

Prozesskette zur Herstellung thermisch beschichteter Zylinderbohrungen

Process chain for the manufacture of thermally coated cylinder bores

Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Flores, Gehring Technologies GmbH, Ostfildern

Zusammenfassung

Die Herstellung von thermisch gespritzten Zylinderbohrungen erfolgt in einer komplexen Prozesskette. Dem Aufrauen durch eine Variante des Feinbohrns folgt der HVOF-Prozess als thermisches Drahtspritzverfahren. Das nachfolgende Wasserstrahlen dient zur Beseitigung des Oversprays unterhalb der Bohrung im Kurbelgehäuse. Die abschließende Honbearbeitung erzeugt eine funktionsgerechte Lauffläche mit überlegenen tribologischen Eigenschaften. Die vielfältigen Wechselwirkungen der einzelnen Verfahrensschritte auf das Arbeitsergebnis erfordern für die fertigungstechnische Realisierung ein komplexes Verständnis der Prozesskette und deren Parameter.

1. Einführung

Die Motivation zum Einsatz thermischer Spritzschichten in Verbrennungsmotoren besteht in den vorteilhaften Funktionseigenschaften derart hergestellter Zylinderlaufbahnen [1]. Niedrige Reibung und hohe Verschleißfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Formänderungsvermögen sind wesentliche Voraussetzungen für die tribologische Eignung. Darüber hinaus sorgt eine definierte Porosität und hohe Haftfestigkeit für betriebssichere Bauteileigenschaften. Durch dünne verbleibende Schichtdicken sind Reduzierung von Motorbaulängen und Gewichtseinsparungen im Vergleich zur bisher verwendeten gusseisernen Laufbüchse möglich.

Zur Realisierung solcher motorischer Eigenschaften wird eine Prozesskette benötigt, die mit hoher Prozesssicherheit und in den üblichen Taktzeiten der Motorenfertigung hochwertige Werkstücke produziert. Durch die aufgrund des weit fortgeschrittenen Entwicklungsstands eingesetzten Technologien und dem hohen Automatisierungsgrad ist eine Realisierung mit hoher Produktivität möglich.

Dabei hat die fertig bearbeitete Zylinderlauffläche die Funktion, eine geeignete Reibpaarung im Zusammenwirken mit den Kolbenringen zu gewährleisten,



Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Flores

Autorenprofil: [Author profile:](#)

www.thermal-spray-bulletin.info/?id=205918
gerhard.flores@gehring.de

diese zu führen, und gleichzeitig den Brennraum gegenüber dem Kurbelraum abzudichten, um so einen erhöhten Blowby zu verhindern. Hierzu ist sowohl eine anforderungsgerechte Mikrotopographie erforderlich, als auch hohe makrogeometrische Anforderungen. Die hierzu notwendigen Fertigungsschritte bestehen im mechanischen Aufrauen, im thermischen Drahtspritzen, im Overspray-Strahlen und in dem mehrstufigen Honen.

2. Vorbehandlung durch Aufrauen

Um eine feste Verbindung zwischen Schicht und Substrat zu ermöglichen ist ein geeigneter Aufrauprozess erforderlich. Hierbei werden Rauheitsprofile hergestellt, welche eine Haftzugfestigkeit von mindestens 25 MPa ermöglichen. Es wurden zahlreiche Varianten des mechanischen Aufrauens entwickelt, welche ausschließlich spanend oder auch mit zusätzlicher Profillumformung arbeiten. Nahezu allen Aufrauverfahren gemeinsam ist ein Rauheitsprofil mit

Summary

Thermally sprayed cylinder bores are manufactured in a complex process chain. The roughening using a variant of fine drilling is followed by the HVOF process as a thermal wire spraying process. The subsequent water blasting serves to eliminate the overspray underneath the bore in the crankcase. The concluding honing produces a liner surface which has superior tribological properties and is appropriate for the functions. Due to the diverse interactions between the individual process steps and the work result, complex understanding of the process chain and its parameters is required for the implementation by means of fabrication technology.

development status and to the high degree of automation.

In this respect, the final-machined cylinder liner surface has the functions of guaranteeing a suitable friction pair in interaction with the piston rings, of guiding these and, at the same time, of sealing the combustion chamber from the crank space in order to thus prevent an increased blow-by. Not only a microtopography appropriate for the requirements but also stringent macrogeometrical requirements are necessary for this purpose. The fabrication steps needed to this end consist of the mechanical roughening, the thermal wire spraying, the overspray blasting and the multistage honing.

2. Pretreatment by means of roughening

A suitable roughening process is required in order to permit a strong joint between the coat and the substrate. Roughness profiles which allow an adhesive pull strength of min. 25 MPa are manufactured in this respect. A large number of variants of mechanical roughening which work in an exclusively chip-producing method or also with additional profile forming were developed. One common feature of nearly all the roughening processes is a rough-

Hinterschnitten, welches die gewünschte Haftzugfestigkeit durch Adhäsion, laterale Schrumpfspannungen und radial gerichteten Formschluss ermöglicht. Das ohne Profillumformung entstandene Aufrauprofil in Bild 1 weist eine Profiltiefe von etwa 100 µm und Länge einer Profilveriode von etwa 300 µm auf. Die erreichbare Haftzugfestigkeit nimmt mit zunehmender Profiltiefe zu. Bei etwa 100 bis 120 µm Profiltiefe wird eine Haftzugfestigkeit von 45 MPa überschritten [2].

Das in Bild 1 gezeigte Hinterschnitt-Aufrauprofil wird erzeugt durch eine PKD-Schneide, welche eine komplexe Geometrie aufweist. Eine Vorschneide dient dazu, den Abtrag beim Aufrauen durch die nachlaufenden Profilschneiden zu reduzieren, so dass die Belastung auf die nachfolgenden sehr filigran ausgebildeten Schneiden reduziert wird. Die Profilschneiden sind entsprechend dem Vorschub angeordnet, so dass die erste Profilschneide zunächst eine sägezahnartige Kontur schneidet, die dann von der nachfolgend in entgegengesetzter Richtung angeordneten zweiten Profilschneide überlagert wird. Das so entstandene Schwalbenschwanzprofil zeigt deutliche Hinterschnitte, welche die Haftzugfestigkeit durch Formschluss vorteilhaft beeinflusst.

3. Thermisches Beschichten

Die Serienfertigung von beschichteten Zylinderbohrungen konzentriert sich auf die Anwendung von Drahtbeschichtungsverfahren. Diese sind hinsichtlich der Produktionskosten und der Fertigungssicherheit den Pulverbeschichtungsverfahren überlegen. Es werden dünne Spritzschichten mit einer Stärke von 0,2 bis 0,6 mm aufgetragen. Damit entsteht ein quasimonolithischer Zylinderblock mit guten thermischen Eigenschaften und, aufgrund der geringen verbleibenden Schichtdicken, Motoren mit verkürzten Baulängen und signifikanten Gewichtseinsparungen. Die Wärme wird durch die dichte Anbindung der Schicht an das Substrat sehr schnell abgeführt, so dass die Motortemperatur deutlich geringer ist als bei Motoren konventioneller Bauart. Durch das schnelle Abkühlen des Spritzguts entstehen je nach Prozessparametern amorphe Schichten, gegebenenfalls mit Hartstoffeinsparungen, zum Beispiel Eisen-Oxide, welche eine hohe Härte und

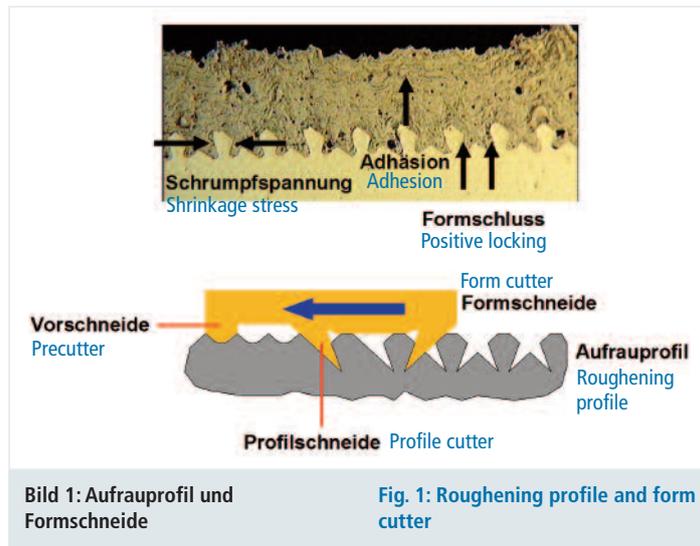


Bild 1: Aufrauprofil und Formschneide

Fig. 1: Roughening profile and form cutter

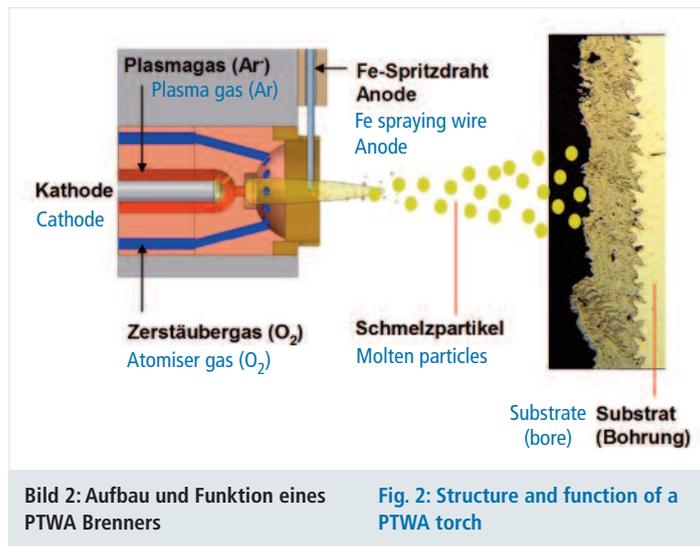


Bild 2: Aufbau und Funktion eines PTWA Brenners

Fig. 2: Structure and function of a PTWA torch

Verschleißfestigkeit der Schicht bewirken. Durch den C-Gehalt des Spritzzusatzes (wie unlegierter Fe-Draht) kann die Härte der Schicht bestimmt werden. Der Beschichtungsprozess in Bild 2, ausgeführt als PTWA-Verfahren [3], führt den Spritzwerkstoff in Form des Eisendrahtes ins Zentrum der Bohrung in einem rotierenden Brenner. In einem Plasmalichtbogen zwischen der Wolframkathode und dem anodisch gepolten Eisendraht schmilzt der Eisenwerkstoff und wird vom Zerstäubergas gegen die Bohrungswand beschleunigt. Der Beschichtungsprozess ist bestimmt durch zahlreiche Parameter, die einzelne Komponenten des Prozesses betreffen. So sind beispielsweise die Drahtparameter bestimmt durch den Werkstoff, den Drahtdurchmesser oder den Drahtvorschub. Die Spritzparameter beispielsweise sind definiert durch die eingebrachte Energie und den Gasfluss des Zerstäubergases. Dadurch sind die Grö-

ness profile which has undercuts and enables the desired adhesive pull strength due to adhesion, lateral shrinkage stresses and radially directed positive locking. The roughening profile on Fig. 1 was created without any profile forming and exhibits a profile depth of approx. 100 µm and a profile period length of approx. 300 µm. The attainable adhesive pull strength increases along with the profile depth. An adhesive pull strength of 45 MPa is exceeded with a profile depth of approx. 100 - 120 µm [2]. The undercut-roughening profile shown on Fig. 1 is produced by a polycrystalline diamond cutter which exhibits a complex geometry. A precutter serves to decrease the removal during the roughening by the downstream profile cutters in order to reduce the loads on the following cutters with a very filigree shape. The profile cutters are arranged according to the advance so that the

first profile cutter initially cuts a saw-tooth-like contour on which the second profile cutter arranged thereafter in the opposite direction is then superimposed. The dovetail profile created in this way exhibits distinct undercuts which exert an advantageous influence on the adhesive pull strength due to positive locking.

3. Thermal coating

The series fabrication of coated cylinder bores concentrates on the application of wire coating processes. With regard to the production costs and the fabrication certainty, these are superior to the powder coating processes. Thin sprayed coats with a thickness of 0.2 - 0.6 mm are applied. This results in a quasi-monolithic cylinder block with good thermal properties and, because of the low remaining coat thicknesses, in engines with shortened overall lengths and significant weight savings. The heat is dissipated very quickly due to the close bond between the coat and the substrate. Thus, the engine temperature is substantially lower than in the case of engines with a conventional design. Depending on the process parameters, the rapid cooling of the sprayed material leads to amorphous coats which have hard material dispersions (e.g iron oxides) if necessary and give rise to a high hardness and wear resistance of the coat. The hardness of the coat can be determined by the C content of the spraying consumable (such as unalloyed Fe wire).

The coating process on Fig. 2, executed as the PTWA process [3], guides the iron wire into the centre of the bore in a rotating torch. In a plasma arc between the tungsten cathode and the anodically poled iron wire, the iron material melts and is accelerated against the bore wall by the atomiser gas. The coating process is determined by numerous parameters relating to the individual components of the process. Thus, the wire parameters are determined by the material, the wire diameter or the wire feed. For example, the spraying parameters are defined by the input energy and the flow of the atomiser gas. The size, temperature and velocity of the sprayed particles are determined in this way. The condition of the arising coating is determined by



Bild 3: Wasserstrahlen und oversprayfreies gestrahltes Werkstück

Fig. 3: Water blasting and overspray-free blasted workpiece

ße, die Temperatur und die Geschwindigkeit der Spritzpartikel bestimmt. Der Zustand der entstehenden Beschichtung ist bestimmt durch Merkmale des Schichtwerkstoffs und der Oberflächenparameter.

Das Beschichtungsergebnis hinsichtlich des Schichtwerkstoffs ist bestimmt durch Analyse, Dichte, Aufbaustruktur, Porosität, Härte und Duktilität von funktionaler Bedeutung. Die entstandene Schichttopographie besteht in der Spritzrauheit sowie in der Struktur und im Overspray außerhalb der Bohrung.

4. Overspray-Strahlen

Das Overspray-Strahlen hat die Aufgabe, Overspraypartikel außerhalb der Bohrungen, in der Regel auf der Kurbelwellenseite, zu entfernen. Damit wird das Ablösen von Spritzpartikeln im motorischen Betrieb vermieden, was einen erhöhten Verschleiß im gesamttribologischen System des Motors verursachen könnte. Zum Overspray-Strahlen wird eine Strahl lance durch die Bohrung in das Gehäuse geführt. Die Strahl lance ist mit mehreren geneigten Düsen ausgelegt, so dass der Wasserstrahl keilförmig zwischen Overspray und Substrat einfällt und damit die Overspraypartikel ablöst. Je nach Rauheit der Gussoberflächen ist ein Druck von 300 bar ausreichend [4]. Aufgrund dieser Wasserstrahltechnik kann das Maskieren vor dem Beschichtungsprozess entfallen (Bild 3). Damit ist eine erhebliche Zunahme der Automatisierbarkeit der Prozesskette möglich geworden.

5. Honbearbeitung

Um aus der spritzrauen Oberfläche eine funktionsgerechte Lauffläche im Zylinder herzustellen, ist eine Honbe-

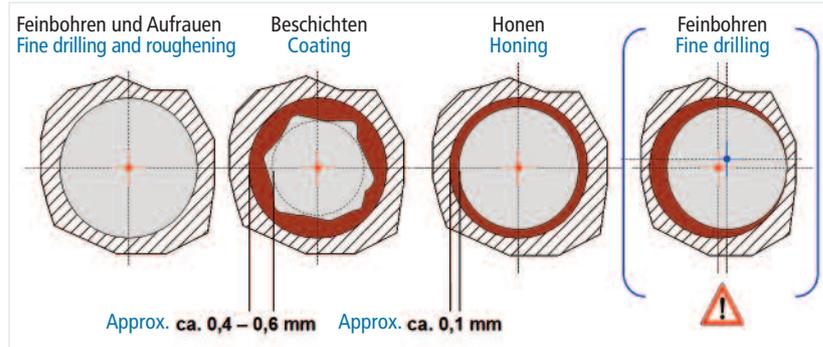


Bild 4: Gleichachsige Honbearbeitung von thermischen Spritzschichten sichert gleichmäßige Schichtstärken

Fig. 4: Equiaxed honing of thermally sprayed coats ensures uniform coat thicknesses

arbeitung in mehreren Stufen erforderlich. Im Gegensatz zur Bearbeitung von konventionellen Werkstoffen wie Grauguss oder Aluminium, wirken die spritzraue Oberfläche, die Hartstoffeinschlüsse, die Poren und die Haftzugfestigkeit auf den Honprozess. Besonders die raue Oberfläche nach dem Beschichten und die Oxideinschlüsse wirken schichtseitig stark abrasiv auf die metallische Bindung der Honleisten. Dieser Bindungsverschleiß bewirkt eine Reduktion der Standmenge, da sich somit die Diamantkristalle vorzeitig aus der Matrix lösen. Durch harte Bindungswerkstoffe, hohe Diamantkonzentrationen bei splinterfähiger Kornstruktur und bei Verwendung einer Kraft-Weg-gesteuerten Zustelleinrichtung sind wirtschaftliche Standmengen möglich. Andererseits bewirken die Hartstoffe einen Erhalt der Schneidfähigkeit der Honleisten, weshalb thermische Spritzschichten insbesondere mit Hartstoffeinlagerungen gut zu bearbeiten sind.

Ein wesentliches Merkmal der Honbearbeitung von thermischen Spritzschichten ist die gleichachsige Anordnung von Bohrungssache und Werkzeugachse. In der zuvor beim Feinbohren und Aufrauen geschaffenen Bohrungssache erfolgt auch das thermische Beschichten. Die Schichtdicken betragen etwa 0,3 bis 0,6 mm. Um eine Bohrung mit homogener Schichtstärke zu erhalten, ist eine Honbearbeitung mit einer gelenkigen Werkzeugaufnahme notwendig. Dadurch kann sich das Werkzeug beim radialen Zustellen der Honleisten in der beschichteten Bohrung zentrieren und von dieser Position aus, auf eine gleichmäßige Schichtdicke zerspanen (Bild 4). Die verbleibenden Schichtdicken betragen in der Regel etwa 0,1 mm. Kritisch ist die Feinbohrbearbeitung oder auch eine Honbearbeitung von beschichteten Bohrungen auf Bearbei-

the characteristics of the coat material and of the surface parameters.

The coating result with regard to the coat material is of functional significance and is determined by the analysis, the density, the build-up structure, the porosity, the hardness and the ductility. The created coat topography consists not only of the spraying roughness but also of the structure and the overspray outside the bore.

4. Overspray blasting

The overspray blasting has the task of removing overspray particles outside the bores, as a rule on the crankshaft side. This serves to avoid the detachment of sprayed particles in the operation of the engine which could cause increased wear in the overall tribological system of the engine. For the overspray blasting, a blasting lance is guided through the bore into the case. The blasting lance is designed with several inclined nozzles so that the water jet is incident between the overspray and the substrate in a wedge shape and thus detaches the overspray particles. Depending on the roughness of the cast surfaces, a pressure of 300 bar is sufficient [4]. Because of this water blasting technique, there is no need for any masking before the coating process (Fig. 3). This has made it possible to substantially increase the automation capacity of the process chain.

5. Honing

In order to manufacture a functional liner surface in the cylinder from the surface rough from spraying, honing must be carried out in several stages. In contrast with the machining of conventional materials such as grey cast iron or aluminium, the surface rough from spraying, the hard material inclusions, the pores and the adhesive pull strength have effects on the

honing process. In particular, the rough surface after the coating and the oxide inclusions exert an extremely abrasive effect on the metallic bond of the honing strips on the coat side. This bonding wear leads to a reduction in the service life since the diamond crystals are thus detached from the matrix prematurely. Economically viable service lives are possible using hard bonding materials, high diamond concentrations with a splinterable grain structure and a force/displacement-controlled engagement device. On the other hand, the hard materials result in the preservation of the cutting capacity of the honing strips. For this reason, thermally sprayed coats (especially those with hard material dispersions) are easy to machine.

One essential characteristic of the honing of thermally sprayed coats is the equiaxed arrangement of the bore axis and the tool axis. The thermal coating also takes place in the bore axis previously created during the fine drilling and the roughening. The coat thicknesses are approx. 0.3 - 0.6 mm. Honing with a hinged tool holder is necessary in order to obtain a bore with a homogeneous coat thickness. Thus, the tool can be centred in the coated bore during the radial engagement of the honing strips and, from this position, can carry out chip-producing machining down to a uniform coat thickness (Fig. 4). As a rule, the remaining coat thicknesses are approx. 0.1 mm. The fine drilling or also honing of coated bores on machining centres is critical. Here, the axial position of the tool and thus the axial position of the final bore during the process were not oriented to the position of the coated bore surface but instead to the tool axis stipulated by the machine system. Since this rigid tool axis is not identical with the axis of the coated bore, this con-

tungszentren. Hier orientierten sich während dem Prozess die Achslage des Werkzeugs und damit die Achslage der finalen Bohrung nicht an der Position der beschichteten Bohrungsfäche, sondern an der vom Maschinensystem vorgegebenen Werkzeugachse. Da diese starre Werkzeugachse nicht identisch ist mit der Bohrungsfäche der beschichteten Bohrung, erfolgt eine ungleichachsige Bearbeitung welche zum Achsversatz und zu am Umfang ungleichmäßigen Schichtdicke führt.

Hinsichtlich des Bearbeitungsergebnisses sind für die Messung der Fertigtopographie besondere Oberflächenmaßzahlen von Bedeutung. Da das Rauheitsprofil eine Überlagerung aus gehonter Rauigkeit und aus den materialimmanenten Poren besteht, kommt dem Oberflächenmaß Rpk besondere Bedeutung zu, da weitgehend nur die gehonten Oberflächenanteile berücksichtigt werden, nicht jedoch die Porengröße und -tiefe. Für eine differenzierte Auswertung von Porentiefe und gehonter Rautiefe hat sich die differenzierte Ermittlung der Ölhaltevolumen bewährt. So kann das Ölhaltevolumen des gehonten Rauheitsprofils separat vom Ölhaltevolumen der Poren ermittelt werden. Damit lassen sich die prozesstechnischen Einflüsse von Honverfahren und Beschichtungsverfahren separieren.

6. Realisierung

In einer Prozesskette wie in Bild 6 dargestellt, sind die bisher diskutierten Prozessschritte angeordnet. Das Kurbelgehäuse ist in der Zylinderbohrung vorgebohrt. Die Bearbeitung in der dargestellten Prozesskette beginnt mit dem Feinbohren und Aufrauen auf der PT-Modul Maschine. Es folgt das doppelt vertaktete PTWA-Beschichten, das über dem Transportband aufgebaute Overspray-Strahlen sowie das Honen und Anfasen mit einem Kombinationswerkzeug. Zur Bearbeitung steht ein R4-Block an. Die Taktzeit der verketteten Anlage ist mit 90 s projektiert.

7. Zusammenfassung

Die beschriebene Prozesskette enthält zahlreiche neue Schritte, welche der Qualität, der Bearbeitungszeit und der Kostenbetrachtung zu Gute kommen. Das Aufraufverfahren ist erstmalig als spanender Prozess konzipiert, wodurch sich Sondermaschinen mit hohem Invest

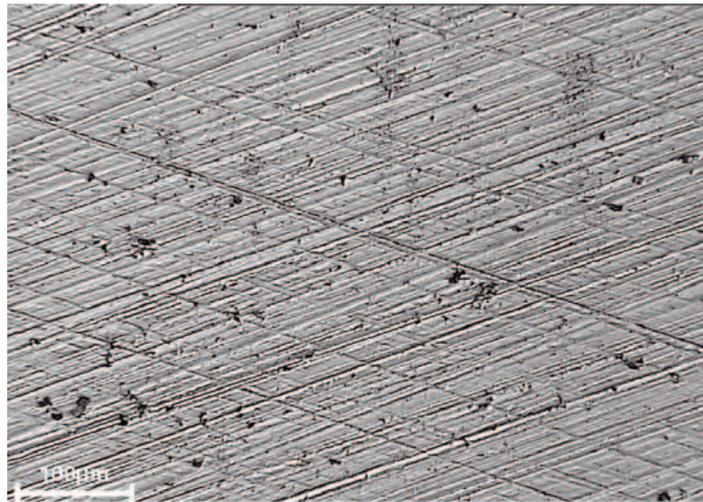


Bild 5: Topographie gehonter PTWA-Schicht mit Poren und Honriefen

Fig. 5: Topography of a honed PTWA coat with pores and honing lines

und Betriebskosten erübrigen. Das Drahtbeschichtungsverfahren sichert eine kostengünstige, prozesssichere Herstellung von Laufbahnbeschichtungen. Durch das Overspray-Strahlen ist eine Maskierung beim Drahtbeschichtungsprozess nicht mehr notwendig. Dadurch lässt sich das Beschichtungsverfahren weiter automatisieren. Die abschließende Honbearbeitung führt von der spritzrauen Oberfläche zur tribologisch geeigneten Kolbenlaufbahn. Diese Prozesskette entspricht dem Trend im Automobilbau, nämlich durch neue Werkstoffe und kostengünstige Fertigungstechnologien emissionsarme Motoren mit reduzierten Kraftstoffverbräuchen und gesteigerter Langlebigkeit zu produzieren.

stitutes unequipped machining which leads to axial misalignment and to non-uniform coat thicknesses at the circumference.

With regard to the machining result, particular surface dimension figures are of significance for the measurement of the final topography. Since the roughness profile consists of the superimposition of the honed roughness on the pores intrinsic in the material, special significance is attached to the surface dimension Rpk since, to a great extent, only the honed surface proportions are taken into consideration but not the pore size and depth. The differentiated determination of the oil retention volumes has proven to be suitable for the differentiated evaluation of the pore

depth and the honed roughness depth. In this way, the oil retention volume of the honed roughness profile can be established separately from the oil retention volume of the pores. It is thus possible to separate the process technology influences of the honing process and the coating process.

6. Implementation

The process steps discussed until now are arranged in a process chain as shown on Fig. 6. The crankcase is predrilled in the cylinder bore. The machining in the portrayed process chain begins with the fine drilling and the roughening on the PT module machine. This is followed by the double-cycle PTWA coating, the overspray blasting set up above the transport belt as well as the honing and the bevelling with a combined tool. An R4 block is available for the machining. The cycle time of the interlinked installation is planned at 90 s.

7 Summary

The described process chain includes a large number of new steps which benefit the quality, the machining time and the cost consideration. For the first time, the roughening method is designed as a chip-producing process. As a result of this, custom-built machines with high investment and operating costs are superfluous. The wire coating method ensures the cost-favourable manufacture of track coatings in a reliable process. Due to the overspray

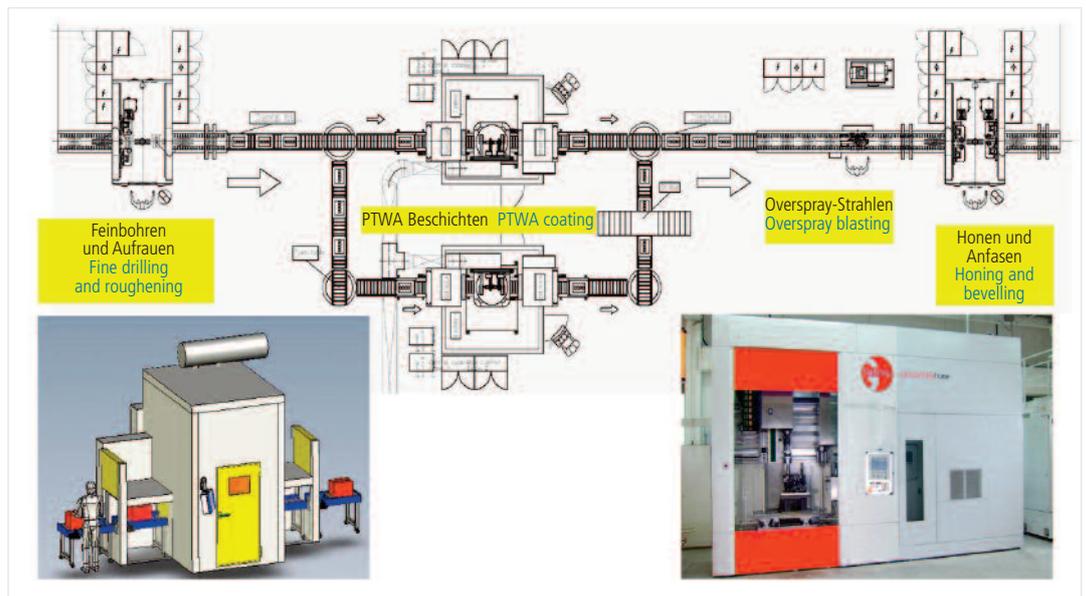


Bild 6: Projektskizze zum thermischen Beschichten

Fig. 6: Project sketch for thermal coating

Danksagung

Die hier dargestellte Prozesstechnologie geht auf die Forschungsergebnisse zurück, welche im BMBF-Projekt „Nanokristalline Composit-Beschichtungen für Zylinderlaufbahnen mit nanostrukturierter Oberfläche und Verschleißvorhersage für hochbelastete Benzin- und Dieselmotoren - NaCoLab“ (Förderkennzeichen 03X0003) erarbeitet wurden. Besonderer Dank gilt dem Forschungszentrum Jülich in der Funktion des Projektträgers, vertreten durch Dipl.-Ing. Madeleine Dietrich, die das Verbundprojekt kompetent begleitete.

Am Projekt mit den Gesamtkosten von 11,5 Mio. € waren 13 Partner als Vertreter aller relevanten Technologien beteiligt: Gehring GmbH & Co. KG, Ostfildern (Federführung), DURUM Verschleiß-Schutz GmbH, Willich-Schiefbahn, GTV mbH, Luckenbach, Opel Powertrain GmbH, Rüsselsheim, Porsche Engineering Group GmbH, Weissach, DaimlerChrysler AG, Ulm, Ford Werke GmbH, Köln, Ford FZ Aachen GmbH, Federal-Mogul Burscheid GmbH, RWTH Aachen (IOT), Uni Duisburg (WTII), Uni Kassel (IMK) und Uni Braunschweig (IWF).

Literatur References

- [1] Nakada, N., Ishikawa, Y., Yajima, J.: Der neue Hochleistungs-V6-Benzinmotor mit Doppelturbolader von Nissan, 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2008.
- [2] Hoffmeister, H.- W.; Schnell, C.: Mechanical Roughning of cylinder bores in lightmetal crankcases; Production Engineering-Research and Development, Springer Berlin/Heidelberg, 2008, Ausgabe Volume 2, Nummer 4, Seite 365-370.
- [3] Schwenk, A., Verpoort, C., Bobzin, K., Ernst, F., Richard, K., Schläfer, T.: Nanokristalline Beschichtung von Zylinderlaufbahnen im Rahmen des „Nanomobil“ BMBF Programms, VDI-Berichte Nr. 1994, 2008.
- [4] Flores, G.: Innovationspotenzial neuer Honverfahren, Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart 2010, Stuttgarter Impulse, Fertigungstechnik für die Zukunft, FTK 2010, Tagungsband, Seite 555.

blasting, masking is no longer necessary during the wire coating process. This permits the further automation of the coating method. The concluding honing leads from the surface rough from spraying to the tribologically suitable piston track. This process chain corresponds to the trend in automobile construction, i.e. producing low-emission engines with reduced fuel consumptions and extended durability using new materials and cost-favourable fabrication technologies.

Expression of thanks

The process technology portrayed here is attributed to the research results which were elaborated in the project entitled "Nanocrystalline composite coatings for cylinder tracks with a nanostructured surface and wear prediction for petrol and diesel engines subjected to high loads - NaCoLab"

promoted by the German Federal Ministry of Education and Research (promotion code: 03X0003). Particular thanks go to the Jülich Research Centre in the function of the project organiser, represented by Dipl.-Ing. Madeleine Dietrich who competently accompanied the joint project. 13 partners as representatives of all the relevant technologies were involved in the project with the total costs of € 11.5 million: Gehring GmbH & Co. KG, Ostfildern (overall responsibility), DURUM Verschleiß-Schutz GmbH, Willich-Schiefbahn, GTV mbH, Luckenbach, Opel Powertrain GmbH, Rüsselsheim, Porsche Engineering Group GmbH, Weissach, DaimlerChrysler AG, Ulm, Ford Werke GmbH, Cologne, Ford FZ Aachen GmbH, Federal-Mogul Burscheid GmbH, RWTH Aachen (IOT), University of Duisburg (WTII), University of Kassel (IMK) and University of Brunswick (IWF).