

Erweitertes Anwendungsfeld für die Lasertechnik

# Mit dem Laserstrahl die Haftreibung erhöhen

Oberflächen mit hoher Haftreibungsfunktionalität werden für zukunftsfähige Problemlösungen zunehmend benötigt. Hierzu erfolgt die Substitution konventioneller Fertigungsprozesse durch modifizierte Laserbearbeitungsverfahren.

VON GERHARD FLORES UND  
ANDREAS WIENS

→ Neue Fertigungstechnologien und modernes Bauteildesign bestimmen die Prozessketten zur Herstellung hochwertiger Komponenten. Die Laser-Oberflächenbearbeitung von Komponenten von Verbrennungsmotoren findet zunehmend funktionale und fertigungstechnische Bedeutung. Die tribologischen Anforderun-

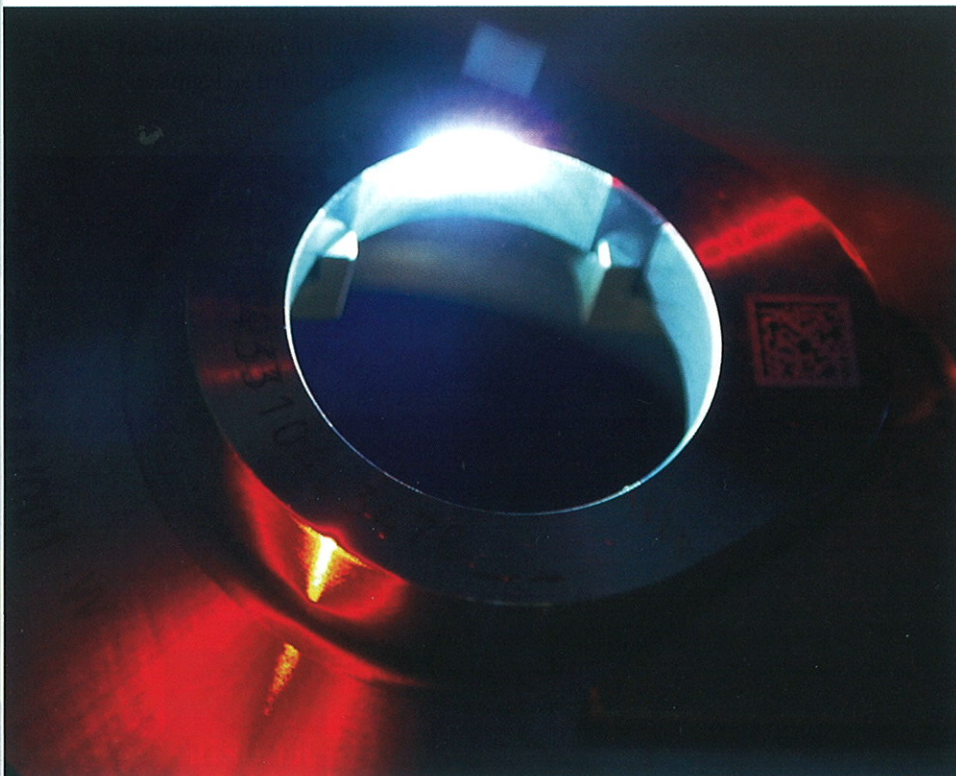
gen an eine zu bearbeitende Oberfläche können dabei je nach Funktion sehr unterschiedlich sein. Die Oberfläche einer Zylinderbohrung eines Verbrennungsmotors soll die mechanischen Funktionen Dichten, Gleiten und Führen erfüllen. Sie erfordert topografische Spezifikationen, welche zur Reibungsminimierung beitragen. Es werden mit dem Laserstrahl Vertiefungen in der Bohrungsoberfläche generiert. An den Kanten dieser Vertiefungen entsteht ein konvergierender Schmierspalt, welcher

## i HERSTELLER

**Gehring Technologies GmbH**  
73760 Ostfildern  
Tel. +49 711 3405-0  
[www.gehring.de](http://www.gehring.de)  
EMO Halle 11, Stand D58

die Ausbildung einer hydrodynamischen Vollschröpfung begünstigt und damit Reibung und Verschleiß minimiert [1]. Dieses Bearbeitungsverfahren wird seit vielen Jahren in der Serienfertigung von Zylinderbohrungen mit Erfolg eingesetzt.

Neben der Anwendung ›Laserstrukturierung in der Zylinderbohrung‹ wird der Laserstrahl zunehmend zum Aufrauen von Oberflächen eingesetzt. In den bisherigen Applikationen sollen erhabene Mikroprofile erzeugt werden, die eine möglichst hohe Haftreibung zum Gegenkörper bewirken. Dabei wird der gepulste Laserstrahl in einem Punkt auf die Materialoberfläche fokussiert, wodurch lokal sehr hohe Intensitäten entstehen. Durch den thermischen Bearbeitungsprozess wird das Material über die Dampf- und Schmelzphase aus der Wechselwirkungszone ausgetrieben. Dies führt zu Schmelzwülsten an den Strukturkanten, die als Erhöhungen aus der Oberfläche herausragen. Diese einzelnen Profilpeaks bestehen daher in Schmelzaufwürfen, welche sich als erhabene Oberflächenstrukturen in ihrer Funktion als Bauteil in der Oberfläche des Gegenkörpers verkrallen und damit eine hohe Haftreibung herstellen. In Bild 1 sind beispielhaft erhabene



Laserstrukturieren von Nocken: Erhabene Mikroprofile sollen die Haftreibung erhöhen

Schmelzgrate an einer laserstrukturierten Vertiefung zu erkennen. Die erhabenen Profilstrukturen bewirken einen Mikroformschluss zwischen den Kontaktflächen, wodurch ein Kraftschluss durch Haftreibung entsteht. Somit können Drehmomente und Schubkräfte verlustfrei übertragen werden.

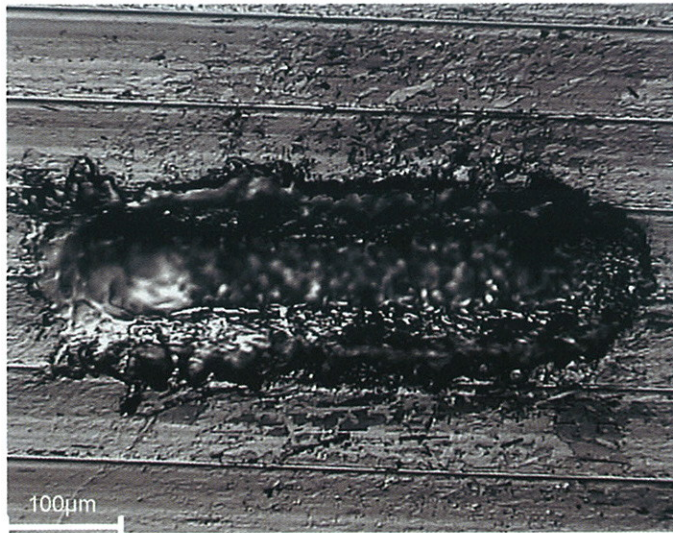
Darüber hinaus haben die erhabenen Schmelzaufwürfe im Bearbeitungsprozess eine Gefügewandlung und Aufhärtung durch steile Temperaturgradienten beim Energieeintrag des Laserstrahls und beim Abkühlen zur Folge. Die erhabenen Peaks bestehen bei ferritischen Werkstoffen aus martensitischem Gefüge. Sie wirken somit aufgrund ihrer erhöhten Härte invasiv auf die Oberfläche des Gegenkörpers ein. Sie drücken sich in die weichere Außenseite der Lagerschale ein und ermöglichen eine betriebssichere Übertragung von Schubkräften oder Drehmomenten. Es kommt dabei zu einer Mikroverzahnung mit dem Gegenkörper. Dabei bildet sich ein Mikroformschluss, der eine hohe Haftreibung ermöglicht. So kann zum Beispiel eine hohe Verdrehsicherheit zwischen zwei Bauelementen erreicht werden.

machen einen derartigen Laserprozess zu einem Verfahren hoher Effizienz hinsichtlich Ausbringung, Qualität, Automatisierbarkeit und Betriebskosten.

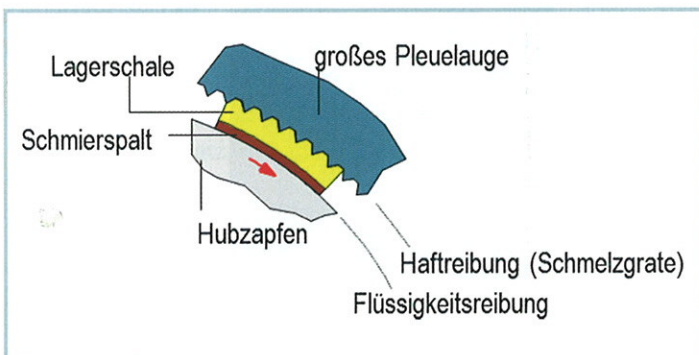
### Laserbearbeitung von Pleuelbohrungen

Durch das Hublager, der Verbindung zwischen Pleuelstange und Kurbelwelle, wird die Hubbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung der Kurbelwelle umgesetzt.

Kurbelwelle. Zwischen dem Hublagerzapfen und der Innenseite der Lagerschale erfolgt eine rotatorische Relativbewegung. Diese Verbindung ist als Gleitlager ausgelegt und soll mit möglichst wenig Reibung arbeiten. Zwischen der Außenseite der Lagerschale und der Pleuelbohrung soll jedoch keine Bewegung stattfinden. Hier ist eine ausreichend hohe Haftreibung gefordert, welche die Reibkräfte innerhalb des Gleitlagers aufnimmt. Eine sichelförmige



1 Schmelzaufwürfe an den Strukturkanten nach der Laserbearbeitung



2 Tribologische Funktion im Pleuel-Stublager

Dieses modifizierte Laserbearbeitungsverfahren findet bei unterschiedlichen Bauteilen zunehmend Anwendung. Umfangreiche Serienerfahrungen liegen inzwischen vor. Die hohe Prozesssicherheit und die qualitative Reproduzierbarkeit

Zwischen dem Hublagerzapfen der Kurbelwelle und der Pleuelbohrung findet dabei eine rotatorische Relativbewegung statt. Der konstruktive Aufbau dieses Lagers besteht in dem großen Pleuelauge, der Lagerschale und der Hublagerzapfen der

Rippe an der Außenseite der Lagerschale oder eine formschlüssige Kontur an der Stirnseite der Lagerschale dienen der axialen Fixierung und erlauben keine Relativbewegung zur Pleuelbohrung, weshalb eine hohe Verdrehsicherheit gefordert ist. Es >>>

**COSCOM**

> 20% Reduzierung der Werkzeugkosten  
mit COSCOM Werkzeugverwaltung

[www.mehr-profit-vor-dem-span.de](http://www.mehr-profit-vor-dem-span.de)

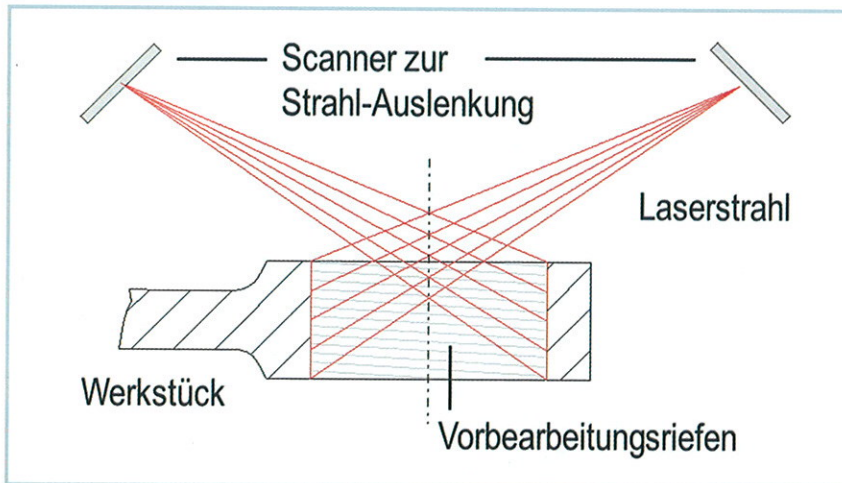
» ist daher ein Kraftschluss erforderlich, der durch die Topografie der Pleuelbohrung die geeignete Verdrehsicherheit durch hohe Haftreibung herstellt.

Je nach Betriebszustand besteht zwischen Hubzapfen und der Innenseite der Lagerschale Grenzreibung, Mischreibung oder Flüssigkeitsreibung (Bild 2). Für eine sichere Funktion des Hublagers muss deshalb in jedem Betriebszustand die Haft-

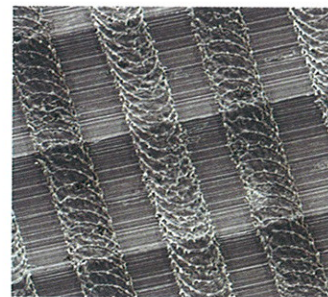
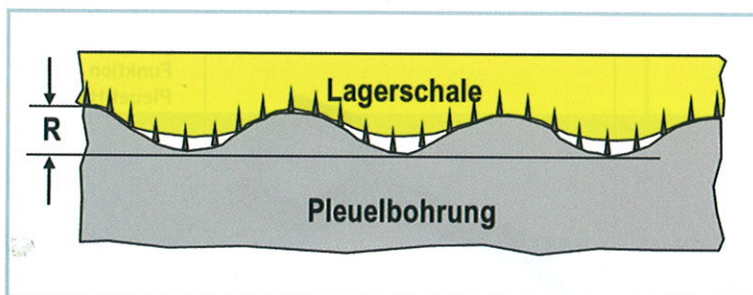
Strukturen in die Oberfläche der Pleuelbohrung mittels Laserstrahlung [2]. Die Strukturierung der Oberfläche erfolgt überwiegend partiell in einzelnen Segmenten auf der Bohrungsfläche. Die Dimensionierung der Segmente und auch der Profilhöhe der Schmelzgrattopografie kann an die jeweiligen Belastungen angepasst werden. Wesentlich ist, dass die Richtung der erhabenen Schmelzgrate normal

bei gleichzeitig höchster Präzision bewegt und somit innerhalb der gewünschten Segmente die Oberfläche strukturiert werden. Zur Bearbeitung des Pleuelauges wird der Laserstrahl in die Bohrung schräg eingestrahlt, fokussiert und zeilenweise über die Oberfläche bewegt (Bild 3). Durch lokale Ablation vom Material entstehen Strukturen mit einer Breite von 60 bis 70  $\mu\text{m}$ . Die Hauptzeit beträgt beim großen Pleuelauge circa 9 s bei einem Bohrungsdurchmesser von circa 50 mm, was zu einer Taktzeit von circa 11 s führt.

Bild 4 zeigt eine laserbearbeitete Oberfläche, bei der die Strukturen zeilenweise mit einem Überlapp der einzelnen Pulse von etwa 60 Prozent ausgebildet sind. Deutlich zu erkennen sind neben der Laserstruktur auch die Drehriefen der Vorbearbeitung. Die Höhe der Schmelzgrate ist deutlich geringer als die Rauheit der feingedrehten Basisoberfläche. Wird die Lagerschale in die Bohrung eingesetzt und verschraubt, können nicht alle Mikrograte einen Formschluss mit der Oberfläche der Lagerschale bilden. So lässt sich die Verdrehsicherheit einerseits über eine Ver-



3 Schräg einfallender Strahl zum Oberflächenstrukturieren



4 Laserstrukturierte Oberfläche im Pleuelauge (vergüteter Stahl)

reibungskraft zwischen der Außenseite der Lagerschale und der Bohrung größer sein als die Reibungskraft zwischen der Innenseite der Lagerschale und dem Hubzapfen.

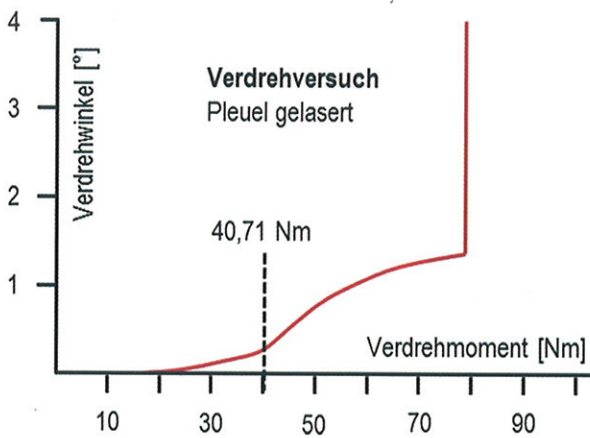
Die konventionellen Prozesse zur Bearbeitung des großen Pleuelauges sind Feinbohren oder Honen. Feinbohren generiert umlaufende Riefen, die nur eine unzureichende Sicherheit gegen Verdrehen bieten. Ein mehrstufiger Honprozess verbessert zwar neben der funktionsgerechten Topografie zusätzlich Maß-, Form- und Lagegenauigkeiten, scheidet aber aus Kostengründen gelegentlich aus. Eine wirtschaftliche Alternative ist die Herstellung der Verdrehsicherheit im großen Pleuelauge durch das Einbringen erhabener

zum aufzunehmenden Belastungskollektiv verläuft [3].

Für die Strukturierung werden gütegeschaltete Festkörperlaser mit Scanneroptik verwendet, die üblicherweise beim Beschriften und Markieren von Oberflächen eingesetzt werden. Es handelt sich um einen Nd:YAG-Laser mit einer Impulsleistung von über 10 kW. Die beiden Strahlquellen sind oberhalb der Pleuelbohrung gegenüberliegend angeordnet. Die Strahlquellen arbeiten gleichzeitig und strukturieren jeweils zwei Flächenausschnitte auf der Pleuelbohrung. Durch geringe Massenträgheitsmomente innerhalb der beweglichen Optiken des integrierten Scannerkopfes kann der Strahl äußerst schnell

ringerung der Basisrauheit oder andererseits über eine größere Höhe der Schmelzgrate verbessern.

Die Wirksamkeit der Bearbeitung ist im Diagramm in Bild 5 dargestellt. Bis zu einem Drehmoment von circa 40 Nm bewirken Setzvorgänge im konstruktiven Aufbau einen Ausgleich von Fertigungstoleranzen. Oberhalb von circa 40 Nm beginnen sich die Lagerschalen innerhalb der Pleuelbohrung zu verdrehen. Im Bereich zwischen 40 Nm und 80 Nm tritt eine plastische Verformung der Lagerschalen auf. Oberhalb 80 Nm führt dies zu einem kompletten Abriss der kraftschlüssigen Verbindung zwischen den zwei Bauteilen. Als Grenzwert für die Beurteilung der Ver-

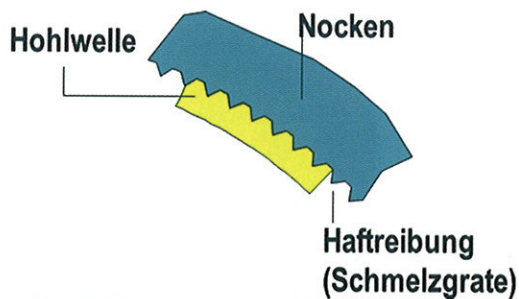


5 Verdrehmessung  
(Quelle: FM Wiesbaden GmbH)

Klartextbeschriftung aufgetragen. Das Strukturergebnis sieht ähnlich aus wie beim Pleuel. Statt der Drehriefen ist im Hintergrund eine feine Schleiftopografie erkennbar (Bild 7). Auch hier verlaufen die Strukturierungen orthogonal zueinander.

### Laserstrukturieren von Stirnpressverbindungen

Ein weiteres Beispiel sind kraftschlüssige Verbindungen, die in vielen Bereichen des Maschinen- und Fahrzeugbaus zur Übertragung von Schubkräften oder Drehmomenten eingesetzt werden. Insbesondere sind konventionelle kraftschlüssige Ver-



6 Tribologische Funktion zwischen Hohlwelle und Nocken

drehsicherheit ist der Übergang zwischen Setzvorgängen und plastischer Verformung definiert, in diesem Beispiel wird ein Wert von circa 40 Nm bis zum ersten Ansatz einer Verdrehung der Lagerschale erreicht. Somit ist der Einsatz dieser Pleuelstange hinsichtlich Bauteilversagens auch bei höchst belasteten Motoren unbedenklich.

### Laserstrukturieren von Nocken

Zur Herstellung gebauter Nockenwellen werden Welle und Nocken als Einzelteile gefertigt und durch thermisches Fügen kraftschlüssig verbunden. Um eine erhöhte Verdrehfestigkeit der Nocken zu erreichen, werden zur Erhöhung der Haftreibung die Nocken in ihrer Bohrung strukturiert (Bild 6). Auch hier werden erhabene Schmelzgratstrukturen einge-

bracht [4]. Diese Fertigungsstrategie der aufgeschumpften Nocken ist hinsichtlich der Fertigungskosten wesentlich vorteilhafter im Vergleich zur konventionellen Nockenwellenbearbeitung bei monolithischer Bauart. Die Bohrungen der Nocken werden vor dem Laserstrukturieren innenrundgeschliffen. Wie beim Pleuel werden wieder vier Segmente der Bohrungsfläche strukturiert.

Der Aufbau der Lasertechnik ist ähnlich wie im Pleuelbeispiel beschrieben. Die Bearbeitungszeit beträgt jedoch aufgrund der kleineren zu bearbeitenden Flächen (Bohrungsdurchmesser 24 mm) nur 2 s bei einer Taktzeit von 4 s. Neben dem reinen Strukturieren der vier Bohrungssegmente werden zur Dokumentation stirnseitig auch der Datamatrixcode und eine

bindungen im Bereich der Antriebstechnik oft leistungsbegrenzend.

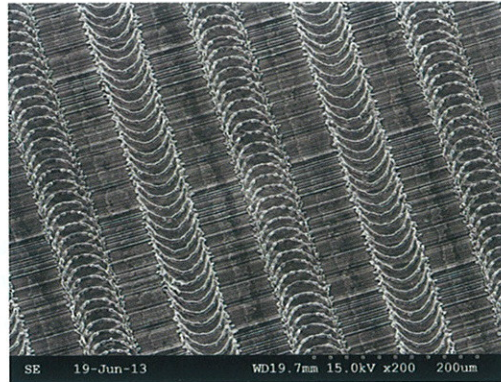
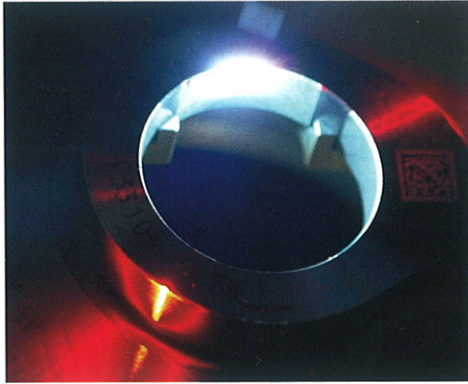
Die Verbindungen über Kraft- und Reibschluss sind meistens als Welle-Nabe-Verbindungen ausgeführt. Diese können je nach der Wirkflächengeometrie im Einzelnen als Stirn-, Kegel- und Zylinderpressverbindungen ausgebildet sein. Allen diesen Verbindungen gemeinsam ist ein Flächenkontakt. Dabei hängt die sich einstellende Reibungszahl von verschiedenen Einflüssen ab, wie beispielsweise von der Oberflächenrauheit oder der Flächenpressung. Stand der Technik hinsichtlich reibungserhöhender Maßnahmen sind das Einlegen von Diamantfolien und das Beschichten der Oberflächen mit feinen SiC- oder Diamantkörnungen. Diese Maßnahmen führen zu einer deutlichen Erhö-

>>>

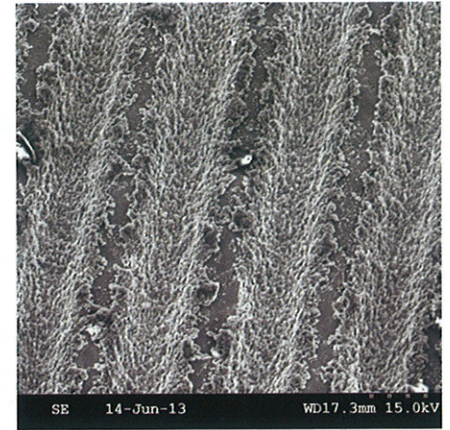
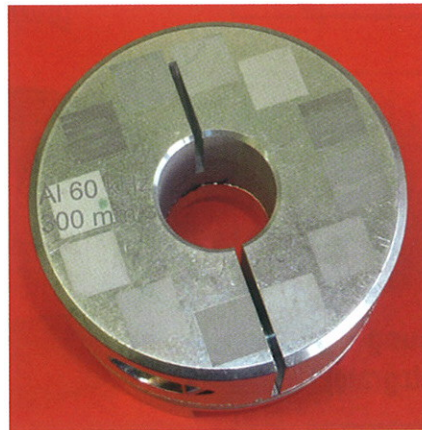
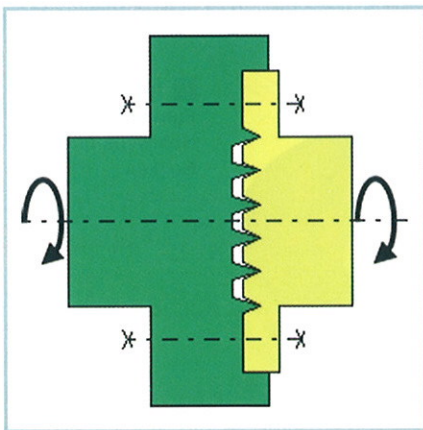
► 30% Steigerung der Maschinenlaufzeit  
mit COSCOM CAD/CAM-Software

**COSCOM**<sup>®</sup>

[www.mehr-profit-vor-dem-span.de](http://www.mehr-profit-vor-dem-span.de)



7 Eine Nocke im Laserprozess und Strukturergebnis (gehärteter Stahl)



8 Stirnpressverbindung und Oberflächenstruktur zur Übertragung von Drehmomenten (Al)

»» hnung des Reibwerts, sie sind jedoch sehr kostenintensiv.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren des Laserstrukturierens kann auch für dieses Anwendungsgebiet eine wesentliche Reibwerterhöhung in derselben Größenordnung wie durch die Abrasivkorneinlagerungen erzielt werden [5]. Vorteilhaft ist dabei, dass keine zusätzlichen Bauteile eingebaut werden müssen beziehungsweise eine aufwendige Beschichtung durchgeführt werden muss.

Bild 8 zeigt die in einzelnen Strukturfeldern bearbeitete Stirnfläche einer Stirnpressverbindung. In diesem Fall wurde eine Aluminiumfläche bearbeitet. Hierbei gelangt Aluminium in die Flüssigphase, reagiert mit Sauerstoff und bildet durch einen hohen Abkühlungsgradienten eine erhabene harte Aluminiumoxid-Struktur aus. Dies kommt der invasiven Wirkung auf die anliegende Kontaktfläche entgegen.

### Ausblick

Die bisher gewonnenen Erfahrungen in der Großserienfertigung mit dem Laser-

strukturieren von Oberflächen mit hoher Haftreibungsfunktionalität bestätigen die Erwartungen an diesen innovativen Fertigungsprozess. Der Vorteil der Laserstrukturierung mit integriertem Scanner liegt einerseits in den frei dimensionier- und positionierbaren Struktursegmenten auf gekrümmten und ebenen Flächen. Andererseits lassen sich die Strukturdaten wie die Toleranzen der unterschiedlichen Oberflächenmaßzahlen durch die Strahlparameter einrichten. Das Werkzeug ist ausschließlich der Laserstrahl mit seiner hohen Energiedichte. Werkzeugkosten im üblichen fertigungstechnischen Verständnis entstehen nicht.

Der Strukturierungsprozess ist vollständig automatisierbar und kann in die Fertigungslinie integriert werden. Hinsichtlich des Strahlenschutzes sind die Maßnahmen der Laserschutzklasse 4 nach EN60 826-1 erforderlich.

Die vielseitigen Anwendungen des Laserstrukturierens tribologischer Funktionsflächen ermöglichen je nach Prozessauslegung die Herstellung reibungsreduzierter

oder reibungsmaximierter Oberflächen. Auch in dieser Nische der Fertigungstechnik erweist sich der Laserstrahl als innovatives Werkzeug mit großem Anwendungspotenzial. ■

→ WB110794

**Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Flores** ist Leiter der Prozessentwicklung und des Patentwesens der Gehring Technologies GmbH und Lehrbeauftragter der Hochschule Esslingen  
[gerhard.flores@gehring.de](mailto:gerhard.flores@gehring.de)

**Dr.-Ing. Andreas Wiens** ist Teamleiter in der Prozessentwicklung der Gehring Technologies GmbH

## LITERATUR

- 1 Abeln, T.; Flores, G.; Klink, U.: Laserstrukturierung – Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Oberflächen, VDI-Z Integrierte Produktion, Heft 7/8 (2002)
- 2 Flores, G.; Birkner, T.; Abeln, T.: Laserbearbeitung von Bohrungen, Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, 64. Ausgabe, 2010
- 3 Offenlegungsschrift DE 10 2009 060 352 A1, Verfahren zum Herstellen einer Nockenwelle, Volkswagen AG, Offenlegungstag 30.6.2011
- 4 Europäische Patentschrift EP 1 420 177 B1, Pleuelstange und Verfahren zu deren Herstellung, Gehring Technologies GmbH & Co. KG, Veröffentlichungstag 13.7.2005
- 5 Offenlegung DE 10 2005 062 522 A1, Verfahren zur kraftschlüssigen Verbindung der Stirnflächen zweier Maschinenbauteile zur Übertragung hoher Drehmomente oder Querkräfte, Gehring GmbH & Co. KG., Offenlegungstag 21.06.2007