

# SUMEBore – Beschichtungslösung für Zylinderlaufflächen

## SUMEBore - Coating solution for cylinder liner surfaces



Dr.-Ing. Peter Ernst, Dipl.-Ing. (FH) Bernd Distler, Sulzer Metco AG, Wohlen, Schweiz; Gérard Barbezat, Barbezat Consulting, Winterthur, Schweiz

### Zusammenfassung

Steigende Treibstoffpreise und verschärfte Anforderungen im Bereich der Fahrzeugemissionen, wie Stickoxide, Feinstaub und Kohlenstoffdioxid erhöhen den Druck auf die Motorenbauer, Technologien einzusetzen, die zu einer Reduktion der Emissionen beitragen. In diesem Zusammenhang ist das Interesse an Laufflächenbeschichtungen in den letzten zwei Jahren deutlich gestiegen, auch an der SUMEBore-Beschichtungslösung von Sulzer Metco. Der pulverbasierte APS- Prozess ist sehr flexibel und kann auch Werkstoffe verarbeiten, welche drahtbasierten Verfahren nicht zugänglich sind, insbesondere Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe und reine Keramiken.

### 1. Einleitung

Bereits Anfang der 90er-Jahre hatte Sulzer Metco mit der Entwicklung von rotierenden APS-Plasmabrennern begonnen, um Zylinderlaufflächen in Motorblöcken zu beschichten. Das eigentliche Herzstück bildete dabei die Drehvorrichtung für die angeschlossenen Brenner, mit den Drehdurchführungen für sämtliche Prozessmedien wie Pulver, Kühlwasser, Plasmagase und Pressluft. Diese Vorrichtung ist heute unter dem Namen RotaPlasma im Markt bekannt und wird bei verschiedenen Kunden von Sulzer Metco eingesetzt.

Über viele Jahre wurde die Anlagentechnik verfeinert und es wurden neue Materialien entwickelt, welche auf die vielfältigen Anforderungen an die Zylinderlaufflächen zugeschnitten sind wie niedrige Reibung, hohe Verschleiss- und Korrosionsbeständigkeit und niedriger Ölverbrauch, um nur einige zu nennen. Zusammen mit der Firma NAGEL in Nürtingen wurde die Honbearbeitung der Beschichtungen optimiert, um die Vorteile der porösen Plasmaschicht optimal herauszuarbeiten. Der Fortschritt bei der Entwicklung des Prozesses und der Materialien wurde in vielen Publikationen dokumentiert [1-24].

Heute wird die Laufflächenbeschichtung von Sulzer Metco als Gesamtlösung am Markt unter dem Namen SUMEBore angeboten. Dabei kann Sulzer Metco

	Dr.-Ing. Peter Ernst Autorenprofil: <a href="#">Author profile:</a> <a href="http://www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205975">www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205975</a> <a href="mailto:peter.ernst@sulzer.com">peter.ernst@sulzer.com</a>
	Dipl.-Ing. (FH) Bernd Distler Autorenprofil: <a href="#">Author profile:</a> <a href="http://www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205974">www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205974</a> <a href="mailto:bernd.distler@sulzer.com">bernd.distler@sulzer.com</a>
	Gérard Barbezat Autorenprofil: <a href="#">Author profile:</a> <a href="http://www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205973">www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205973</a> <a href="mailto:gerard.barbezat@gmx.ch">gerard.barbezat@gmx.ch</a>

zusammen mit Partnern die Industrialisierung der gesamten Plasmabeschichtung von Zylinderlaufflächen anbieten: von der Reinigung über die Oberflächenaktivierung, das Aufbringen der Plasmaschicht bis hin zu der Endbearbeitung mittels Honen.

### 2. Prozessbeschreibung

Der gesamte Prozess der Laufflächenbeschichtung ist in Bild 1 schematisch dargestellt (ohne Waschen).

#### 2.1 Vorbereitung und Oberflächenaktivierung

Der Bohrungsdurchmesser wird entsprechend der im Endzustand ange-

### Summary

Rising fuel prices and more stringent requirements in the field of the vehicle emissions such as nitrogen oxides, fine dust and carbon dioxide are increasing the pressure on the engine manufacturers to utilise technologies which contribute to a reduction in the emissions. In this connection, the interest in liner surface coatings has risen considerably in the last two years, also in the SUMEBore coating solution from Sulzer Metco. The powder-based APS method is very flexible and can also process materials to which wire-based methods do not have any access, particularly metal matrix composites and pure ceramics.

quirements on the cylinder liner surfaces such as low friction, high wear and corrosion resistance and low oil consumption (to name just a few) were developed. Together with NAGEL in Nürtingen, the honing of the coatings was optimised in order to bring out the advantages of the porous plasma coating in an optimum way. The progress with regard to the development of the process and the materials was documented in a lot of publications [1-24]. Today, the liner surface coating from Sulzer Metco is offered on the market as an overall solution by the name of SUMEBore. In this respect, Sulzer Metco can, together with partners, offer the industrialisation of the entire plasma coating of cylinder liner surfaces, from the cleaning via the surface activation and the application of the plasma coating right up to the final machining by means of honing.

### 2. Process description

The whole process of the liner surface coating is portrayed schematically on Fig. 1 (without washing).

#### 2.1 Preparation and surface activation

The bore diameter is enlarged according to the coat thicknesses striven for in the final condition. This premachining can be carried out by means of spindling,

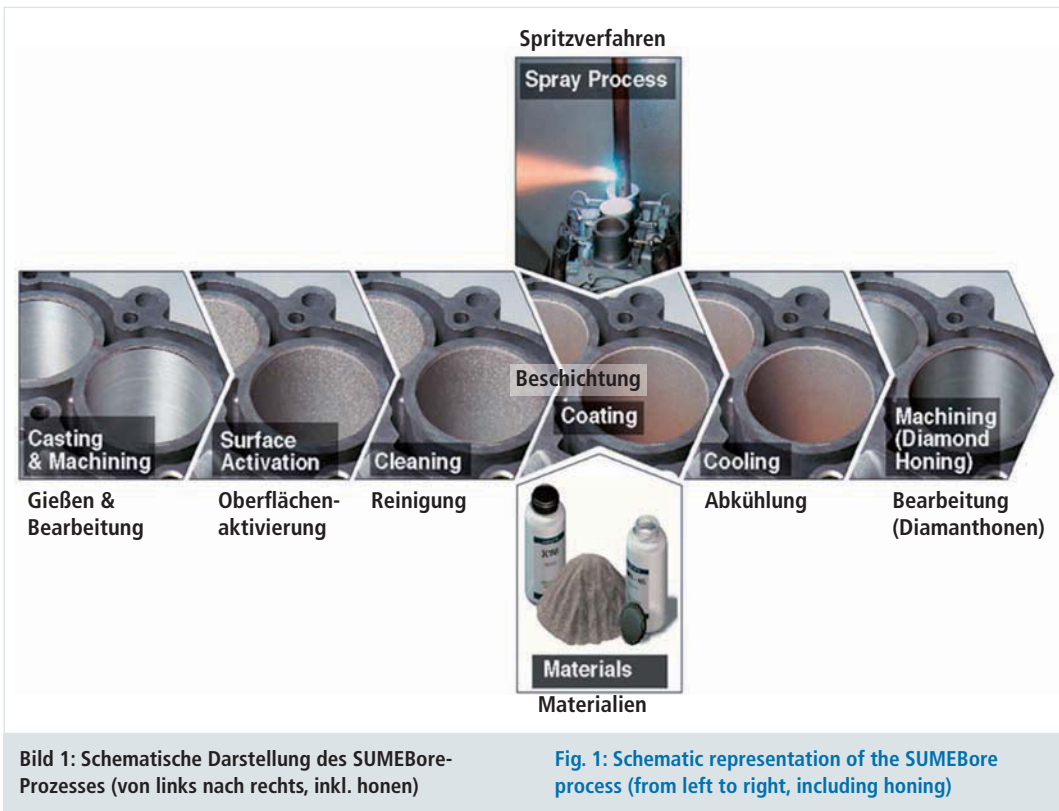


Bild 1: Schematische Darstellung des SUMEBore-Prozesses (von links nach rechts, inkl. Honen)

Fig. 1: Schematic representation of the SUMEBore process (from left to right, including honing)

streben Schichtdicken vergrößert. Diese Vorbearbeitung kann durch Spindeln, Bohren, Drehen oder Honen ausgeführt werden; einzige Anforderung für die anschließende Oberflächenaktivierung ist eine Rauheit  $R_a < 4 \mu\text{m}$ . Im Folgenden muss die zu beschichtende Oberfläche aktiviert, das heißt aufgeraut werden, um für die mechanische Verhakung der Schicht eine Oberflächenstruktur zu erzeugen, welche genügende Schichthaftung garantiert, um die hohen Scherspannungen beim Honen und im anschließenden motorischen Betrieb aufzunehmen. Für die Aktivierung der Oberfläche stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Wichtigsten sind in

Bild 2 gezeigt. Das Korundstrahlen eignet sich für sämtliche Materialien und ist am flexibelsten in Bezug auf die geometrischen Gegebenheiten am unteren Bohrungsabschluss (Pulsationslöcher, Honfreigang, Lagerstuhl, usw.). Korundstrahlen ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren. Es kommt in allen sich heute im Einsatz befindenden Großserienanlagen zum Aufbringen von thermisch gespritzten Zylinderlaufflächen zum Einsatz. Vor der Aktivierung mit Korund muss die Oberfläche gereinigt werden, damit sie frei von Ölen, Fetten, Emulsionen und Spänen ist. Das Hochdruckwasserstrahlen wird derzeit von Daimler im Zusammenhang

drilling, turning or honing; the sole requirement for the subsequent surface activation is a roughness of  $R_a < 4 \mu\text{m}$ . Thereafter, the surface to be coated must be activated, i.e. roughened, in order to produce a surface structure which facilitates the mechanical interlocking of the coating and guarantees enough coat adhesion in order to accommodate the high shear stresses during the honing and in the subsequent operation of the engine. Various processes are available for the activation of the surface. The most important processes are shown on Fig. 2. Corundum blasting is suitable for all materials and is most flexible in relation to the geometrical conditions at the

lower end of the bore (pulsation holes, honing allowance, bearing block etc.). Corundum blasting is the most frequently used process. It is utilised in all the large-scale series production installations used today for the application of thermally sprayed cylinder liner surfaces. Before the activation with corundum, the surface must be cleaned so that it is free from oils, greases, emulsions and chips. At present, high-pressure water blasting is being utilised by Daimler in connection with LDS coatings. The process is regarded as complicated and expensive. As an alternative, processes have been developed in recent years in order to mechanically roughen the surface with a tool, as described in [25]. Such processes are currently applied to smaller quantities of the Nissan GT-R and the Ford Mustang Shelby Cobra 500GT. In principle, all the specified surface activation processes are also suitable for the SUMEBore coating solution, as illustrated on Fig. 2.

### 2.2 Coating and materials

In the case of the SUMEBore/APS coating, a rotating plasma torch which is used with the RotaPlasma jig described above is utilised for engine blocks. With freestanding, rotationally symmetrical parts such as liners, the liner is rotated as a rule and the torch only travels in the Z axis during the coating. Different torches are utilised depending on the size of the bore. In the case of engine blocks in the passenger car sector and for liners of trucks, this is generally the F210, as shown on Fig. 3. The iPro90 torch with powder feed rates of approx. 250 g/min is used for bores with a diameter as from approx.

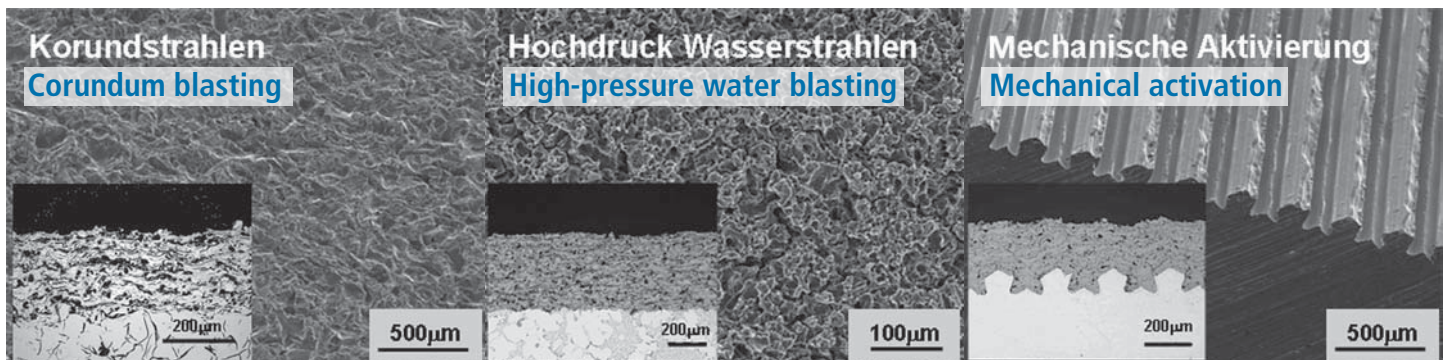


Bild 2: Unterschiedliche Oberflächenaktivierungen vor der Plasmabeschichtung  
Kleine Bilder: Plasmaschicht im Querschliff auf aktivierter Oberfläche  
Oben: Korundstrahlen, Mitte: Hochdruckwasserstrahlen,  
Unten: mechanische Aktivierung mit Profil der TU Braunschweig

Fig. 2: Different surface activation processes before plasma coating  
Small pictures: transverse sections of plasma coats on an activated surface,  
Top: corundum blasting, Centre: high-pressure water blasting,  
Bottom: mechanical activation with the profile of TU Brunswick

mit LDS-gespritzten-Schichten eingesetzt. Das Verfahren gilt als aufwendig und teuer. Als Alternative wurden in den letzten Jahren Verfahren entwickelt, um die Oberfläche mit einem Werkzeug mechanisch aufzurauen, wie in [25] beschrieben wird. Solche Verfahren werden zurzeit für den Nissan GT-R und den Ford Mustang Shelby Cobra 500GT für kleinere Stückzahlen angewandt. Alle genannten Oberflächenaktivierungsverfahren eignen sich grundsätzlich auch für die SUMEBore-Beschichtungslösung wie aus Bild 2 ersichtlich ist.

## 2.2 Beschichtung und Materialien

Bei der SUMEBore-APS-Beschichtung kommt bei Motorblöcken ein rotierender Plasmabrenner zum Einsatz, welcher mit der eingangs beschriebenen Rota-Plasma-Vorrichtung verwendet wird. Bei freistehenden, rotationssymmetrischen Teilen wie Laufbuchsen wird in der Regel die Buchse rotiert, der Brenner verfährt während der Beschichtung nur in der Z-Achse.

Je nach Größe der Bohrung kommen unterschiedliche Brenner zum Einsatz, bei Motorblöcken im PKW Bereich und für Laufbuchsen von Lastwagen ist dies in der Regel der F210, wie er in Bild 3 gezeigt wird. Bei Bohrungen ab etwa 180 mm Durchmesser wird der iPro90-Brenner mit Pulverförderraten von etwa 250 g/min verwendet, bei Bohrungen über 500 mm kann auch der Triplex-Pro-Brenner verwendet werden mit Förderraten bis 500 g/min.

Sämtliche Brenner für das Aufbringen der SUMEBore-Schichten sind pulverbasierte APS-Brenner. Der Vorteil der Verwendung von Pulver anstelle von Draht ist offensichtlich, die Materialvielfalt ist fast unbegrenzt und die Zusammensetzungen reichen von niedrig legiertem Kohlenstoffstahl über Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe (MMCs) bis hin zu reinen Keramiken. Auch ist die Zugabe von Festschmierstoffen leicht möglich wie  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  oder  $\text{ZnO}$ .

Grundsätzlich können alle für das Plasmaspritzen geeigneten Pulver verarbeitet werden. Die Tabelle zeigt einige typische Pulver die heute von Sulzer Metco oder deren Kunden verwendet werden. Im Bereich der Neubeschichtung und der Wiederaufarbeitung von PKW-Kurbel-



Bild 3: APS Plasma-brenner F210 von Sulzer Metco bei der Innenbeschichtung

Fig. 3: F210 APS torch from Sulzer Metco during the lining process

gehäusen kommt hauptsächlich niedrig legierter Kohlenstoffstahl zum Einsatz, bei Hochleistungsmotoren ein Gemisch aus Stahl und Molybdän, Karbid basierte Materialien oder immer häufiger reine Oxidkeramiken wie  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oder  $\text{FeTiO}_3$ . Für Heavy-Duty-Diesel-Motoren (Lastwagen, Schiffsmotoren, Stromerzeugung, u.s.w.) haben sich Metal-Matrix-Verbundwerkstoffe bewährt, wenn nötig mit korrosionsbeständiger Matrix.

## 2.3 Endbearbeitung

Nach der Beschichtung ist die Rauheit der Oberfläche bei etwa  $R_z = 50 \mu\text{m}$ . Die Endbearbeitung der Plasmaschicht erfolgt durch Honen mit Diamantleisten. Die zusammen mit NAGEL erarbeitete Empfehlung für die Oberflächenrauheit nach der Honbearbeitung für eine SUMEBore-Beschichtung ist wie folgt:

180 mm. The TriplexPro torch with feed rates up to 500 g/min can also be used for bores over 500 mm.

All the torches for the application of the SUMEBore coats are powder-based APS torches. The advantages of using powder instead of wire are obvious, i.e. the material diversity is almost unlimited and the compositions extend from low-alloyed carbon steel via metal matrix composites (MMCs) right up to pure ceramics. Moreover, it is easy to add solid lubricants such as  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{WS}_2$  or  $\text{ZnO}$ .

In principle, it is possible to process all the powders appropriate for plasma spraying. The table shows a few typical powders which are used by Sulzer Metco or its customers today. Low-alloyed carbon steel is mainly utilised in the field of the new coating and re-manufacturing of passenger car

crankcases and a mixture of steel and molybdenum, carbide-based materials or, ever more frequently, pure oxide ceramics such as  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  or  $\text{FeTiO}_3$  for high-performance engines. Metal matrix composites have proven to be suitable for heavy-duty diesel engines (trucks, marine engines, power generation etc.), if necessary with a corrosion-resistant matrix.

## 2.3 Final machining

After the coating, the roughness of the surface is approx.  $R_z = 50 \mu\text{m}$ . The final machining of the plasma coating is carried out by means of honing with diamond honedgedes. Together with NAGEL, the following recommendation was elaborated for the surface roughness after the honing for a SUMEBore coating:

- $R_a$ : 0.15 - 0.35  $\mu\text{m}$
- $R_z$ : < 5  $\mu\text{m}$
- $R_k$ : < 0.3  $\mu\text{m}$
- $R_{pk}$ : max. 0.12  $\mu\text{m}$
- $R_{vk}$ : max. 1.10  $\mu\text{m}$

Using examples, further details are portrayed in [7]. The machining by means of honing is an important process step and is decisively responsible for the properties of the liner surface. As far as the honing is concerned, it must be ensured that the cut-open pores in the plasma coating are not filled in since these are responsible for the oil retention volume.

## 3. Applications and industrialisation

For a long time, Volkswagen was Sulzer Metco's only customer to utilise the APS liner surface coating in large-scale series production, starting with the LUPO 1.4 litre FSI and subsequently in

Tabelle: Standard SUMEBore-Materialien, für PKW (1), Rennsport und andere Hochleistungsmotoren (2) und Heavy-Duty-Diesel-Motoren (3). Die Angaben sind in Masseanteil in %.

Table: Standard SUMEBore materials, for passenger car engines (1), racing and other high-performance engines (2) and heavy-duty diesel engines (3). The data is in % by mass.

		C	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe	others
1	XPT512	> 1	1-2	1-2	-	-	Rest	
2	F4301	> 1	1-2	1-2	-	-	Rest	30% Mo
3	F2056	> 1	1-2	1-2	-	-	Rest	> 30% $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$
3	F2071	< 0.5	max. 1	> 12	> 2	-	Rest	> 30% $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$
2	F5122	-	-	5	-	20	-	75% $\text{Cr}_3\text{C}_2$
2	F6250	-	-	-	-	-	-	$\text{TiO}_2$

$R_a$ : 0,15 – 0,35  $\mu\text{m}$   
 $R_z$ : < 5  $\mu\text{m}$   
 $R_k$ : < 0,3  $\mu\text{m}$   
 $R_{pk}$ : max. 0,12  $\mu\text{m}$   
 $R_{vk}$ : max. 1,10  $\mu\text{m}$

Weitere Details sind beispielsweise in [7] dargestellt. Die Bearbeitung durch Honen ist ein wichtiger Prozessschritt und maßgeblich für die Eigenschaften der Lauffläche verantwortlich. Beim Honen muss sichergestellt werden, dass die angeschnittenen Poren der Plasmaschicht nicht zugeschmiert werden, da diese für das Ölrückhaltevolumen verantwortlich sind.

### 3. Anwendungen und Industrialisierung

Lange Zeit war Volkswagen der einzige Kunde von Sulzer Metco, welcher die APS-Laufflächenbeschichtung in der Großserie zur Anwendung brachte, angefangen mit dem LUPO 1.4l FSI, später im R5 und im V10 Diesel Motor. Bisher wurden von VW ca. 2.5 Mio Bohrungen

mit der Technologie von Sulzer Metco beschichtet.

In der Zwischenzeit sind jedoch weitere Großserienkunden dazugekommen. Ein japanischer Hersteller beschichtet den neuen V6 Aluminium Außenbord-Motor und für einen namhaften europäischen Lastwagenhersteller wurde bis Ende 2010 eine erste Beschichtungsanlage für Laufbuchsen fertiggestellt.

In Wohlen (Schweiz) und Westbury (USA) betreibt Sulzer Metco je eine SUMEBore-Beschichtungsanlage, in welchen solche Beschichtungen in Lohnarbeit aufgebracht werden, insbesondere für Rennsportanwendungen und Kleinserien von Motoren wie der W16 des Bugatti Veyron, der V12 des Aston Martin One-77 oder ein R4 Dieselmotor für Kleinflugzeuge. Neben dieser Lohnbeschichtung werden beide Anlagen benutzt, um Prototypen für Motorenversuche bei Kunden zu beschichten und Großserienkunden beim Produktionsstart zu unterstützen.

the R5 and in the V10 diesel engine. Until now, VW has coated approx. 2.5 million bores with the technology from Sulzer Metco.

However, other large-scale series production customers have been added in the meantime. One Japanese manufacturer coats the new V6 aluminium outboard engine and the first coating installation for liners was completed for a renowned European truck manufacturer by the end of 2010.

In Wohlen (Switzerland) and in Westbury (USA), Sulzer Metco operates one

SUMEBore coating installation in which such coatings are applied in job work, especially for racing applications and for the small-scale series production of engines such as the W16 from Bugatti Veyron, the V12 from Aston Martin One-77 or an R4 diesel engine for small aircraft. In addition to this job coating, both installations are used in order to coat prototypes for engine tests in the factories of the customers and to support large-scale series production customers at the time when the production is started.

### Literatur References

- [1] Barbezat, G., Keller, S.: Innovationsschub für Automotoren. Sulzer Technical Review 2/96, 32-33.
- [2] Barbezat, G.: Neue Entwicklungen zum Innenplasmabeschichten. Schweißen & Schneiden 48 (1996) 2, 127-131.
- [3] Barbezat, G., Wuest, G.: Advantages for automotive industry of plasma spray coating of Al-Si cast alloy cylinder bores. Surface Engineering 1998 Vol. 14 No. 2, 113-116.
- [4] Barbezat, G., Keller, S., Wuest, G.: Internal plasma spray process for cylinder bores in automotive industry. ITSC 1998, 963-974.
- [5] Barbezat, G.: The internal plasma spraying on powerful technology for aerospace and automotive industries. Thermal Spray 2001 – New Materials for a New Millennium, ASM International, 2001, 135-139.
- [6] Barbezat, G., Herber R.: Durchbruch für Motorenbeschichtung. Sulzer Technical Review 2/2001, 8-11.
- [7] Barbezat, G., Schmid, J.: Plasmabeschichtungen von Zylinderkurbelgehäusen und ihre Bearbeitung durch Honen. MTZ Motortechnische Zeitschrift 62 (2001) 4, 314-320.
- [8] Barbezat, G.: Plasmabeschichtung von Zylinderlaufflächen – Stand der Technik und der Industrialisierung. VDI-Berichte Nr. 1612, 2001, 97-105.
- [9] Barbezat, G.: High performance coatings for engine blocks of the new generation. 13th IFHTSE Congress, ASM International, 2002, 703-706.
- [10] Dohmen, J., Hermsen, F.-G., Barbezat, G.: Untersuchungen an plasmabeschichteten Zylinderlaufflächen. MTZ Motortechnische Zeitschrift 65 (2004), 3, 204-207.
- [11] Barbezat, G.: Advanced thermal spray technology and coating for lightweight engine blocks for the automotive industry. Surface & Coatings Technology 200 (2005), 1990-1993.
- [12] Barbezat, G.: Material for the plasma spraying of lightweight engine block cylinder bores. Surface Modification Technologies XVIII, ASM International, 2006, 19-22.
- [13] Barbezat, G.: Thermal spray coatings for tribological applications in the automotive industry. ITSC 2006.
- [14] Barbezat, G.: Application of thermal spraying in the automobile industry. Surface & Coatings Technology 201 (2006), 2028-2031.
- [15] Barbezat, G.: Thermal spray coatings for tribological applications in the automotive industry. Advanced Engineering Materials 2006, 8 No. 7, 678-681.
- [16] Barbezat, G.: Importance of surface preparation technology prior to coating deposition on cylinder bores. ITSC 2007.
- [17] Heusser, M., Ernst, P.: Sulzer Metco enhancing component surfaces. Auto 2008, Volume II – the green issue, ISBN 978 1 906436 29 2, 12-13.
- [18] Ernst, P., Barbezat, G.: Thermal spray applications in powertrain contribute to the saving of energy and materials resources. Surface & Coatings Technology 202 (2008), 4428-4431.
- [19] McCullough, R.: Arriving in the US-market: SUMEBore® technology. Sulzer Technical Review 1/2009, 18-19.
- [20] Ernst, P.: Emission reduction – how coatings make a difference. Sulzer Technical Review 4/2009, 11-13.
- [21] Ernst, P.: How to cope with the consequences of the applied emission reduction regimes on the surface of a cylinder. Engine Expo 2009, Stuttgart.
- [22] Zaugg, A.: Increase the design freedom in the heart of the combustion engine. Engine Expo 2009, Stuttgart.
- [23] Fitzimons, B.: Case study: Aston Martin – powertrain partners, Engine Technology International, January 2010, 6-10.
- [24] Ernst, P., Jenckes, Ch.: The successful use of plasma spray cylinder coatings in a NASCAR application to achieve friction reduction and cost benefits. Engine Expo 2010, Stuttgart.
- [25] Hoffmeister, H.-W., Schnell, Ch.: Zylinderlaufflächen einfach und schnell aufrauen. MM Maschinenmarkt 37/2010, 86-88.