

GBQ-Microfinish-Bearbeitung von geschmiedeten Motorkomponenten

Die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren ist trotz permanenter Forderung nach Leistungserhöhung eindeutig als Ziel gesetzt. Lag der Fokus bislang eher auf Downsizing, Aufladung, Gaswechsel und Thermodynamik, wird endlich die Bedeutung der Motormechanik, hier: die Minimierung der Systemreibung, erkannt. Zur Erreichung der Verbrauchsziele leistet die Optimierung von aufeinander gleitenden Tribopaarungen auch bei massivumgeformten Motorkomponenten einen erheblichen Beitrag.

AUTOR



Dipl. Wirtsch.-Ing (FH)
Thomas Witt

ist Technical Sales Engineer für die
Neuteq-Europe Ltd in Nagold

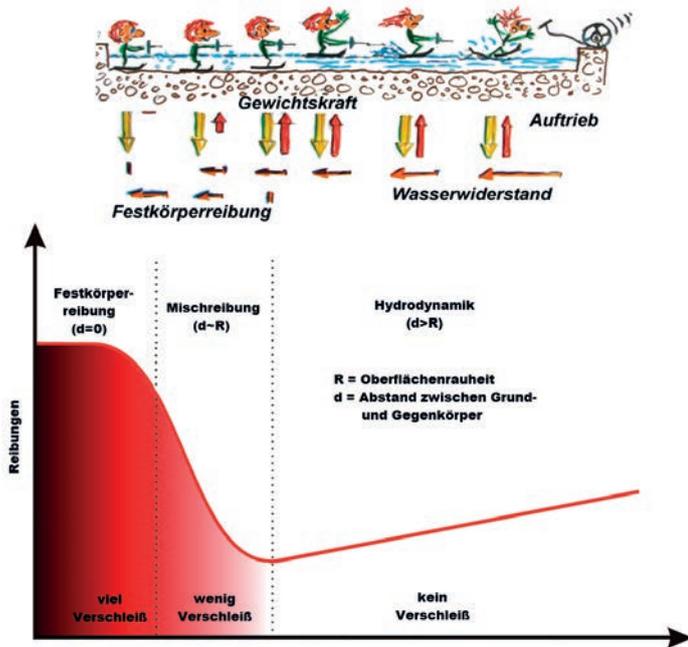


Bild 1: Stribeck-Kurve (Reibungsarten)

Im Folgenden beschreibt dieser Bericht die heute bereits verfügbare beziehungsweise bereits im Einsatz befindliche, doch immer noch unterschätzte Technik eines speziellen Band-Finishing-Verfahrens für rotatorische Motorelemente sowie dessen Möglichkeiten und Randbedingungen zur Realisierung der generierbaren Vorteile.

WAS IST MICROFINISH – WIE WIRKT ES?

Microfinish ist ein Verfahren beziehungsweise ein Prozess, um sehr gezielt geringste Materialmengen von der Oberfläche eines fertig bearbeiteten und dimensionierten Bauteils abzutragen, dabei die Topografie der funktionalen Bauteiloberfläche in Hinblick auf deren Rauigkeit zu verfeinern und es geometrisch präzise an sein Gegenstück anzupassen – meist in tribologischen Paarungen, da hierbei die Verfahrensvorteile besonders evident sind. Unter den möglichen Maßnahmen zur heute weit wichtiger gewordenen Reibungsminderung in Maschinen und insbesondere Verbrennungsmotoren ist die nahezu kostenneutrale Optimierung der Beschaffenheit von Bauteiloberflächen, die im tribologischen Kontakt zueinander stehen [3, 4, 7].

Die Reibungsminderung als Vehikel zur Verbrauchs- und Emissionsminderung von Verbrennungskraftmaschinen zu nutzen, gewinnt zudem an Dynamik, wenn man sich neuere Entwicklungen wie Downsizing [3], und Hochaufladung aufgrund höherer Mitteldrücke, verschiedene Hybrid-Modelle [8, 9] und Start-Stopp-Automatik ansieht, welche immer wieder durch das reibleistungsmäßig ungünstige Trocken- oder Mischreibungsgebiet der Stribeck-Kurve (Bild 1) laufen [1].

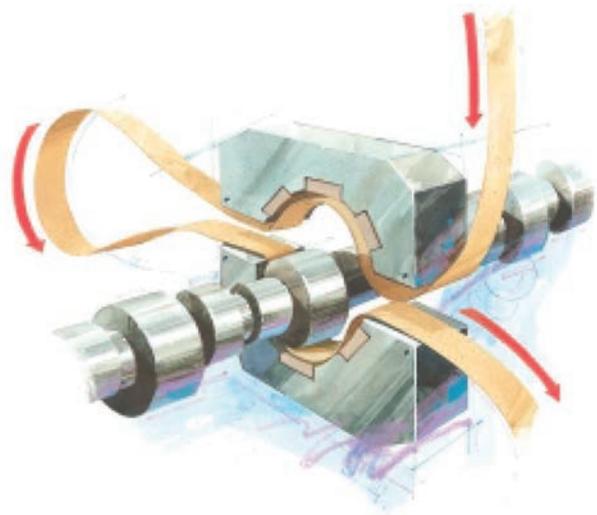


Bild 2: GBQ®-Prozess – Filmführung mit Werkzeug-Schuh
Quelle: 3M [2]

DER GBQ®-MICROFINISH-PROZESS ZUR OBERFLÄCHENPERFEKTIONIERUNG

Der GBQ®-Prozess verwendet als eigentliches Bearbeitungs-Medium ein inkompressibles Mylarband, mit exakt definiertem und klassiertem Abrasivkorn überzogen, das in der Finish-Maschine rückseitig durch eine patentierte unelastische Werkzeugführung gestützt wird (Bild 2) [2]. Dadurch wird das Bauteil während des Finish-Zyklus mit stets gleich bleibendem Anpressdruck und im ständigen Kontakt von dem Abrasiv-Film umschlungen. Der Film wird automatisch nach jedem Zyklus indexiert und um ein kleines Stück weiter transportiert, damit jedes Werkstück mit frischem Polierkorn gefinished werden kann. Dies stellt sicher, dass stets gleich bleibende, hohe Oberflächenqualität erzeugt wird.

Die Bearbeitungsvorrichtung ist aufgeteilt in eine obere und untere Werkzeugschale, diese schließen sich automatisiert hydraulisch/mechanisch um die jeweils zu bearbeitenden Lagerflächen. Sie wird für jedes Bauteil nach dessen Zeichnung hochpräzise maßgefertigt. Der rotierenden Bewegung wird eine axiale Oszillation zum Erzeugen der häufig erwünschten leichten Kreuzstruktur überlagert.

BEDEUTUNG DES ARBEITSMEDIUMS „ABRASIV-FILM“ FÜR DAS MICROFINISH-ERGEBNIS

Neben den exakt einzustellenden und einzuhaltenden Maschinenparametern ist der Abrasiv-Film die qualitätsbestimmende Komponente im Microfinish-System. Er kann im Handel als Rollenmaterial definierter Breite bezogen werden und ist mit unterschiedlichen Körnungen, Kornformen, Trägermaterialien,

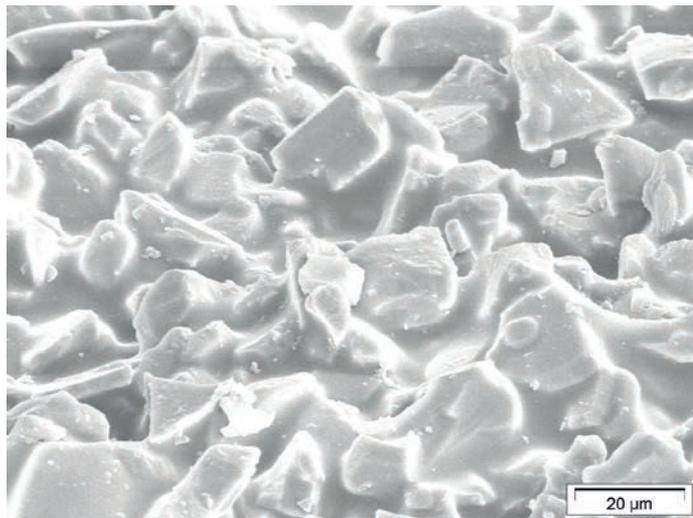


Bild 3: REM-Aufnahme von Film-Topografie (Korngrößen 15µm) vor dem Bearbeitungsprozess, v = 1000x

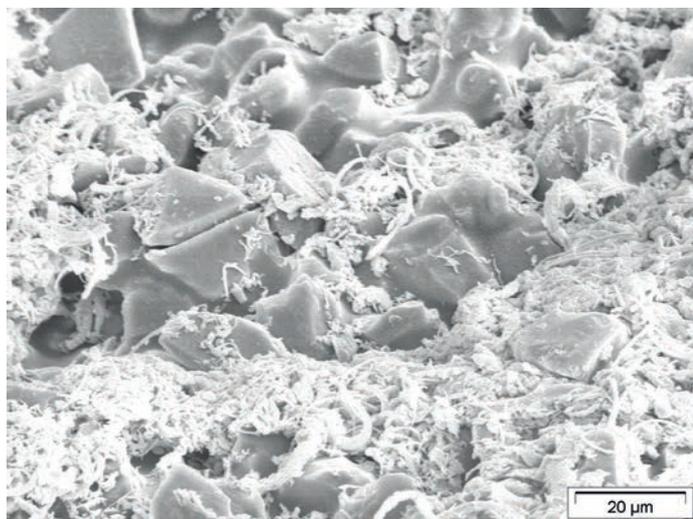


Bild 4: REM-Aufnahme von Film-Topografie (Korngrößen 15µm) nach dem Bearbeitungsprozess, v = 1000 x

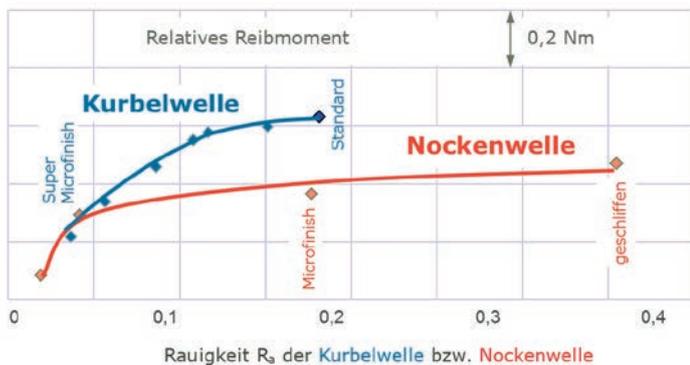


Bild 5: Einfluss der Oberflächen-Rauheit auf das Reibmoment

Bindungen und Kornwerkstoffen erhältlich – üblicherweise Korund Al_2O_3 , Siliziumkarbid SiC, aber auch Diamant.

Die Bilder 3 und 4 zeigen Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahmen von Film-Topografien mit Korngrößen von 15 µm vor beziehungsweise nach dem Bearbeitungsprozess. Bekannt ist, dass größeres Korn höheren Materialabtrag und feineres Korn bessere Oberflächenqualität gestattet. Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu sagen, dass es sich beim GBQ-Microfinish um einen niederenergetischen Bearbeitungsprozess handelt und es zu keiner nennenswerten Erwärmung der tribologischen Wirkfläche kommt.

Neben der Korngröße ist auch die unterschiedliche Kornausrichtung bei verschiedenen Bandtypen für das Finish-Ergebnis von Bedeutung: So sind bei Microfinish-Filmen die scharfen Kornkanten zum Bauteil hin ausgerichtet, während die Körner bei den Läpp-Filmen stochastisch angeordnet sind.

Microfinish-Filme sind schnell schneidende Schleifmittel, die gleich bleibende, vorhersagbare und wiederholbare Oberflächen-Qualität auf Wellen-Oberflächen produzieren helfen. Sie verwenden exakt klassierte mineralische Partikel von 9 bis 100 µm Größe in präzise eingehaltener Verteilung.

Mit konsistenter Kühlmittel-Versorgung, gleichbleibenden und optimal definierten Prozessparametern wie Anpressdruck, Rotationsgeschwindigkeit, Oszillationsfrequenz und axialer Weg des in der Maschine gespannten Bauteils gegenüber der rückseitigen Bandführung verbessert der patentierte GBQ®-Prozess zuverlässig die Oberflächentextur und darüber hinaus die Rundheit, Geradheit und den Traganteil der damit bearbeiteten Bauteile (primär Wellen) auf die optimale Oberflächen- und Gestaltausführung. Um unterschiedliche Produktionsanforderungen erfüllen zu können, sind unter anderem alle oben erwähnten Parameter für eine optimale Leistung und Produktivität an der Maschine einstellbar.

EINFLUSS DER OBERFLÄCHE AUF DIE REIBVERLUSTE

Es ist unbestritten, dass die Oberflächen-Topografie von Bauteilen, die in tribologischem Kontakt miteinander stehen, erheblichen Einfluss auf deren Funktion und Systemreibung nimmt. Dies insbesondere, wenn keine permanenten hydrodynamischen Schmierungsverhältnisse gewährleistet werden können und Misch- oder Kontaktreibung bei besonderen Betriebszuständen dominieren – was bei vielen Anwendungen der Fall ist. Dem hat zum Beispiel ein renommierter Automobilhersteller bei der kompletten Neukonzeption seiner 1,4- und 1,8-Liter-Benzinmotoren Rechnung getragen, indem die innere Reibung durch Optimierung aller systemrelevanten Bauteiloberflächen minimiert wurde. Als Ergebnis steht eine deutliche Reibleistungsreduzierung gegenüber den vergleichbaren Vorgängermodellen.

Am Beispiel der Nocken- und Kurbelwelle wurden die Auswirkungen von deren Oberflächenfinish auf die Reibverluste quantifiziert. Die Ergebnisse zeigt Bild 5: Die entsprechenden Rautiefen R_a lagen für die Kurbelwelle bei 0,15 µm für die Standard-Bearbeitung, 0,06 µm für das Microfinish und 0,035 µm für Super-Microfinish – Werte, wie sie mit dem hier beschriebenen Verfahren erzielt werden. Die Werte der Nockenwelle betragen zirka 0,35 µm für die geschliffene Variante, 0,18 µm für die geläppte und 0,05 µm beziehungsweise 0,025 µm für das Microfinish beziehungsweise Super-Microfinish. Zur optimalen Nutzung aller aus dem Microfinish resultierender Vorteile hinsichtlich Reibung, Verschleiß und Bearbeitungswirtschaftlichkeit ist zu überlegen, ob nicht auch öfter eine konstruktive Feintuning-Arbeit empfehlenswert wäre, wie beispielsweise

die Anpassung von Toleranzen oder Abmessungen der Reibpartner bearbeiteter Teile im tribologischen System.

AUSBILDUNG DER GEWÜNSCHTEN OBERFLÄCHENTOPOGRAFIE

Auf die aus dem Superfinish resultierende Oberflächenoptimierung und die damit erzielbare Verbesserung von Rautiefewerten ist in früheren Veröffentlichungen bereits eingegangen worden [5, 6, 7].

Oberflächen-Rauheitsprofile, die an den Pleuelzapfen einer Nfz- beziehungsweise Pkw-Kurbelwelle ermittelt wurden und deren Verbesserungen durch den Microfinish-Prozess durchaus beeindruckend sind: Die immer noch beliebten Werte für R_a und R_z erfuhren an der Nfz-Welle eine Verbesserung von $R_a = 0,34$ und $R_z = 2,63$ im vorgeschliffenen Zustand auf $R_a = 0,07$ und $R_z = 0,78$ nach dem zweiten GBQ-Bearbeitungsschritt.

An einer Pkw-Welle wurden die entsprechenden Rautiefewerte von $R_a = 0,45$ und $R_z = 3,16$ im vorgeschliffenen Zustand auf $R_a = 0,09$ und $R_z = 1,28$ nach dem zweiten GBQ-Bearbeitungsschritt verbessert.

WELCHE TEILE SIND PER GBQ® - MICROFINISH ZU BEARBEITEN?

Das Verfahren bietet sich naturgemäß für Außendurchmesser von Bauteilen aus allen zum Schleifen oder Polieren mit gebundenem Korn geeigneten, bevorzugt metallischen Werkstoffen an. Die Bearbeitung von Werkstoffen wie Grauguss, Stahlguss oder geschmiedeten Wellen ist möglich. Bei Einsatz von Diamantbändern ist es ebenfalls möglich, härtere Werkstoffe wie beispielsweise Keramik zu bearbeiten. Die Kernkompetenz und primäre Anwendung liegt auch künftig auf dem Gebiet zylindrischer Wellenlager-/zapfen sowie in allen anspruchsvollen Produktionsprozessen für hochpräzise Maschinenbauteile.

Durch die patentierte Abrasivband-Führung, durch die sich jener Prozess vor allem von allen anderen Tape-Finish-Prozessen unterscheidet, ist jedoch auch die finale Ausarbeitung leicht profilierter zylindrischer Außendurchmesser möglich, was in vielen Fällen sehr hilfreich sein kann. Dies ist beispielsweise bei der Mikroprofilierung von hauptsächlich hydrodynamischen Lagern der Fall: Hier ist es äußerst wichtig, Konkavitäten oder Sanduhr-Geometrien zu vermeiden, um Kantenträgern oder punktuellen Belastungen vorzubeugen. Das Aufmacherbild und Bild 6 zeigen eine Auswahl von Bauteilen, die per GBQ®-Microfinish bearbeitet wurden.

ZUSAMMENFASSUNG

Reibungsverluste in Maschinen und insbesondere Fahrzeugmotoren konsumieren Nutzleistung auf Kosten der Systemeffizienz. Neben konstruktiven Innovationen müssen hierzu auch Potenziale durch smarte Oberflächen-Bearbeitung erschlossen werden. Der Einsatz des GBQ®-Microfinishverfahrens ist Stand der Technik, das Verfahren zuverlässig und schnell und extrem reproduzierbar. Entgegen dem Einsatz anderer Technologiekniffe ist der Einsatz des Microfinishverfahrens nahezu kostenneutral für das Bauteil.

Der Nutzleistungsgewinn durch optimierte Oberflächenbehandlung kann für alle Maschinen- und Motortypen realisiert werden, unabhängig vom System und zusätzlich zu allen konstruktiven Neuerungen, was dem Verfahren besondere Attraktivität verleiht. Der Einsatz ist möglich entweder direkt in der Verkettung einer Fertigungslinie oder als Aufsatzgerät für Proto-, Muster und Kleinstserien.



Bild 6: GBQ® -gefinishte Nocken- und Kurbelwellen, erfolgreich im Motorsport
Bilder: Autor



[1] Stehr, Werner; Dobler, Klaus: „Tribologie ist überall“, Dr. Tillwisch GmbH, 72160 Horb; 2011; ISBN: 978-3-00-033854-0

[2] 3M-Broschüre: „Roll-Grinding, Superfinishing and Microfinish Systems“

[3] Achim Königstein; Uwe Dieter Grebe; Ko-Jen Wu; Per-Inge Larsson: „Differenzierte Analyse von Downsizing-Konzepten“, MTZ 06I2008 Jahrgang 69, 468 – 576

[4] Peter Gutzmer: „Weniger Reibung - Schlüssel zu mehr Effizienz“, MTZ 04I2007 Jahrgang 68, S. 243

[5] Mark Hendel, Thomas Witt: „Optimierte Oberflächen durch verbesserte Microfinish-Technologie“, Vortrag GfT-Tagung; Göttingen 2009

[6] Mark Hendel, Thomas Witt: „Wirtschaftliche Endbearbeitung tribologischer Wirkflächen per GBQ-Microfinish“, Vortrag GfT-Tagung; Göttingen 2010

[7] Thomas Witt, Simon Wright: „Reibleistungsreduzierung im Ventiltrieb durch innovative Oberflächentechnik“, VDI-Tagung, Würzburg 2008

[8] <http://www.hybrid-autos.info/>

[9] „Der Hybridantrieb“ Automobilelektronik WS 2006/2007



Neuteq-Germany
Obere Eisenbahnstraße 18/1
72202 Nagold
Telefon: +49 7452 8444192
Telefax: +49 7542 8444193
E-Mail: twitt@neuteq-europe.co.uk
Internet: www.neuteq-europe.co.uk