



OPTISCHE RAUHEITSMESSUNG VON KURBELWELLEN IN DER FERTIGUNG

Glatte Herausforderung

Rainer und Boris Brodmann, Ettlingen

In der Fertigung ist die Messung der Rauheit gefinishter Kurbelwellen mit herkömmlichen Tastschnittgeräten nur schwierig durchführbar. Für diese Messaufgabe eignet sich die neue, robuste Streulichtmesstechnik. Diese zeichnet sich im Vergleich zu mechanischen Methoden durch einen unkomplizierten Messvorgang, eine höhere Messgeschwindigkeit und den Nachweis der Messmittelfähigkeit aus.

Die Kurbelwelle ist eine der zentralen Komponenten in einem Verbrennungsmotor. Die Herstellung umfasst viele einzelne Schritte, wobei einer der letzten das Finishen der Lagerzapfen ist. Diese Oberflächen sind die feinsten Flächen in einem Verbrennungsmotor. Mit den steigenden Forderungen im Motorenbau nach Effizienz wachsen auch

die Anforderungen an die Oberflächen der gefinishten Zapfen. Hierzu tragen insbesondere die modernen Start-Stopp-Systeme bei, die je nach Fahrsituation den Motor abschalten und wieder einschalten, um dadurch den CO₂-Ausstoß zu verringern und fünf bis zehn Prozent Kraftstoff einzusparen [1]. Bei diesen Zyklen, die für einen Motor bis zu mehrere Hunderttau-

send Mal vorkommen können, werden die Oberflächen besonders hoch beansprucht.

Lag der Rz-Wert nach dem Bandfinishen früher bei circa 0,8 µm, muss er für den neuen Kurbelwellentyp auf $Rz < 0,5 \mu\text{m}$ gebracht werden. Anstelle des Kennwerts Rz, der durch einzelne Ausreißer im Profil schwanken kann, werden für

Foto: Daimler AG

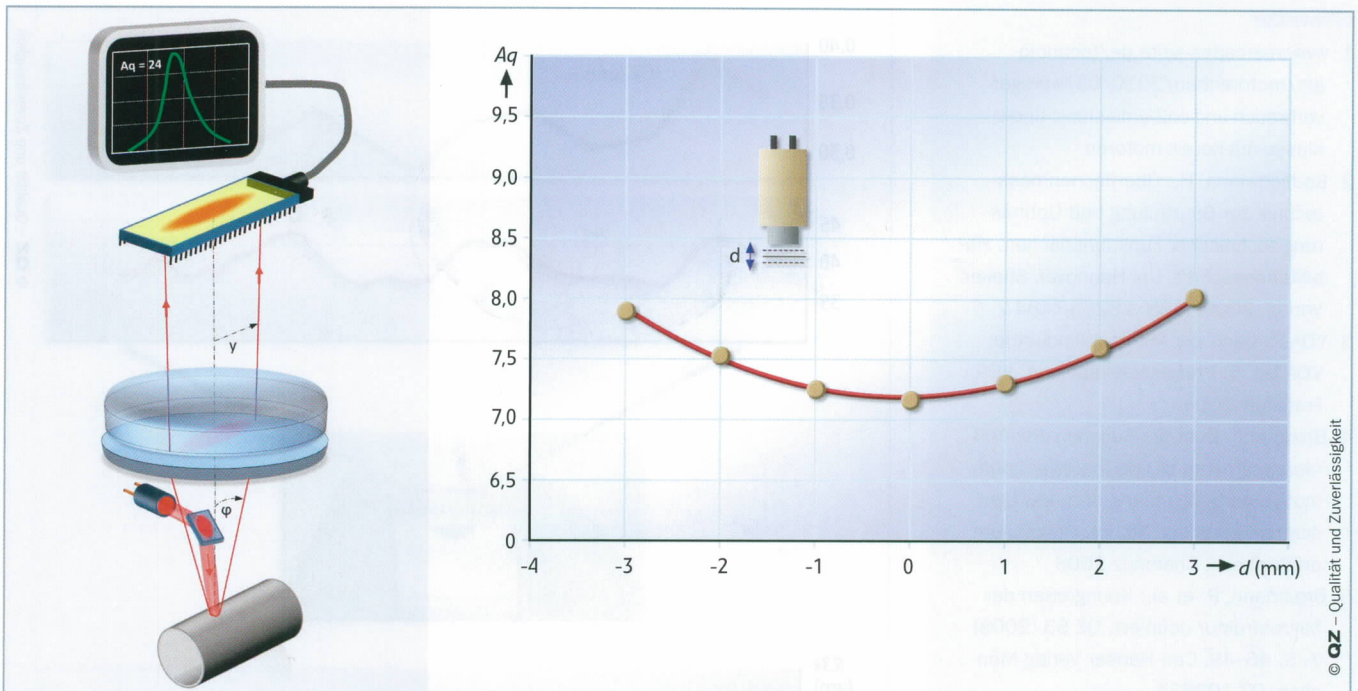


Bild 1. Sensormessprinzip (links), Rauheitskennwert Aq in Abhängigkeit vom Abstand (rechts)

gefinishte Oberflächen spezielle Kennwerte aus der Traganteilkurve (Abbottkurve) abgeleitet [2]: die Kernrautiefe (Rk), die über die Kernrautiefe herausragenden Spitzen (Rpk) und die reduzierte Riefentiefe (Rvk). In der Praxis wird oft die Summe dieser Werte ($R3k$) herangezogen, die die Rauheit von gefinigten Oberflächen hinreichend gut beschreibt.

Grenzbereich für Tastschnittgeräte

Die Herausforderung für die Fertigung der neuen „superglatten“ Kurbelwellen ist dabei nicht das Erreichen der Rauheit durch die Finishmaschine, sondern die Messtechnik. Die Qualitätssicherung fordert zur Prozessabsicherung messmittelfähige Messgeräte [3], die prozessbegleitend sicherstellen, dass die gefertigten Kurbelwellen der 6-Sigma-Bedingung genügen. Abgeleitet aus der Gaußverteilung bedeutet diese strenge Regel, dass von 1 Million Teilen nur 3,4 Teile Ausschuss sein dürfen. Dies wiederum setzt voraus, dass die zum Einsatz kommenden Prüfsysteme eine Auflösung von fünf Prozent der geforderten Toleranz aufweisen und bei Wiederholungsmessungen ein Cg -Wert $> 1,33$ erreicht wird. Dieser Messmittelfähigkeitskennwert berechnet sich wie folgt:

$$Cg = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s}$$

Darin ist T die vorgegebene Toleranzgrenze und s die Standardabweichung bei 50 Wiederholungsmessungen. Mit den heute üblichen Tastschnittmessgeräten kann man im Labor zwar unter idealen Bedingungen die geforderte Auflösung von fünf Prozent der Toleranz T (hier $0,02 \mu\text{m}$) erreichen, in der rauen Fertigungsumgebung gibt es aber erhebliche Schwierigkeiten. Der große mechanische Messkreis, bedingt durch die schwierige Zugänglichkeit der zu messenden Oberfläche, führt zu Anregungen von Schwingungen, die die Messung verfälschen. Eine weitere Problematik ist die Nichtverfügbarkeit von Normalen für gefinigte Oberflächen. Die strenge Forderung, den Cg -Wert einzuhalten, kann deshalb nicht mehr erfüllt werden.

Dies war der Grund, dass der seit Kurzem auf dem Markt verfügbare Streulichtsensor OS 500 von Optosurf, Ettlingen, hinsichtlich seiner Tauglichkeit für die Messung von Kurbelwellenlagern genauer untersucht wurde.

Das Messprinzip wurde bereits ausführlich beschrieben [4, 5] (Bild 1). Eine LED erzeugt auf der Oberfläche einen Messfleck mit $0,9 \text{ mm}$ Durchmesser. Das zurückgestreute Licht wird auf eine lichtempfindliche Detektorzeile gelenkt, die die Lichtverteilungskurve aufzeichnet. Ein Computer berechnet aus der Verteilung den statistischen Kennwert Aq (Varianz der Verteilungskurve), der eng

mit dem Profilkennwert Rdq verwandt ist. Genauere Informationen über die Streulichtkennwerte und die Messmethode findet man in der VDA-Richtlinie 2009 [6].

Messtechnik mit Streulichtverfahren

Eine Eigenschaft des Streulichtsenors ist seine Robustheit und die Unempfindlichkeit der Messung gegenüber Vibrationen. Da der Sensor Winkel misst, ist die gemessene Verteilungskurve unabhängig von kleinen Abstandsänderungen.

Dies wird in Bild 2 anhand von Messungen demonstriert. Bei einer Abstandsänderung von 1 mm ändert sich der Aq -Wert nur um ein Prozent. Dies trifft für eine Messung quer zu den Bearbeitungsriefen zu. Wird der Sensor in Umfangsrichtung orientiert (Längsrauheitsmessung), beeinflusst dies den Aq -Wert von dem Krümmungsradius mit einem geometrischen Faktor. Die Abstands-unempfindlichkeit nimmt dann mit kleiner werdender Krümmung auf einige $1/10 \text{ mm}$ ab, was immer noch ausreicht, um vibrationsunempfindlich zu sein.

Bevor der Streulichtsensor bei der Rauheitsmessung von Kurbelwellen zum Einsatz kam, wurden umfangreiche Untersuchungen und Vergleichsmessungen mit einem Tastschnittgerät im Labor unter idealen Bedingungen durchgeführt.

Wichtig war vor allem, wie sich ▷

Literatur

1. www.mercedes-seite.de/technologie/motorenbau/2010/03/weniger-verbrauch-und-co2-emission-c-und-e-klasse-mit-neuen-motoren
2. Bodschwinna, H.: Oberflächenmesstechnik zur Beurteilung und Optimierung technischer Funktionsflächen. Habilitationsschrift, Uni Hannover, Shaker Verlag, 2000, ISBN 3-8265-7484-2
3. VDA-Verband der Automobilindustrie: VDA Bd. 5: Prüfprozessregelung. VDA, Frankfurt 2003
4. Brodmann, B. et al.: Function-oriented measurements of fine machined automotive parts by means of a new light scattering sensor. XII. Int. Colloquium on Surfaces, Chemnitz 2008
5. Brodmann, R. et al.: Kenngrößen der Mikrostruktur definiert. QZ 53 (2008) 7, S. 46–49, Carl Hanser Verlag München, QZ 102624
6. VDA 2009: Geometrische Produktspezifikation, Oberflächenbeschaffenheit, Winkelaufgelöste Streulichtmesstechnik. Definition, Kenngrößen und Anwendung, Juli 2010

Autoren

Dr. Rainer Brodmann, Dipl.-Phys.:, geb. 1945, ist Geschäftsführer der Optosurf GmbH, Ettlingen.

Boris Brodmann, geb. 1972, verantwortet bei Optosurf, Ettlingen, die Applikation und den Vertrieb.

Kontakt

Rainer Brodmann
T 07243 7660-13
r.brodmann@optosurf.de

www.qm-infocenter.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **QZ110413**

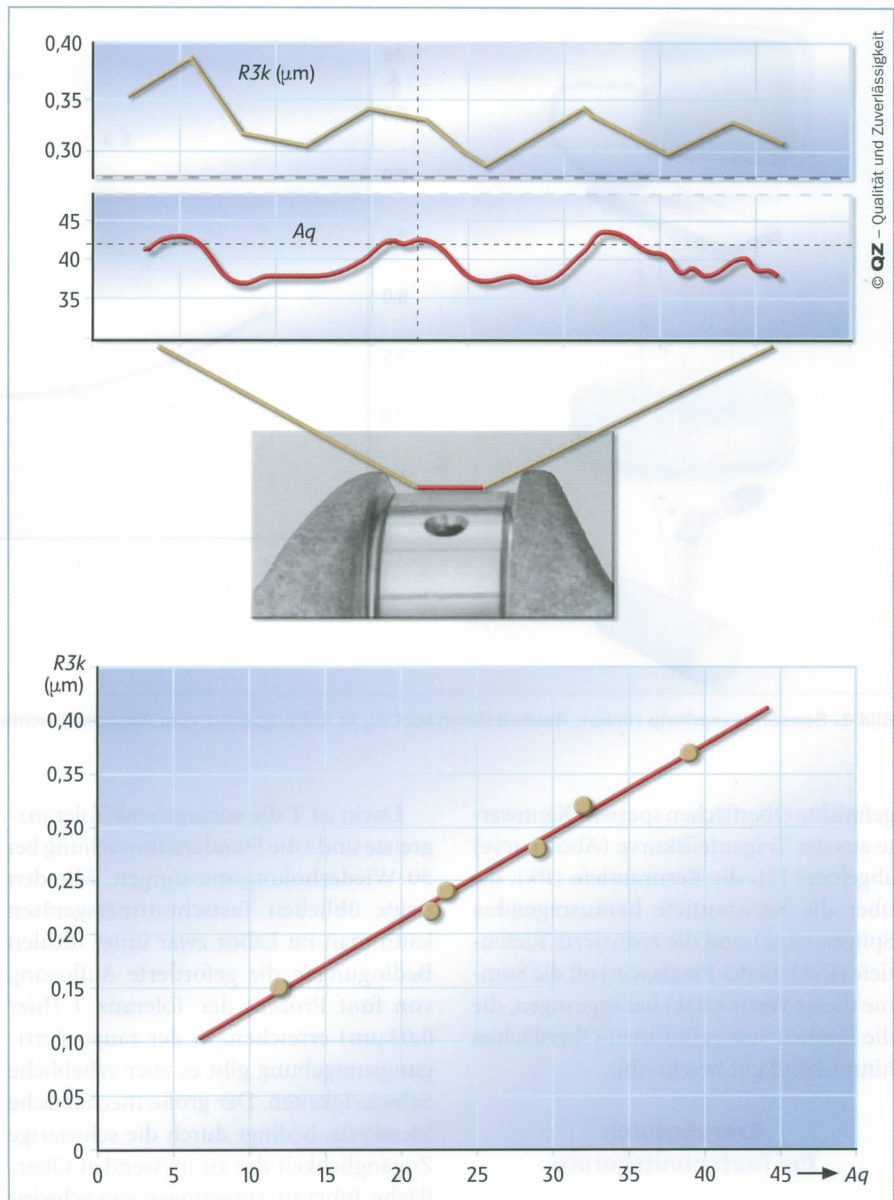


Bild 2. Rauheitsverlauf bei mechanischer und optischer Messung über 10 mm Länge (oben), Korrelation von optischer (A_q) und mechanischer Rauheitsmessung ($R3k$) (unten)

der A_q -Wert verhält, wenn der bisher verwendete $R3k$ -Wert sich innerhalb der Fertigungstoleranzgrenzen von 0,2 bis 0,4 μm ändert. Die Messergebnisse wurden von Tobias Hercke, Leiter der Gruppe Oberflächenmesstechnik bei der Daimler AG, Stuttgart, zur Verfügung gestellt.

In Bild 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Oben wird eine Messung über 10 mm Länge auf einem Kurbelwellenzapfen gezeigt. Das Profil oben repräsentiert der Verlauf des $R3k$ -Werts, der jeweils ortsbezogen aus dem Tastschnittprofil über eine Bezugsstrecke von 1,5 mm berechnet wurde. Unmittelbar darunter wird der entsprechende Verlauf der A_q -Messungen gezeigt. Deutlich zu erkennen ist die gute Übereinstimmung der $R3k$ -

Messwerte mit dem Verlauf der A_q -Rauheitskennwerte.

Das Streulichtverfahren liefert aufgrund der flächenhaften Messmethode und der oben gezeigten Abstandsunempfindlichkeit wesentlich stabilere Werte zur Beurteilung der Oberfläche. In Bild 2 unten sind die Messungen noch mal in einem Korrelationsdiagramm dargestellt. In dem Bereich von $0,15 < R3k < 0,4 \mu\text{m}$ ändert sich der Streulichtkennwert von $A_q = 16$ bis $A_q = 45$ linear. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde der Streulichtsensor für die Fertigung als Messverfahren an bandgefertigten Kurbelwellen freigegeben.

Damit der Streulichtsensor in der Kurbelwellenfertigung eingesetzt werden kann, sind zusätzliche technische Anpas-

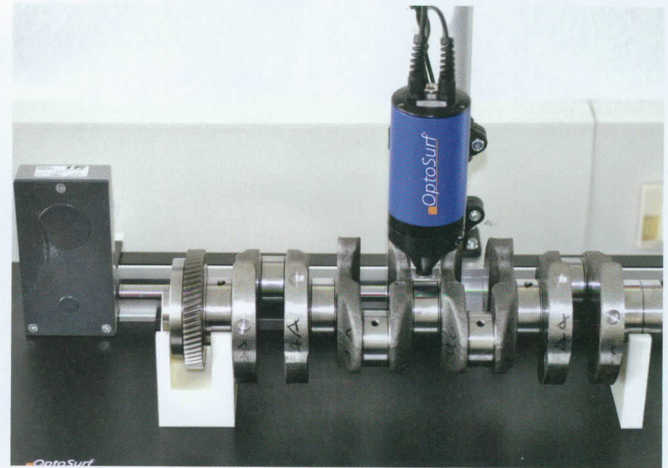
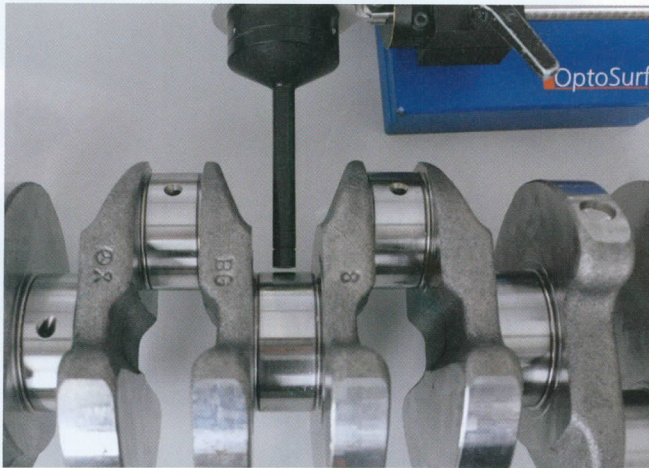


Bild 3. Sensor mit Optikadapter (links), Messvorrichtung für Hauptlagerzapfen (rechts)

sungen notwendig. Zum einen muss eine spezielle Optik gefertigt werden, die eine Messung an den von den Wangen eingeschlossenen Hauptlagern ermöglicht. Zum anderen gilt es, eine entsprechende Vorrichtung zu konstruieren, die den Sensor an den verschiedenen Lagern positioniert.

Die Sensoroptik besteht aus einer endoskopähnlichen Vorsatzoptik, bei der das speziell winkelnkorrigierte Objektiv mit kleinem Durchmesser die Streulichtverteilung der gemessenen Oberfläche exakt auf den linearen Detektor überträgt. Damit ist es möglich, in bis zu 12 mm engen Spalten Oberflächen zu messen, die maximal 100 mm tief liegen.

Bild 3 zeigt die Vorsatzoptik bei der Mes-

sung an einem mittleren Hauptlagerzapfen. Im rechten Teil der Abbildung ist eine Messvorrichtung zu sehen, die mit nur einer Linearachse ohne Adapter alle Hauptlagerzapfen automatisch messen kann.

Die Messzeit hängt im Wesentlichen nur von der Zeit ab, mit der man den Sensor an den verschiedenen Lagerzapfen positionieren kann. Mit der hier gezeigten Vorrichtung ist es möglich, die fünf Hauptlagerzapfen in 6 s zu messen. Dies ist gegenüber der bisherigen mechanischen Methode mehr als einhundertmal schneller. Durch den Einsatz des Optikadapters, einer zusätzlichen Linearachse und einer Rotationsachse können alle Lagerzapfen in weniger als 60 s gemessen werden.

Der Hauptgrund für die Einführung des Streulichtensors zur Rauheitsmessung war das für diese Oberflächen nicht mehr messmittelfähige Tastschnittgerät.

Bei der Messmittelfähigkeitsuntersuchung wurde das sogenannte Verfahren 1 mit 50 Wiederholungsmessungen angewendet. Um die Auswertung nicht durch unterschiedliche Messstellen mit unterschiedlicher Rauheit zu beeinflussen, wurde jeweils die gleiche Stelle gemessen. Das Ergebnis wird nur noch durch die Genauigkeit des Sensors beeinflusst. Mit einer Toleranzvorgabe von $Aq = 1$, was einem $R3k$ von circa $0,02 \mu\text{m}$ entspricht, wurde die Messmittelfähigkeit mit einem Cg -Wert von 5,22 erreicht. □

Klein und stark

Rauheitsmesssystem. Robust und unempfindlich gegen Schmutz soll der MiniProfiler von Breitmeier, Ettlingen, sein. Daher hält das Unternehmen den Einsatz in der Produktion für möglich. Die kleine, modulare Bauweise erlaubt Messungen an räumlich eingeschränkten Stellen wie zum Beispiel in einem Motorzylinder. Aufgrund der USB-Schnittstelle können Profilmessungen mit Zusatzinformationen beispielsweise über die Kamera, die Härtemessung oder die 3D-Flächenmessung erweitert werden. Das Gerät kann mit einem Roboter oder Koordinatenmessgerät kombiniert werden. Die Tastnadel und die applikationsspezifische Bodenplatte sind austauschbar. Je nach Anwendung können werkstückspezifische Adapter eingesetzt werden.

► **Breitmeier Messtechnik GmbH**
www.breitmeier.de

Vollautomatische Waferinspektion

Oberflächenmessgerät. MicroProf 200 TTV MHU heißt das Oberflächenmessgerät von Fries Research & Technology, Bergisch Gladbach. Es ist vollständig in den Produktions-Workflow integriert und prüft Wafer mit einem Durchmesser von 2 bis 8 Zoll. Damit lassen sich beidseitig die absolute Dickenvariation (TTV) der Proben sowie Ebenheit, Bow, Warp, Rauheit, 3D-Topografie und Schichtdicke messen. Auch bei den Bearbeitungsschritten Sägen, Schleifen, Läppen und Polieren sowie im Wareneingang wird es eingesetzt. Ein zweiarmer Vakuum-Greifarm legt die Wafer aus bis zu vier Kassetten automatisch an die Messposition. Das Gerät wird zur vollautomatischen Überwachung der Produktionsparameter und damit zur Qualitätssteigerung bei der Waferherstellung und in der Halbleiterindustrie eingesetzt. Laut Hersteller sollen auch speziell-

le Anwendungen wie die Messung von Thin Wafern, gebondeten und getapten Wafern aus Silikon oder von Verbindungshalbleitern möglich sein.

► **FRT Fries Research & Technology GmbH**
www.frt-gmbh.com

