufflächen in Aluminium-Kurbelgehäusen. MTZ Motortechnische Zeitschrift, Springer Fachmedien Wiesbaden, pp 128-133, 02/2011
- [4] F. Steinparzer, N. Klauer, D. Kannenberg, H. Unger: Der Neue Aufgeladene 2,0-l-vierzylinder-Ottomotor von BMW. MTZ – Motortechnische Zeitschrift, Springer Fachmedien Wiesbaden, Volume 72, Issue 12, pp 928-937, 2011
- [5] J. König, M. Lahres, O. Methner: Quality Designed Twin Wire Arc Spraying of Aluminum Bores. Journal of Thermal Spray Technology, 2014
- [6] K. Bobzin: Oberflächentechnik für den Maschinenbau. Wiley-VCH Verlag, ISBN 978-3-527-33018-8, 2013
- [7] F. Steinparzer, T. Brüner, Prof. Dr. C. Schwarz, M. Rülcke: Die neuen Drei- und Vierzylinder-Ottomotoren von BMW, MTZ – Motortechnische Zeitschrift, Springer Fachmedien Wiesbaden, Volume 75, Issue 6, pp 30-37, 2014
- [8] P. Ernst, K. Fetcher: SUMEBore – thermally sprayed protective coatings for cylinder line surfaces. Sulzer Metco, 2011
- [9] J. M. Bordes: Steel coating application for engine block bores by Plasma Transferred Wire Arc spraying process (PTWA). Normandy Motor Meetings, 5.-6.02.2014, Zenith de Rouen
- [10] Oerlikon Metco: An Introduction to Thermal Spray. Issue 5, 10/2014
- [11] H. E. Friedrich: Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. ATZ/MTZ-Fachbuch, Springer Fachmedien Wiesbaden, ISBN 978-3-8348-1467-8, 2013
- [12] P. Ernst, B. Distler, G. Barbezat: SUMEBore – Beschichtungslösungen für Zylinderlaufflächen. Thermal Spray Bulletin 4, pp 26-29, 2011
- [13] K. Bobzin, F. Ernst, K. Richardt, T. Schlaefer, C. Verpoort, G. Flores: Thermal spraying of cylinder bores with the Plasma Transferred Wire Arc process. Science Direct Surface & Coatings Technology 202, pp 4438-4443, 2008
- [14] H.J. Fahrenwaldt, V. Schuler, J. Twrdek, Praxiswissen Schweißtechnik. ISBN 978-3-658-03141-4_8, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014
- [15] A. Kulkarni, J. Gutleber, S. Sampath, A. Goland, W.B. Lindquist, H. Herman, A.J. Allen, B. Dowd: Studies of the microstructure and properties of dense ceramic coatings produced by high-velocity oxygen-fuel combustion spraying. Materials Science and Engineering A369, pp 124-137, 2004
- [16] H.-W. Hoffmeister, C. Schnell, B. Kuttkat: Zylinderlaufflächen einfach und schnell aufrauen. MM Maschinenmarkt, 2010
- [17] W. Zanker, P. Zollino: Mercedes-Benz Innovation: NANOSLIDE für weniger Verbrauch. Daimler Communications, Presse-Information, 2011

Literaturverzeichnis

Impressum

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

ist Geschäftsführender Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, PTW der TU Darmstadt
info@ptw.tu-darmstadt.de

Siegfried Wendel

ist Vertriebsleiter Europa der MAPAL Gruppe, Aalen.
siegfried.wendel@de.mapal.com

Herausgeber:

MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG
 Postfach 1520 | 73405 Aalen
 Telefon 07361 585-0 | Telefax 07361 585-1029
info@de.mapal.com | www.mapal.com

Impressum

Verantwortlich für den Inhalt: Andreas Enzenbach
 © MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG
 Nachdruck, auch auszugsweise, nur nach Genehmigung des Herausgebers.



Bisher erschienen:

TECHNOLOGIE REPORT

- 01 | Interpolationsdrehen
- 02 | Energieeffizienz
- 03 | Minimalmengenschmierung
- 04 | Trochoides Fräsen
- 05 | Thermische Spritzschichten