

MTZ

04 März 2015 | 76. Jahrgang

Sonderdruck / Offprint

aus / from MTZ 04|2015

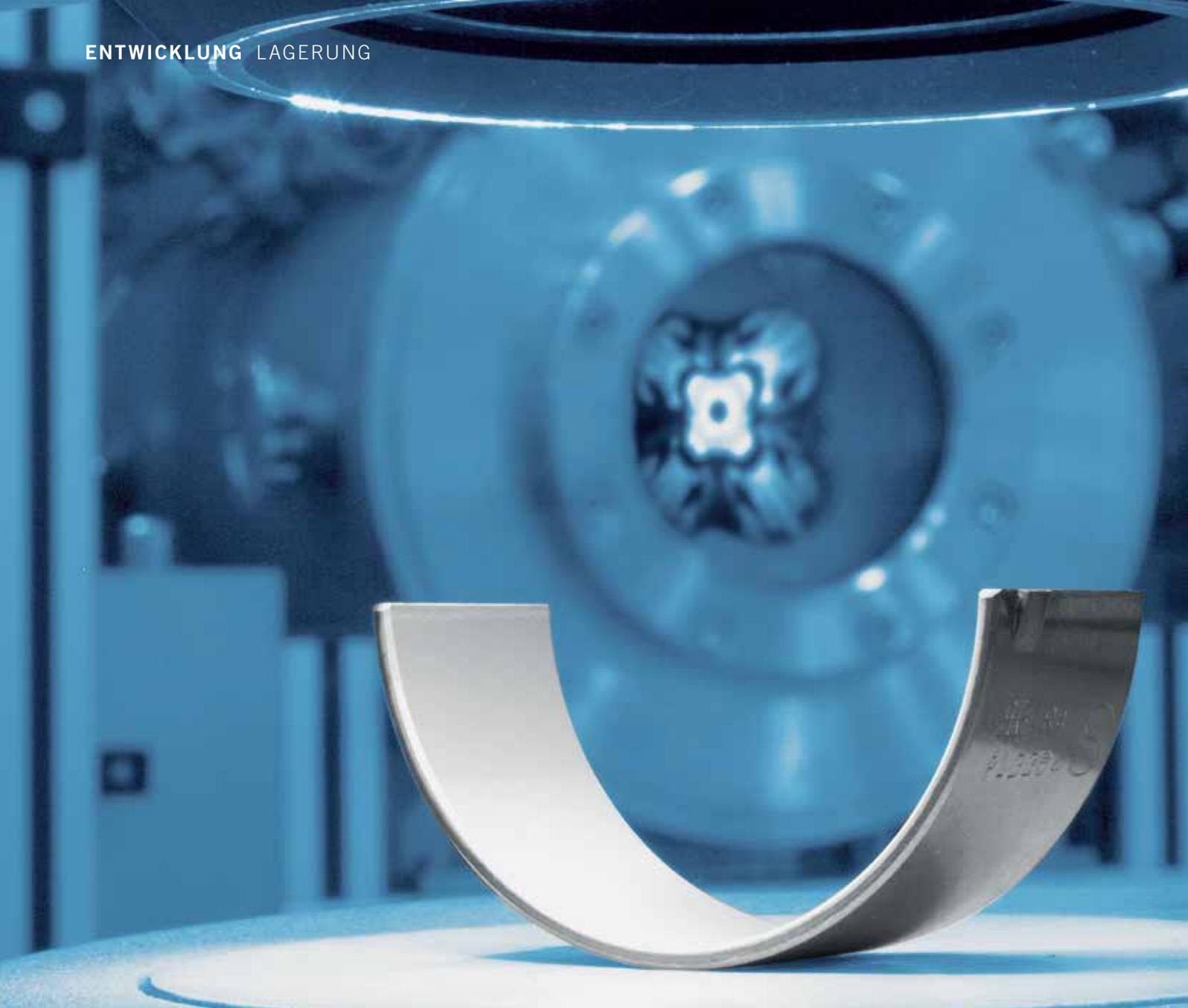
Springer Vieweg

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH



**SPUTTERLAGER FÜR
HOCHAUFGELADENE DIESELMOTOREN**

**SPUTTER BEARINGS FOR
HIGHLY CHARGED DIESEL ENGINES**



STETIGER ANSTIEG DER LEISTUNGSDICHTE BEI DIESELMOTOREN

Der Dieselmotor ist in Europa als Antrieb in Personewagen äußerst beliebt. So wird in Deutschland annähernd jeder zweite neue Pkw von einem Dieselmotor angetrieben [1], was nicht zuletzt zur Erreichung des gesetzlichen Flottenverbrauchslimits von 95 g CO₂/km im Jahr 2020 beiträgt. Innovationen bei der Kraftstoffeinspritz- und der Aufladetechnik haben die Kenndaten von Dieselmotoren auf das heutige Niveau getrieben. **BILD 1** veranschaulicht die Entwicklung der Leistungsdichte, ausgehend von circa 20 kW/l

bei Saugmotoren in den 1980er-Jahren. Die Kombination von Direkteinspritzung (DI) und Monoturbolader mit variabler Turbinengeometrie (VTG) ermöglicht heute Leistungsdichten von 50 bis 80 kW/l. Durch den Einsatz von Mehrfach-Turboaufladungskonzepten sind Leistungsdichten von 100 kW/l erreichbar, und dank neuer Aufladetechnologien, wie die der elektrogetriebenen Strömungsverdichter (E-Turbo), werden sich diese bei kommenden Dieselmotorgenerationen noch weiter steigern lassen.

Diese beeindruckende Anhebung der Leistungsdichte konnte jedoch nur gelingen, indem alle im Energiefluss befindlichen mechanischen Komponenten eben-

falls weiterentwickelt wurden. Dabei standen insbesondere die stangenseitigen Pleuellagerschalen im Fokus, da diese von allen innermotorischen Gleitlagern die höchste Belastung erfahren. Waren bei Saugmotoren vor einigen Jahren hierfür noch Lagerschalen aus bleihaltigem Bronzelegermaterial mit ebenfalls bleihaltigen, galvanisch abgeschiedenen Laufschriften ausreichend, so mussten für Dieselmotoren mit Turboaufladung und später mit Direkteinspritzung gänzlich neue Schichtsysteme für Gleitlager entwickelt werden: Anfang der 1980er-Jahre setzten einige wenige Gleitlagerhersteller erstmals einen Sputterprozess zur Großserienbeschichtung von Pleuellagern für Dieselmotoren

Sputterlager für hochaufgeladene Dieselmotoren

Durch die Einführung des Direktinspritzverfahrens und der Turboaufladung hat sich die spezifische Leistung von Pkw-Dieselmotoren in den vergangenen drei Jahrzehnten verfünffacht. Insbesondere getrieben durch neue Aufladungskonzepte wird sich dieser Trend auch in Zukunft fortsetzen. Damit werden auch die dynamischen Belastungen der Pleuellager in Dieselmotoren weiter zunehmen. Eine innovative Sputterlagergeneration von Pleuenschmidt, basierend auf einer Direkt-sputterbeschichtung, trägt dieser Entwicklung Rechnung.

AUTOREN



Dr. Klaus Damm
ist Leiter des Bereichs
Anwendungstechnik und Qualität
bei der KS Gleitlager GmbH
in St. Leon-Rot.



Dr. Klaus Pucher
ist Leiter des Bereichs
Forschung und Entwicklung
bei der KS Gleitlager GmbH
in St. Leon-Rot.



Athanassios Skiadas
ist Leiter der Abteilung
Anwendungstechnik – motorische
Gleitlager und Simulation
bei der KS Gleitlager GmbH
in St. Leon-Rot.



Mario Witt
ist Leiter der Abteilung
Tribologie und Prüfung
bei der KS Gleitlager GmbH
in St. Leon-Rot.

ein. Mit der Ratifizierung der EU-Altauto-richtlinie Anfang des Jahrtausends musste die Sputtertechnologie auf bleifreie Lagermaterialien umgestellt werden. Heute verfügen weltweit nur wenige Hersteller über die zur Großserienfertigung von Sputterlagern notwendige Prozesstechnologie.

KOMBINATION VON MESSINGLAGERMATERIAL UND DIREKTGESPUTTERTER LAUFSCHICHT

Konventionelle bleifreie Sputterlager, deren Aufbau in **BILD 2** (links) schematisch dargestellt ist, basieren auf einer Kupferlegierung als Lagermaterial. Sie werden als Stahl-Verbund-Werkstoff zu

einer Lagerschale umgeformt, ihre endbearbeitete Lauffläche wird mittels Sputterverfahren mit einer 10 bis 20 µm dicken Aluminiumlegierung beschichtet. Um diesen Schichtverbund aus niedriglegierten Kupferlegierungen (zum Beispiel Bronzen mit 4 bis 8 % Zinn) und zinnhaltigen Aluminiumlegierungen (zum Beispiel AlSn20Cu1) thermisch zu stabilisieren, muss eine Diffusionssperre zwischen Lagermaterial und Lauffschicht eingebracht werden [2]. Die hierfür in der Regel eingesetzten Nickel- oder Nickel-Chrom-Zwischenschichten weisen allerdings ein sehr ungünstiges Fressverhalten gegenüber der Stahlwelle auf, was die Robustheit (etwa bezüglich Kantentrag

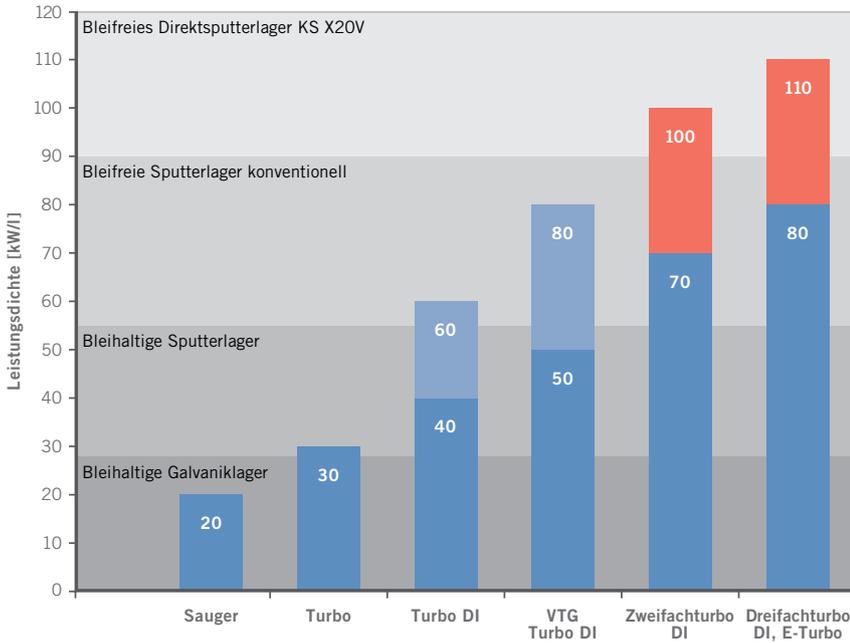


BILD 1 Leistungsdichte unterschiedlicher Dieselmotorenbauarten und die dafür geeigneten Pleuellager-Schichtsysteme

oder Fremdpartikelverträglichkeit) von konventionellen Sputterlagern limitiert. Deshalb beschreitet Kolbenschmidt bei dem patentierten Gleitlagerkonzept KS X20V neue Wege:

- Durch die Verwendung einer gegossenen Sondermessinglegierung (CuZn20Al2Mn2Ni2Fe1) als Lagermaterial kann auf eine Diffusionsperre vollständig verzichtet und damit die Sputterlaufschicht direkt

auf das Lagermaterial abgeschieden werden, **BILD 2** (rechts). Dies hat den Vorteil, dass der Welle über die gesamte Motorlebensdauer ein tribologisch optimaler Reibpartner zur Verfügung steht. Dies gilt auch bei erhöhtem Kantentrag und bei einer möglichen Laufschichtbeschädigung durch Fremdpartikel, womit eine hohe Robustheit der Lagerstelle gewährleistet ist.

- Des Weiteren kommt als Laufschicht eine deutlich höher legierte Aluminiumlegierung (AlSn25Cu2.5) zum Einsatz, deren Zinnweichphasenanteil gegenüber herkömmlichen Sputterschichten um 25 % erhöht wurde, was sich positiv auf die Fresssicherheit auswirkt. Aufgrund des 2,5-fachen Kupfergehalts und der damit verbundenen größeren mechanischen Festigkeit zeigt sich diese Sputterschicht sowohl höher belastbar als auch verschleißfester. Anzumerken bleibt, dass durch die Legierungsbestandteile Al, Mn und Ni das Sondermessing ein günstiges Korrosionsverhalten in Hinblick auf die Verwendung von Biokraftstoffen und den Einsatz niedrigviskoser Motorenöle mit neuartigen Additivsystemen aufweist [3].

SPUTTERLAGER IM VERGLEICH ZU ANDEREN LAUFSCHICHTSYSTEMEN

Ein speziell bei Kolbenschmidt entwickeltes Lagerprüfstandskonzept dient zur motornahen Erprobung von Gleitlagerwerkstoffen [4]. Mit diesem werden die Lagerfunktionen Fresssicherheit, Anpassungsfähigkeit, Partikelverträglichkeit, Verschleißfestigkeit und Belastbarkeit ermittelt.

Im Fressstest mit 15 m/s Gleitgeschwindigkeit wird eine statische Last stufenweise bis zum Fressen des Gleitlagers erhöht. **BILD 3** zeigt einen Vergleich der Fresssicherheit von unterschiedlichen Schichtsystemen (stets auf kupferbasiertem Lagermaterial) für ein Standardmotorenöl SAE 5W30 und ein niedrigviskoses Motorenöl SAE 0W20 (HTHS 2,6). Durch den Einsatz von niedrigviskosen Ölen steigt der Mischreibungsanteil, damit sinkt bei allen Schichtsystemen die Fresssicherheit. Im Vergleich zu konventionellen Sputterschichten zeigt KS X20V mit beiden Motorenölen eine um 10 % höhere Fresssicherheit, was auf den erhöhten Zinnweichphasenanteil zurückzuführen ist. Galvanikschichten haben aufgrund der geringeren Temperaturbeständigkeit sogar eine um 20 % geringere Fresssicherheit. Die niedrigste Fresssicherheit und den stärksten Abfall beim Übergang von der Viskositätsklasse 5W30 zu 0W20 zeigen die Polymerschichten. Beim Vergleich der Lagertemperaturen fällt auf, dass diese bei polymeren Laufschichten stets um 10 bis 15 °C höher liegen als bei metallischen Laufschichten. Offensichtlich erzeugt die schlechte Wärmeleitung des Polymers

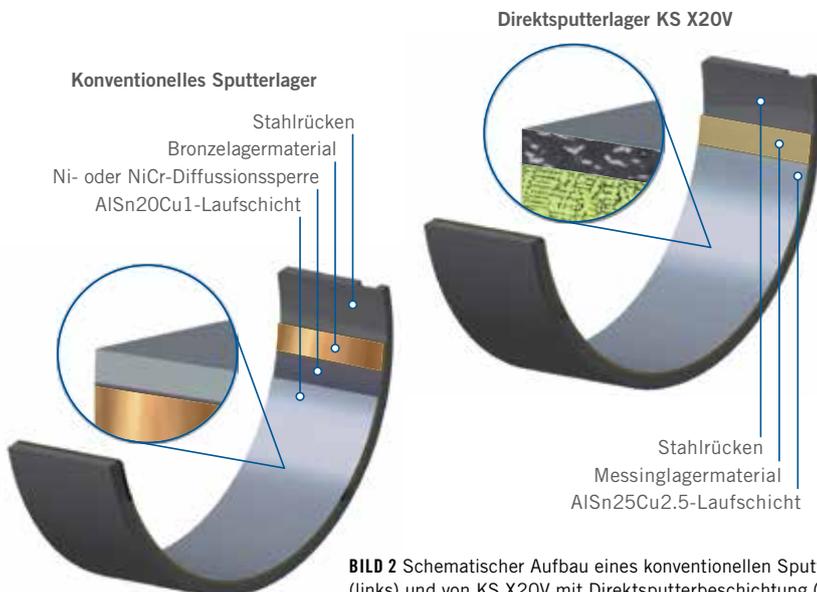


BILD 2 Schematischer Aufbau eines konventionellen Sputterlagers (links) und von KS X20V mit Direktsputterbeschichtung (rechts)

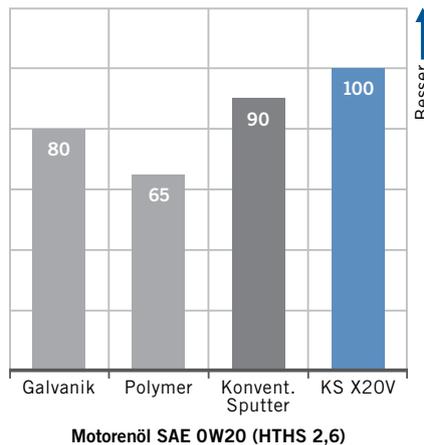
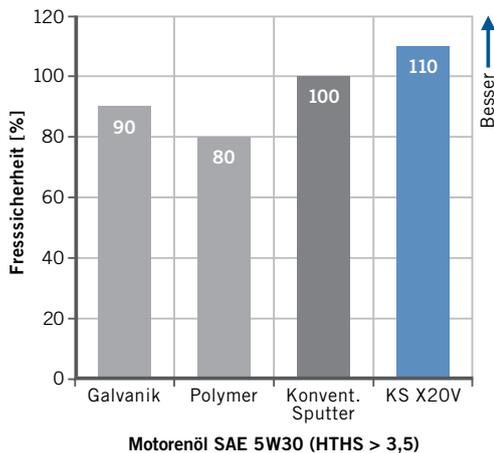


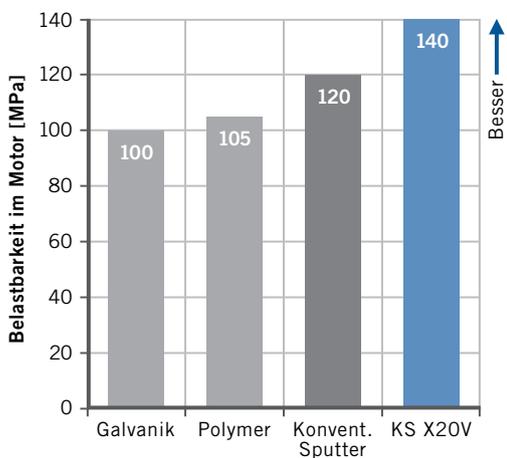
BILD 3 Fresssicherheit unterschiedlicher Schichtsysteme in Abhängigkeit vom Motorenöl

Wie in **BILD 5** (links) dargestellt, wird dabei das Zweistofflager deckelseitig und das Sputterlager stangenseitig verbaut. Dies resultiert aus der unterschiedlichen dynamischen Belastung der beiden Lagerschalen, welche heutzutage mittels elasto-hydrodynamischer Simulationen (EHD-Simulation) ermittelt werden.

BILD 5 (rechts) zeigt beispielhaft das Ergebnis einer solchen EHD-Simulation: Resultierend aus den Massenkräften erfährt die deckelseitige Lagerschale beim Gaswechsel-OT (oberer Totpunkt) ihre maximale Belastung. Allerdings ist diese um ein Vielfaches niedriger als die maximale Belastung der stangenseitigen Lagerschale beim Zünd-OT. Deshalb kann auf der Deckelseite das Zweistofflager KS R25 eingesetzt werden, welches durch seine ausgezeichnete Einbettfähigkeit für Fremdpartikel und Anpassungsfähigkeit die Robustheit des gesamten Pleuellagersystems deutlich erhöht.

Neben dem Zünddruck beeinflusst auch die dimensionale Auslegung (Lagerdurchmesser und -breite) die maximale Belastung des Pleuellagers wesentlich. Aber auch die Ölviskosität, die Wellenqualität und die elastische Vorformung von Pleuel und Welle müssen berücksichtigt werden. Ausgehend von einem modernen Dieselmotorenkonzept, welches reiboptimierte Lagerdimensionierung, Pleuel- und Kurbelwellenleichtbau, niedrige Ölviskosität und hohen Zünddruck vereint, stellt man fest, dass konventionelle Sputterlager im Bereich einer Leistungsdichte von circa 90 kW/l an ihre Leistungsgrenze stoßen, **BILD 1**.

In **BILD 6** sind die maximalen Leistungsdichten der Dieselmotoren europäischer OEMs in Bezug auf das Jahr des Produktionsstarts dargestellt [6]. Für den Zeitraum 2005 bis heute konnten die maximalen spezifischen Belastungen der stangenseitigen Pleuellager anhand der bekannten Auslegungsdaten ermittelt werden. Auch wenn diese Daten für zukünftige Motorenkonzepte noch nicht vorliegen, so kann man bereits heute ein weiteres Ansteigen der spezifischen Pleuellagerbelastung prognostizieren, welche über den Leistungsbereich konventioneller Sputterlager hinausgeht. Mit einer Belastbarkeit von 140 MPa



Sputterlager mit 120 MPa eine deutlich höhere Belastbarkeit als Galvanik- oder Polymerlager mit 100 beziehungsweise 105 MPa. Die Kombination eines Messinglagermaterials und der hochlegierten Direktsputterschicht bei KS X20V weist mit 140 MPa die mit Abstand höchste Belastbarkeit aller am Markt verfügbaren Pleuellagerwerkstoffe auf.

Im Dauerlaufstest mit 120 MPa wird nach $2,5 \cdot 10^7$ Lastwechseln der Pleuellagerverschleiß bestimmt, **BILD 4** (unten). Nach diesem Lebensdauerstest zeigen die Galvanik- und Polymerschichten durch die hohe dynamische Belastung Oberflächenzerrüttung. Der damit einhergehende erosive Abtrag resultiert in einer um 20 beziehungsweise 25 % niedrigeren Verschleißfestigkeit gegenüber konventionellen Sputterschichten. Dagegen ist die Verschleißfestigkeit von KS X20V in diesem Lebensdauerstest um 30 % erhöht, was durch den 2,5-fachen Kupfergehalt und der damit verbundenen hohen mechanischen Festigkeit der Direktsputterschicht begründet ist.

Infolge der sehr hohen Belastbarkeit von Sputterschichten können deutlich höhere Schichtdicken realisiert werden, damit ergibt sich eine bessere Partikelverträglichkeit im Vergleich zu Galvanik- und Polymerschichten. Bei KS X20V wird diese Eigenschaft durch den Verzicht auf die sehr harten Nickel- oder Nickel-Chrom-Zwischenschichten weiter verbessert.

EINSATZ ALS PLEUELLAGER HOCHBELASTETER DIESELMOTOREN

Im Pleuellager moderner Dieselmotoren kommt das Direktsputterlager KS X20V stets als Halbschalenkombination mit dem Zweistofflager KS R25 zum Einsatz.

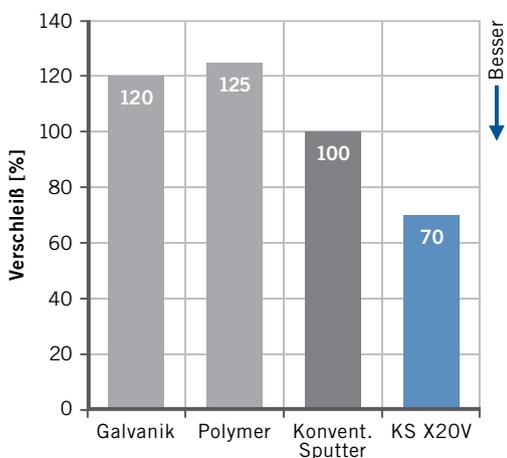


BILD 4 Belastbarkeit (oben) und Pleuellagerverschleiß (unten) unterschiedlicher Schichtsysteme

einen Wärmestau im Lager, der die Fresssicherheit markant reduziert.

Bei der im Dauerlaufstest nach $2,5 \cdot 10^7$ Lastwechseln (Hochfrequenzpulsator) ermittelten Belastbarkeitsgrenze, **BILD 4** (oben), haben bereits konventionelle

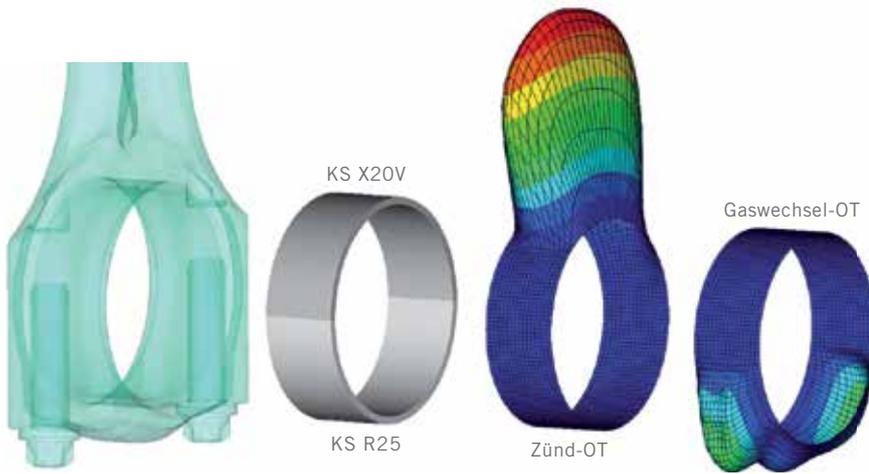


BILD 5 Simulation der dynamischen Belastung der stangen- und deckelseitigen Pleuellagerschalen (geringe Belastung blau, hohe Belastung rot)

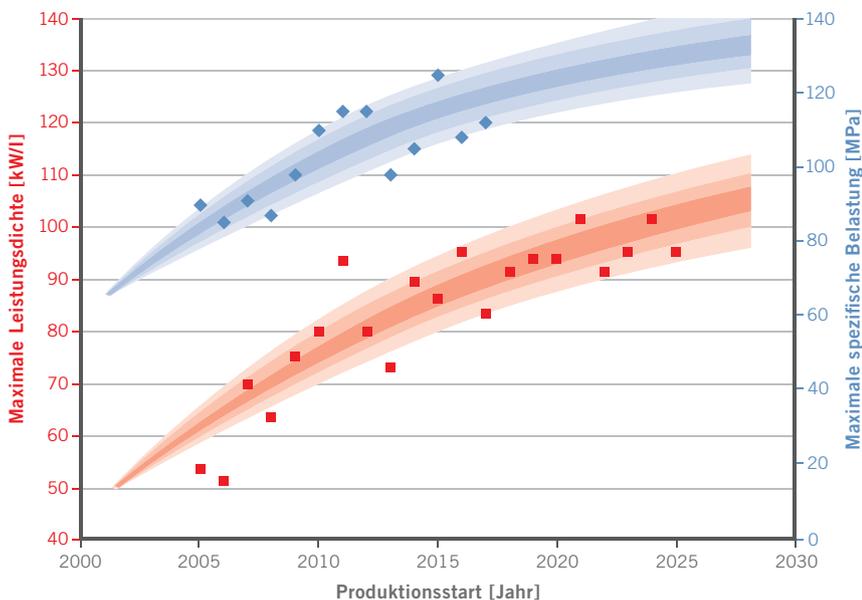


BILD 6 Trend der maximalen Leistungsdichte und der maximalen spezifischen Pleuellagerbelastung

eignet sich das Direktsputterlager KS X20V einerseits für diesen Hochleistungsbereich. Andererseits ermöglicht es auch eine reiboptimale Dimensionierung des Pleuellagers bei Volumenmotoren mit niedrigeren Leistungsdichten. Damit erlaubt es den Motorentwicklern auch in den kommenden Jahren eine konsequente Weiterentwicklung des Dieselmotors in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Effizienz.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Direktsputterlager KS X20V wurde für hochbelastete Pleuellager moderner Dieselmotoren entwickelt. Aufgrund seiner sehr hohen dynamischen Belastbarkeit von 140 MPa ist es für kommende Dieselmotorgenerationen, deren Aufladungskonzepte (zum Beispiel E-Turbo) die Leistungsdichte und damit auch die

Pleuellagerbelastung weiter erhöhen werden, besonders geeignet. Das Direktsputterlager kombiniert zudem eine hohe dynamische Belastbarkeit mit hoher Fresssicherheit sowie niedrigem Verschleiß. Es ermöglicht so einen deutlich größeren Gestaltungsspielraum bei der reiboptimierten Auslegung des Grundmotors. Die Paarung aus dem Direktsputterlager KS X20V auf der Stangenseite mit dem deckelseitig verbauten Zweistofflager KS R25 garantiert eine hohe Robustheit der Pleuellagerung auch bei ungünstigen Betriebsbedingungen, wie Kantentrag oder Verunreinigungen mit Restschmutz, und damit eine zuverlässige und langlebige Funktion.

Nachdem KS X20V in den vergangenen Jahren erfolgreich in die Großserie überführt werden konnte, wird neben der Weiterentwicklung des Direktsputterlagerkonzepts momentan die Möglichkeiten zur Anwendung dieser Technologie bei Hochleistungs-Ottomotoren untersucht, die bereits heute in Kleinserie Leistungsdichten von 130 kW/l erreichen.

LITERATURHINWEISE

- [1] Zulassungsstatistik des Kraftfahrtbundesamts (www.kba.de)
- [2] Damm, K.; Höne, W.; Reinicke, R.; Skiadas, A.: Gleitlager im Automobil. Verlag Moderne Industrie, 2009, S. 46 ff.
- [3] Dies, K.: Kupfer- und Kupferlegierungen in der Technik. Springer-Verlag, 1967, S. 344 ff.
- [4] Damm, K.; Skiadas, A.; Witt, M.; Schwarze, H.: Gleitlagererprobung anhand der Forderungen des Automobilmarkts. In: ATZextra „100 Jahre Kolbenschmidt Pierburg“, 2010, S. 54-63
- [5] Berg, M.; Skiadas, A.; Schubert, W.: Ölkreislauf von Verbrennungsmotoren II. Expert-Verlag, 2007, S. 146 ff.
- [6] Analyse auf Basis IHS-Motorendatenbank (www.ihs.com)



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.springerprofessional.de/MTZ



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
 order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com



Ich bin das K und das S.

Ich bin das P und das G.

Ich bin das A und das O Ihres Motors.

Wenn wir Kolben und Pumpen, Ventile und Gleitlager entwickeln, dann tun wir das mit Herzblut. Ihr Antrieb ist unser Motor. Und Ihre Herausforderungen sind unser Ansporn, Sie mit maßgeschneiderten, innovativen Komponenten zu versorgen. Bei Kolbenschmidt, Pierburg und Motorservice arbeiten wir an der Mobilität der Zukunft. Nicht im Alleingang, sondern gemeinsam mit Ihnen.*

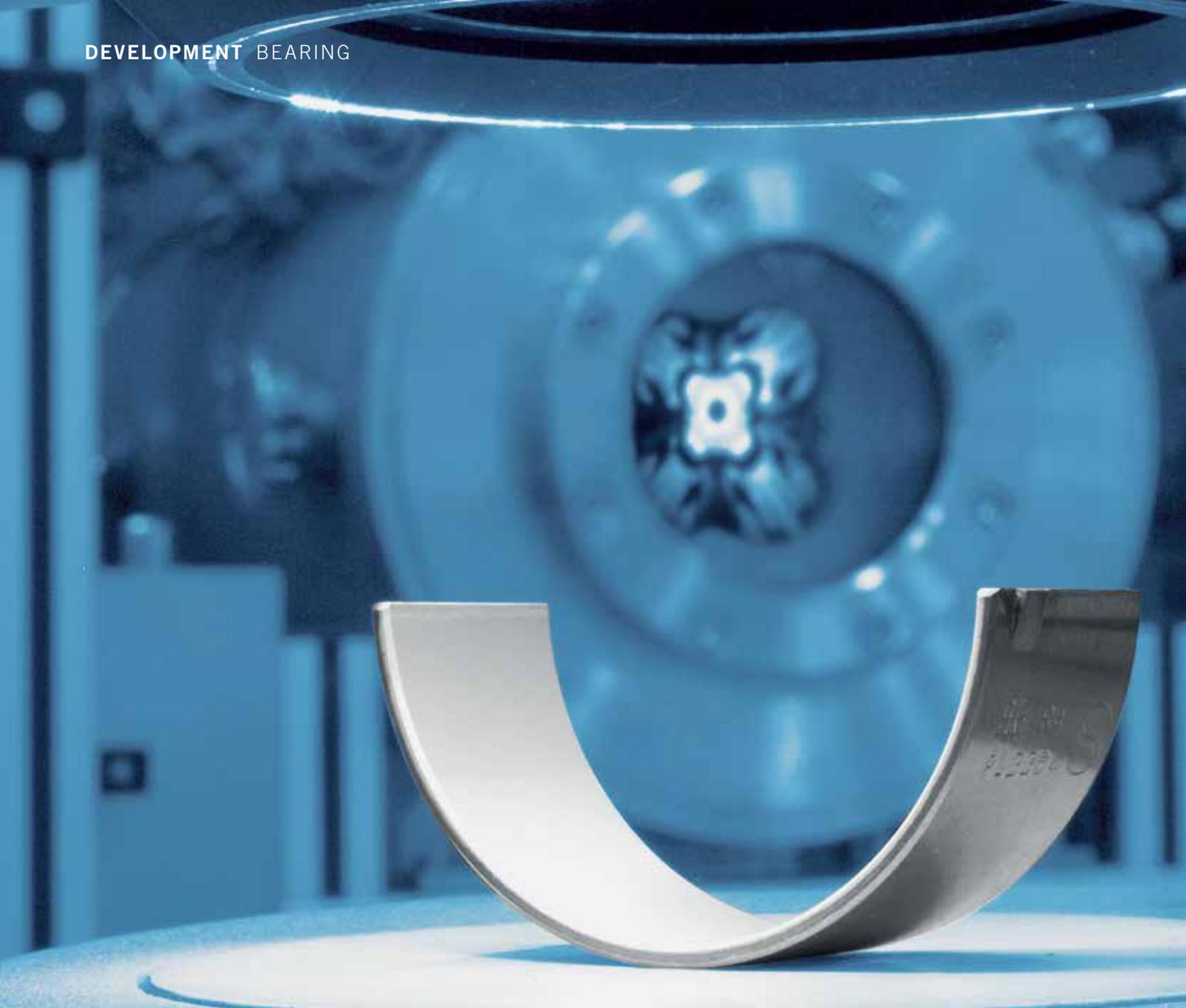
*** UNSER HERZ SCHLÄGT FÜR IHREN ANTRIEB.**

 KOLBENSCHMIDT

 PIERBURG

 MOTORSERVICE

KSPG
Automotive



STEADY INCREASE IN THE POWER DENSITY OF DIESEL ENGINES

In Europe, diesel engines are an extremely popular means of powering passenger vehicles. For example, nearly half of all new cars in Germany have a diesel engine [1], a trend that is helping manufacturers meet the mandatory fleet consumption limit of 95 g CO₂/km in 2020. Innovations in fuel injection technology and turbocharging have pushed the performance of diesel engines to their current high level. **FIGURE 1** illustrates the trend in power density since the 1980s, beginning at approximately 20 kW/l with naturally aspirated engines.

The combination of direct injection (DI) and mono turbochargers with variable turbine geometry (VTG) enables power densities in the 50 to 80 kW/l range. With multi-turbocharger concepts, a power density of 100 kW/l is attainable, while new turbocharging technologies such as electrically driven compressors (e-turbo) will lead to yet further increases in power density.

These impressive gains in power density would have been impossible without the simultaneous improvement of every mechanical component involved in the transmission of the power generated. This is particularly true of the upper con-rod bearing shells, since these are

subject to heavier loads than any other plain bearings in the engine. In naturally aspirated engines, bearing shells made of a lead bronze lining material with a lead-based, electroplated running layer sufficed just a few years ago. However, diesel engines with turbochargers and later with direct fuel injection required the development of entirely new bearing layer systems: At the beginning of the 1980s, a sputter process was used for coating con-rod bearings for diesel engines for the first time on a large scale. Ratification of the EU End-of-Life Vehicle Directive in the early years of the 21st century made a shift to sputter technology using lead-free lining materials an

Sputter Bearings for Highly Charged Diesel Engines

Over the past three decades, the introduction of direct fuel injection and turbocharging has resulted in a five-fold increase in the power density of passenger car diesel engines. Owing in particular to new turbocharging concepts, this trend is set to continue in the future, meaning that the dynamic load on the con-rod bearings in diesel engines will increase. An innovative sputter bearing from Kolbenschmidt, based on a direct sputter coating, meets the requirements of the latest engine designs.

AUTHORS



Dr. Klaus Damm
is Vice-President Application Engineering and Quality at the KS Gleitlager GmbH in St. Leon-Rot (Germany).



Dr. Klaus Pucher
is Vice-President Research and Development at the KS Gleitlager GmbH in St. Leon-Rot (Germany).



Athanassios Skiadas
is Senior Manager Application Engineering – Engine Bearings and Simulation at the KS Gleitlager GmbH in St. Leon-Rot (Germany).



Mario Witt
is Senior Manager Tribology and Testing at the KS Gleitlager GmbH in St. Leon-Rot (Germany).

imperative. Today very few manufacturers worldwide possess the necessary process technology for producing sputter bearings on a large-scale.

COMBINATION OF BRASS LINING MATERIAL AND DIRECTLY SPUTTERED RUNNING LAYER

A conventional lead-free sputter bearing, whose design is schematically depicted in **FIGURE 2** (left), is based on a copper alloy lining material, formed as a steel composite material into a bearing shell, with a finished running surface coated by means of a sputtering process with a 10 to 20 μm -thick aluminium alloy.

In order to thermally stabilise this composite coating consisting of a low-alloyed copper alloy (e.g. bronze with 4 to 8 % tin) and tin-containing aluminium alloy (e.g. AlSn20Cu1), a diffusion barrier must be applied between the lining material and the running layer [2]. However, the nickel or nickel-chrome normally used for these interlayers reveals high seizure behaviour, when exposed, against a steel shaft, thus limiting the robustness of conventional sputter bearings for example with edge loading or embeddability of foreign particles. This weakness of the conventional sputter bearing lead Kolbenschmidt to adopt a new approach with its patented KS X20V plain bearing concept:

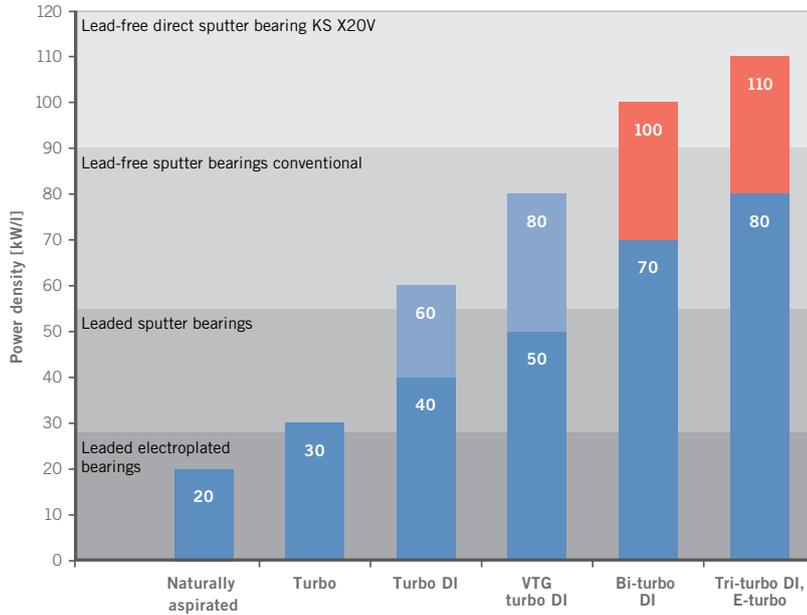


FIGURE 1 Power density of different types of diesel engine and suitable con-rod bearing layer systems

- By using a special cast brass (CuZn20Al2Mn2Ni2Fe1) as the lining material, it is possible to dispense entirely with a diffusion barrier, meaning that the sputter running layer can be applied directly onto the lining material, FIGURE 2 (right). This has the advantage of assuring that the shaft has a tribologically optimal partner surface throughout the entire engine life time, even in the case of heavy edge loading or possible damage due to foreign particles, thus assuring the robustness and durability of the bearing system.
- Furthermore, a significantly higher-alloyed aluminium alloy (AlSn25Cu2.5) is used for the running layer, whose soft tin phase share is increased by 25 % compared with conventional sputter layers, which also has a positive impact on seizure resistance. Owing to the 2.5 times copper content and the resulting enhanced mechanical strength, this direct sputter layer has both higher loadability and more resistance to wear.

It should be noted that due to the presence of the alloying elements aluminium, manganese and nickel, the special brass displays favourable corrosion behaviour with respect to biofuels and the use of low-viscosity engine oils with new additive systems [3].

SPUTTER BEARINGS COMPARED WITH OTHER RUNNING LAYER SYSTEMS

A bearing test rig concept specially developed by Kolbenschmidt enables trials of plain bearing materials to be conducted in an engine-like environment [4]. It is used for determining the seizure resistance of bearings as well as their adaptability, wear resistance, particle compatibility and load capability.

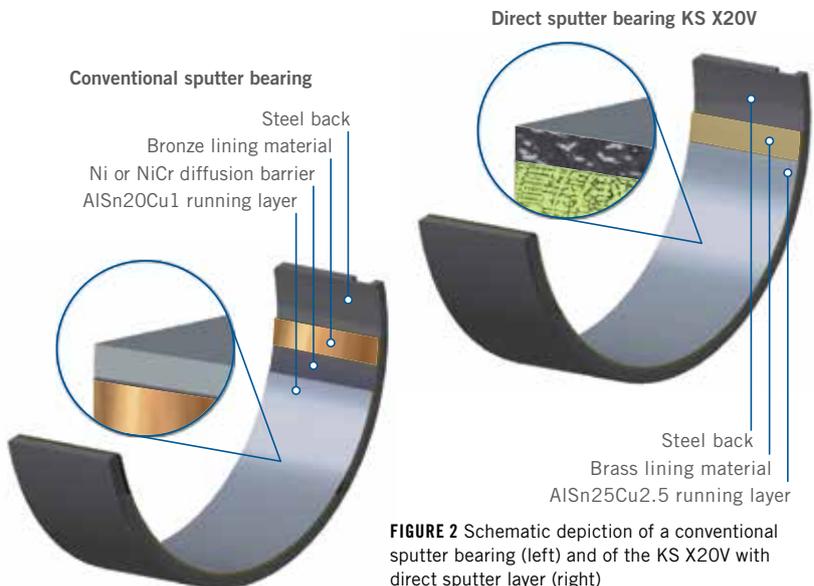


FIGURE 2 Schematic depiction of a conventional sputter bearing (left) and of the KS X20V with direct sputter layer (right)

In the seizure test with 15 m/s sliding speed, a static load is gradually increased until the bearing seizes. FIGURE 3 depicts a comparison of the seizure resistance of different layer systems, always on a copper-based lining material, for SAE 5W30 standard engine oil and SAE 0W20 (HTHS 2.6) low-viscosity engine oil. The use of low-viscosity oils increases the mixed friction regime, thus reducing seizure resistance of all coating systems. Compared with conventional sputter layers, KS X20V displays 10 % higher seizure resistance with both engine oil types. This is due to the increased content of the soft tin phase. Moreover, owing to their lower thermal stability, electroplated coatings offer 20 % lower resistance to seizure. Polymer layers display the lowest resistance to seizure and the greatest decline when going from 5W30 to 0W20. When the bearing temperatures are compared, it is evident that the polymer running layers are always between 10 and 15 °C higher than the metal running layers. Evidently, the poor conductivity of polymer results in heat build-up in the bearing, leading to a marked reduction in seizure resistance.

At the load limit determined under sustained operation in a test after 2.5·10⁷ load changes (high-frequency pulsator), FIGURE 4 (top), even conventional sputter bearings display significantly higher load capability at 120 MPa, than electroplated or polymer bearings with 100 or 105 MPa, respectively. At 140 MPa, the

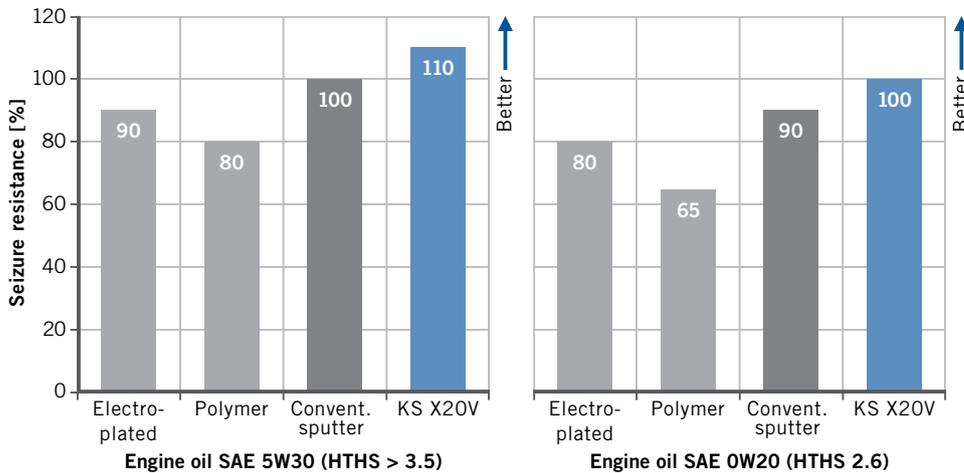


FIGURE 3 Seizure resistance of various layer systems relative to different engine oils

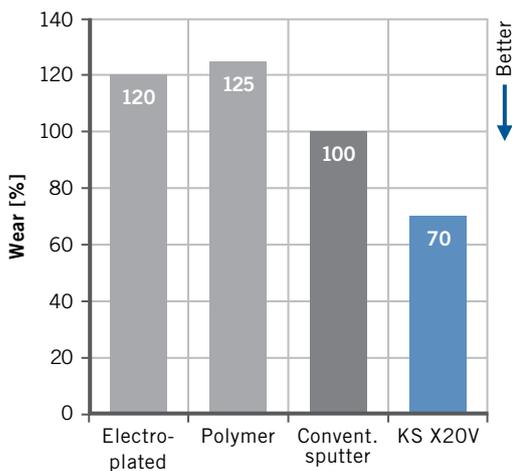
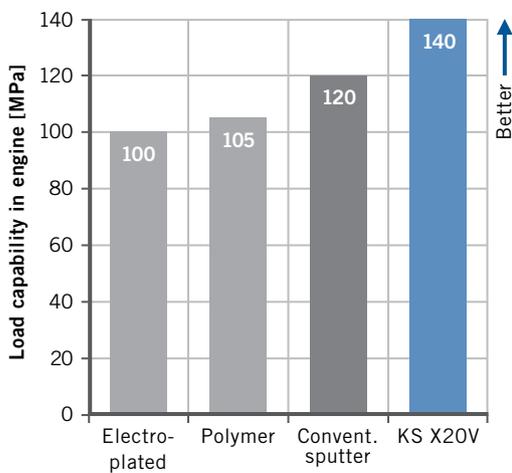


FIGURE 4 Load capability (top) and con-rod wear (bottom) of various layer systems

combination of a brass lining material and a high-alloyed direct sputter layer in the KS X20V bearing demonstrates by the far the highest load capability of all

con-rod bearing materials available on the market.

In a test sustained at 120 MPa, connecting rod bearing wear is determined after $2.5 \cdot 10^7$ load cycles, FIGURE 4 (bottom). After this full life-time test, the electroplated and polymer coatings suffered from surface erosion due to the high dynamic load. The erosion resulted in 20 and 25 % lower wear resistance compared with conventional sputter layers. Conversely, the wear resistance of KS X20V in this life-time test rose by 30 % due to the 2.5 times copper content and accompanying high mechanical strength of the direct sputter layer.

Owing to the very high stability of sputter coatings, significantly thicker layers can be applied than electroplated and polymer coatings, resulting in better particle compatibility. In the case of KS X20V this characteristic is further improved by dispensing with the very hard Ni or NiCr interlayers.

APPLICATION FOR HIGHLY LOADED DIESEL ENGINE CON-RODS

In the con-rod bearings of modern diesel engines, the KS X20V direct sputter bearing is always used as a half-shell combination with a KS R25 bi-metal bearing. Here, as depicted in FIGURE 5 (left), the bi-metal bearing is installed on the lower cap shell position, while the sputter bearing is installed on the upper rod side. The two different materials are used as a consequence of the different dynamic loads on both bearing shells, which today is determined by means of electro-hydro dynamic simulation methods (EHD simulation).

FIGURE 5 (right) is an example of an EHD simulation. Resulting from the inertial forces, the bearing shells on the lower side experience their maximum load during the gas exchange upper dead centre (UDC). However, this is many times lower than the maximum load on the bearing shell on the upper position at the ignition upper dead centre. This means that the KS R25 bi-metal bearing can be used on the lower side, whose excellent embedding capability for foreign particles and adaptability substantially improves the robustness of the entire con-rod bearing system.

Besides the ignition pressure, the bearing diameter and width mainly influences the maximum load on the con-rod bearing. But other factors such as the oil viscosity, shaft quality and the elastic bending of the con-rod and shaft must also be taken into account. Given modern diesel engine concepts that combine friction-optimised bearing dimensions, lightweight connecting rods and crankshafts, low oil viscosity and high ignition pressure, it is evident that conventional sputter bearings reach their performance limits at a power density of approximately 90 kW/l, FIGURE 1.

FIGURE 6 depicts the maximum power density of diesel engines of European OEMs with regard to the year introduced [6]. For the period 2005 until today, the maximum specific loads of the upper con-rod bearings have been determined using the known design data. Even if such data is not yet available for future engine concepts, it is possible today to predict a further increase in specific con-rod bearing load that exceeds the performance limits of conventional sputter bearings. On the one hand, with a load capacity of 140 MPa, the KS X20V direct sputter bearing is suitable for such high-performance designs but on the other hand, it also enables friction-optimised dimensioning of the con-rod bearings in high-volume engines with lower power densities, thus giving future engine designers freedom for the systematic enhancement of diesel engines with respect to performance and efficiency.

SUMMARY AND OUTLOOK

The KS X20V bearing was developed for highly loaded con-rod bearings in modern diesel engines. On account of its very high dynamic load capability of 140 MPa,

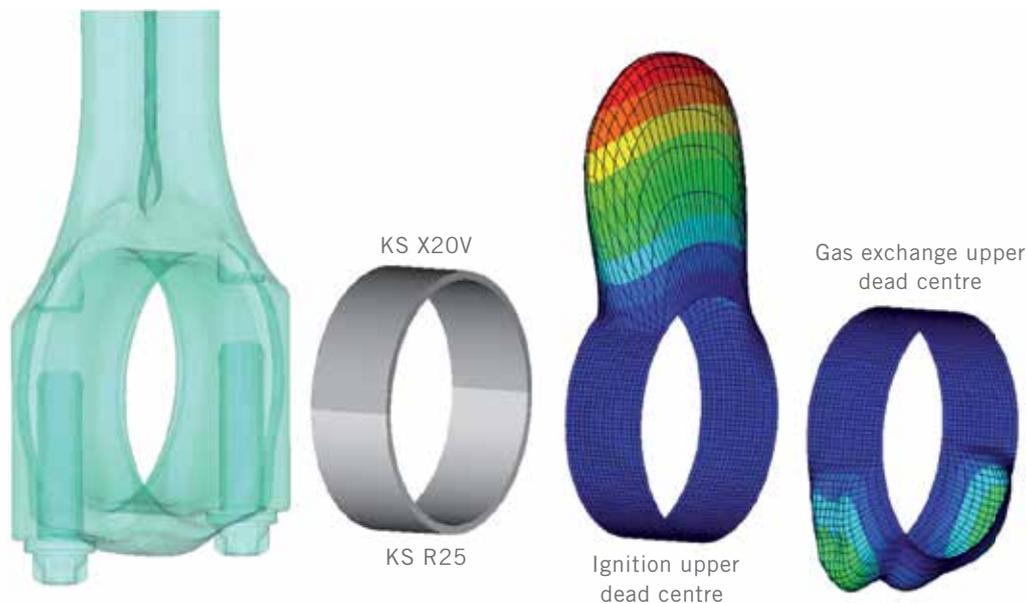


FIGURE 5 Simulation of the dynamic load on con-rod bearing shells on the upper and lower position (low stress blue, high stress red)

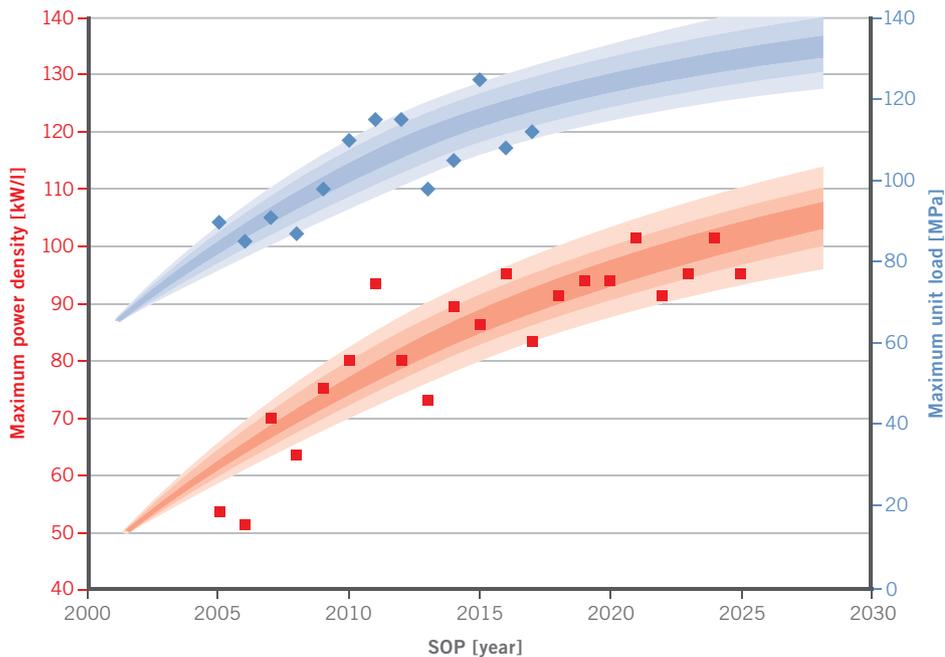


FIGURE 6 Trend in maximum power density and maximum rod bearing unit load

it is especially well suited to future generations of diesel engines whose turbo-charger concepts (e.g. e-turbo) will lead to a further increase in power density and, with it, higher load for the con-rod bearings. The direct sputter bearing combines a high dynamic load capability with a high degree of seizure resistance as well as low wear, thus enabling significantly greater freedom of action in the low-friction design of the basic engine. Coupling the KS X20V direct sputter bearing on the rod side with the KS R25 bi-metal bearing on the cap side of a diesel con-rod guar-

antees a highly robust system which even under unfavourable operating conditions such as edge loading or contamination with foreign particles, gives a reliable and long life-time function.

With the KS X20V bearing having successfully entered large-scale series production in recent years, engineers, besides working to enhance the direct sputter concept, are now examining possibilities for applying this technology in high-performance gasoline engines, which, manufactured in small production series, already reach a power density of 130 kW/l.

REFERENCES

[1] Registration statistics of the Federal Motor Vehicles Office (www.kba.de)
 [2] Damm, K.; Höne, W.; Reinicke, R.; Skiadas, A.: Gleitlager im Automobil. Publisher Moderne Industrie (2009), pp. 46 ff.
 [3] Dies, K.: Kupfer- und Kupferlegierungen in der Technik. Publisher Springer (1967), pp. 344 ff.
 [4] Damm, K.; Skiadas, A.; Witt, M.; Schwarze, H.: Gleitlagererprobung anhand der Forderungen des Automobilmarkts. In: ATZextra „100 Jahre Kolbenschmidt Pierburg“, 2010, pp. 54-63
 [5] Berg, M.; Skiadas, A.; Schubert, W.: Ölkreislauf von Verbrennungsmotoren II. Publisher expert (2007), pp. 146 ff.
 [6] Analysis based on HIS engine data base (www.ihs.com)