



SCHNELLES MESSEN VON RATTERMARKEN IN DER FERTIGUNG

Licht „gleitet“ über die Oberfläche

Der Nachweis von Rattermarken auf kritischen Lagerflächen gelingt bisher nur in Prüfräumen mit präzisen taktilen Rundheitsmessmaschinen. Mit dem berührungslosen Streulichtverfahren und dem darauf basierenden Messautomaten von Optosurf, Ettlingen, und Mesing, Brno, lassen sich im Sekundentakt Rundheit und Welligkeit an Lagerringen messen. Das Verfahren ist im Vergleich zu taktilen Rundheitsmessmaschinen unempfindlich gegen Vibrationen und erfasst mit der Längsrauheit gleichzeitig auch die Oberflächenrauheit.

Rainer Brodmann und Boris Brodmann,
Ettlingen; Boris Kúr und Daniel Smutný, Brno

Die Geräuscentwicklung in Fahrzeugen und deren Vermeidung ist ein wichtiges Thema in der Automobilfertigung. Häufige Ursache sind schnell rotierende Komponenten wie Getriebe-, Ausgleichs- und Nockenwellen, die mithilfe von Wälzlager reibungsarm gelagert sind und im montierten Motor oder Getriebe ein unerwünschtes Geräusch erzeugen können. Schon länger ist bekannt, dass hierfür sogenannte Rattermarken verantwortlich sind [1], die sowohl auf den Lagersitzen der Wellen als

auch auf den Außenringen der Wälzlager selbst (meistens Nadellager) auftreten können.

Rattermarken sind periodische Formabweichungen (Welligkeit), die durch den Schleif- oder Finishbearbeitungsprozess aufgrund von Maschinenstörungen entstehen. Diese Störungen sind meistens nicht vorhersehbar und können spontan ausgelöst werden, zum Beispiel wenn sich die Schleifscheibe abnutzt, die Schneidkräfte auf der Oberfläche zu groß werden und dann die Ma-

schine zu Schwingungen angeregt wird. Die Amplituden der Rattermarken reichen von 0,01 µm bis circa 1 µm. Sind sie regelmäßig auf dem Umfang angeordnet. Passen sie von ihrer Ordnung (Anzahl der Wellen auf dem Umfang) her in bestimmte Resonanzfrequenzen des Aggregatgehäuses, reichen mitunter schon 0,05 µm Amplitude aus, um einen Motor oder ein Getriebe in der Fertigung zu sperren.

Der Nachweis von Rattermarken gelingt bisher nur in Prüfräumen ▷

InfraTec

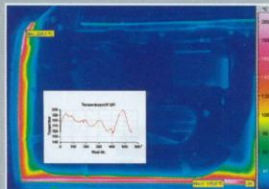
Fragen Sie die Spezialisten ...

Infrarot-Thermografie

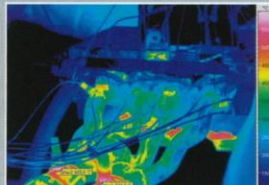
Hochauflösende mobile und stationäre Thermografiekameras zur thermischen Prozesskontrolle

VarioCAM® high resolution

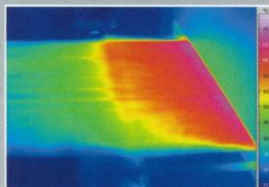
bis
1.280 x 960
IR-Pixel



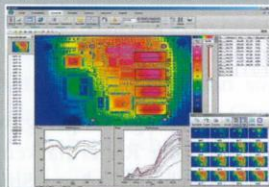
Qualitätskontrolle von Klebeverbindungen



Belastungstest am Motorenprüfstand



Online-Prozessüberwachung



Trendanalyse mit Software IRBIS® 3 plus

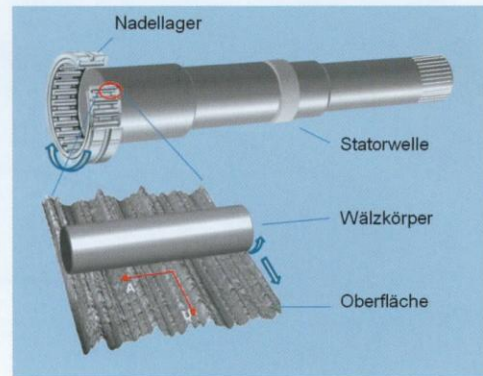
InfraTec GmbH
Infrarotsensorik und Messtechnik
Gostritzer Straße 61 - 63
01217 Dresden/GERMANY

Telefon +49 351 871-8610
Telefax +49 351 871-8727
E-Mail thermo@InfraTec.de

www.InfraTec.net

Bild 1. Lagerung einer Statorwelle:

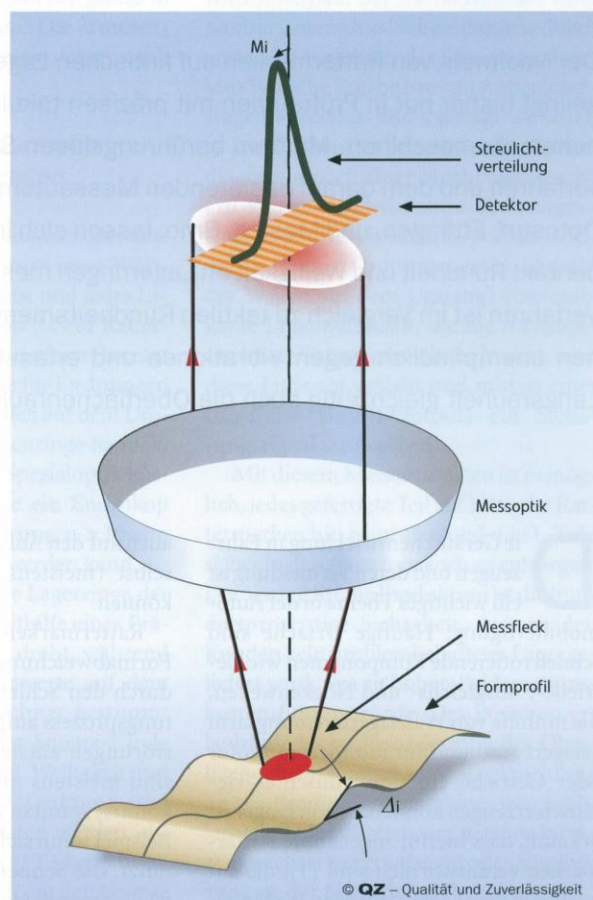
Die einzelnen Wälzkörper rollen auf der Statorwelle ab und ermöglichen so einen reibungs- und geräuscharmen Betrieb im Getriebe. Befinden sich kleine Welligkeiten in Umfangsrichtung, kann das zur Anregung von Resonanzen führen und Pfeifgeräusche hervorrufen.



mit präzisen taktilen Rundheitsmessmaschinen. Dabei dauert eine Messung inklusive der Einrichtzeit mehrere Minuten. In Bild 1 erkennt man das Zusammenspiel von Wälzlager und Wellenlager anhand des Beispiels einer Statorwelle. Die einzelnen Wälzkörper rollen auf der Statorwelle ab und ermöglichen so einen reibungs- und geräuscharmen Betrieb im Getriebe. Befinden sich nun kleine Welligkeiten in Umfangsrichtung, kann das zur Anregung von Resonanzen führen und Pfeifgeräusche hervorrufen.

Da es bisher kein Verfahren gibt, Rattermarken auf kritischen Lagerflächen schnell in der Fertigung zu messen, ist der Produktionsschaden immer relativ hoch, denn die Geräusche werden erst bei der Geräuschprüfung am fertigen Motor oder Getriebe bemerkt. Für einen möglichen Zulieferer von Wellen oder Lagern bedeutet das oft die Rückweisung der kompletten Charge. Es ist daher sehr wünschenswert, kritische Lagerflächen bereits unmittelbar nach der Finishmaschine auf Rattermarken hin prüfen zu

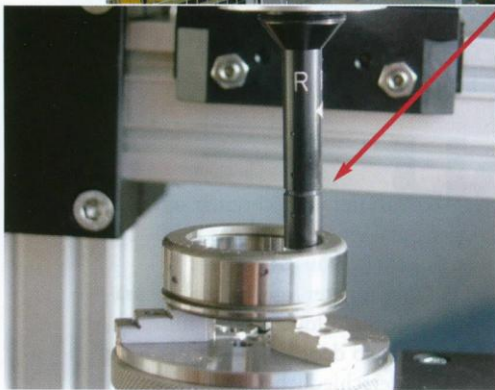
Bild 2. Rattermarkenmessung mit Streulichtsensor:
Der Messfleck „gleitet“ über die zu messende Oberfläche durch präzises Drehen des Messobjekts.



© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit



Bild 3. Rattermarkenmessautomat:
100-Prozent-Messung von Nadellager-
Außenringen. Der Ausschnitt zeigt einen
Optikadapter für die Bohrungsmessung.



können, damit schlechte Teile erst gar nicht zur Montage gelangen.

Streulichtverfahren erlaubt Rauheits- und Welligkeitsmessung

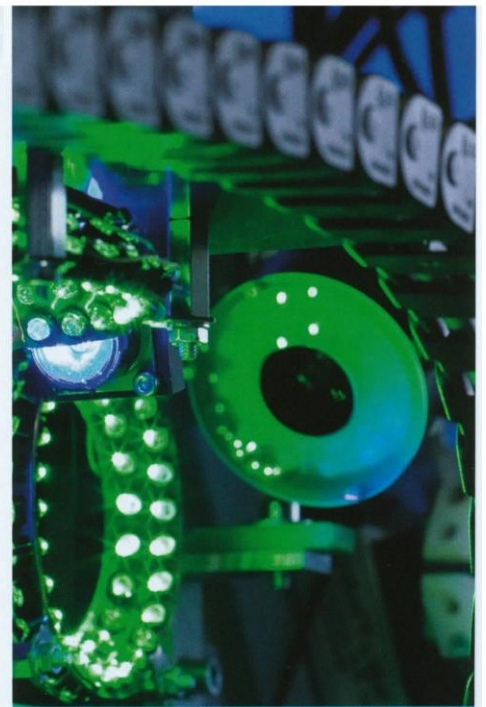
Seit der Einführung der Streulichtmess-technik steht der Produktion nun ein Messsystem von Optosurf, Ettlingen, zur Verfügung, mit dem es relativ einfach ist, Rattermarken präzise, schnell und integriert im Fertigungsprozess zu erfassen. An anderer Stelle wurde diese neue Methode bereits vorgestellt [2], sodass im Folgenden nur kurz auf das Messprinzip eingegangen wird.

Die Oberflächenmessung mit Streulicht ist ein völlig neuer Ansatz, um fein bearbeitete Oberflächen zu charakterisieren. Ursprünglich entwickelt für die schnelle 100-Prozent-Rauheitsmessung, hat sich gezeigt, dass mittels spezieller Auswertverfahren auch eine hochgenaue Form- und Welligkeitsmessung möglich ist.

Im Detail funktioniert ein Streulichtsensor folgendermaßen: Eine LED-Lichtquelle beleuchtet die Oberfläche mit ei-

nem kleinen Messfleck (0,3 oder 0,9 mm Durchmesser). Die Mikrostruktur der Oberfläche (Rauheit) streut das zurückreflektierte Licht unter bestimmten, von der Rauheitsstruktur vorgegebenen Streuwinkeln, die von einer speziellen Messoptik aufgenommen und auf eine Detektorzeile gelenkt werden. Dort erhält man eine mehr oder weniger breite Streulichtverteilungskurve (eine glatte Fläche ergibt eine schmale und eine raue Fläche eine breite Verteilung), die statistisch ausgewertet wird. Die Varianz dieser Verteilungskurve ist der Rauheitskennwert A_q , der in einer neuen VDA-Richtlinie Streulichtmesstechnik [3] beschrieben wird.

Neben der Verbreiterung der Streulichtverteilung durch die Rauheit verschiebt sich auch der Schwerpunkt, wenn die lokal beleuchtete Oberfläche ihren Steigungswinkel ändert. Dies kann durch Verkippen des Messobjekts, aber auch durch Formabweichung passieren. In Bild 2 wird dieses Messprinzip schematisch dargestellt. Der Messfleck „gleitet“ über die zu messende Oberfläche durch präzises Drehen des Messobjekts. Das von der Messoptik erfasste Streulicht gelangt dann auf den Detektor, der die Streulichtverteilung erfasst. Eine Formabweichung mit dem Winkel Δi führt zu einer $\triangleright$



Inspektion und Automation intelligent integriert

ibea bietet ein umfassendes Know-how bei Qualitätssicherungssystemen: Optische Messmethoden, Über- und Unterdruckprüfungen, thermografische und akustische Messungen.

Wir entwickeln und fertigen auf Basis unserer standardisierten Inspektionsanlagen und Prüftechniken Ihre individuelle Prüf- und Fertigungszelle. Zusätzlich können wir Veredelungs- oder andere Prozesse – wie z. B. Füge- oder Formtechniken – integrieren und die Anlage perfekt in Ihre vorhandenen Produktions- oder Veredelungslinien einpassen – betriebsfertig aus einer Hand!



ibea-Systeme prüfen Ihre Produktqualität und optimieren und sichern so Ihre Fertigungsprozesse und Lieferfähigkeit.

**ENTWICKLUNG · INSTALLATION · INTEGRATION
VON TEST- UND INSPEKTIONSANLAGEN**

ibea GmbH Hamburg
Kleine Bahnstraße 8
D-22525 Hamburg
Tel.: +49 +40 68 98 87-0
Fax: +49 +40 68 98 87-29
info@ibea.de
www.ibea.de

ibea
we keep an eye on your quality

Literatur

1. Rau, N., et al.: Optische Oberflächenanalyse zum Bestimmen von Gestaltsabweichungen. WB Werkstatt + Betrieb 118 (1985) 11, S. 725
2. Brodmann R., et al.: Kenngrößen der Mikrostruktur definiert. QZ 53 (2008) 7, S. 46
Dokumentenummer online: QZ102624
3. VDA-Richtlinie 2009 „Streulichtmess-technik“ wird demnächst veröffentlicht. Eine Vorabversion kann beim Autor angefordert werden.

Autoren

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

Boris Brodmann, geb. 1972, leitet die Applikation und den Vertrieb bei OptoSurf in Ettlingen.

Dipl.-Ing. Boris Kür, geb. 1970, ist Geschäftsführer der Firma Mesing spol. s.r.o. in Brno.

Dipl.-Ing. Daniel Smutný, geb. 1978, ist Projektleiter für innovative Messtechnik bei Mesing spol. s.r.o. in Brno.

Kontakt

Dr. Rainer Brodmann
T 07243 766013
r.brodmann@optosurf.de
Halle 3, Stand 3511

www.qm-infocenter.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentenummer: **QZ110055**

Verschiebung M_i auf dem Detektor, aus der sich trigonometrisch die lokale Höhe der Formabweichung berechnen lässt.

Durch Integration aller Winkel über die Abtastlänge erhält man so das gewünschte Formprofil. Die Genauigkeit des Verfahrens ist sehr hoch, für typische Lagerdurchmesser (30 bis 40 mm) lassen sich Rundheiten bis circa $0,2 \mu\text{m}$ und Welligkeitsamplituden bis unter $0,02 \mu\text{m}$ erfassen.

Die Vorteile dieses Messverfahrens im Vergleich mit taktilen Rundheitsmessmaschinen sind die große Messgeschwindigkeit und die Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen. Zudem wird mit dem Aq-Wert gleichzeitig auch die Oberflächenrauheit erfasst. Da der Sensor bei der

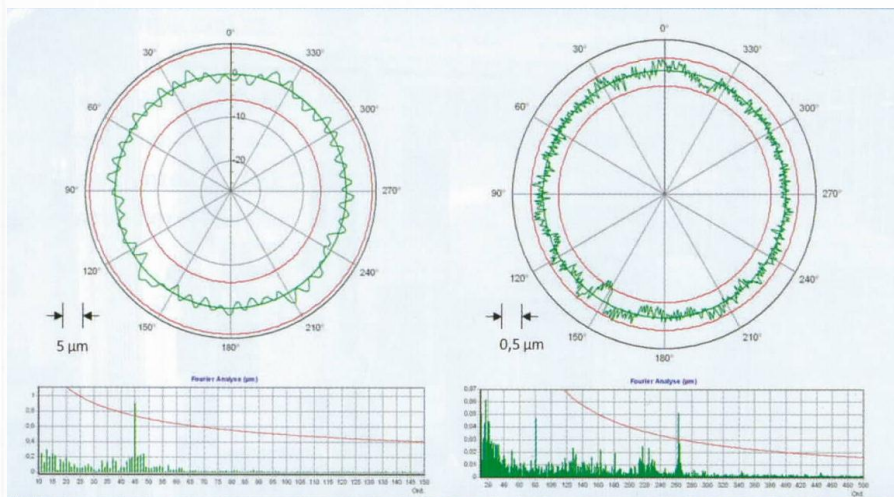


Bild 4. Rattermarken: Außenring mit 36 mm Durchmesser mit Welligkeiten von $0,9 \mu\text{m}$ Amplitude und 45 Wellen auf dem Umfang (links), Innenring mit 198 mm Durchmesser mit Welligkeitsamplitude $0,05 \mu\text{m}$ und 263 Wellen (rechts). Die rote Linie unten ist die Grenzwertkurve.

Rattermarkenmessung in Richtung der Bearbeitungsriefen ausgerichtet ist, beschreibt der Aq-Wert bei dieser Orientierung die Veränderungen der Längsrauheit. Das ist eine durchaus interessante Kenngröße, da die Wälzkörper genau in dieser Richtung abrollen. Die Untersuchungen zu diesem Thema stehen noch am Anfang.

100-Prozent-Kontrolle von Lagerringen

Bild 3 zeigt einen Messautomaten, der mithilfe des Streulichtensors in einer Wälzlagerfertigung integriert ist und jedes Lager mit einer Taktzeit von 3 s auf Rattermarken überprüft. Der Grenzwert beträgt dabei $0,05 \mu\text{m}$ Amplitude für Ordnungen zwischen 25 und 250 Wellen auf dem Umfang. Da es sich um Außenringe handelt, ist der Sensor mit einer Spezialoptik ausgerüstet, die ähnlich wie ein Endoskop funktioniert und in Bohrungen $> 10 \text{ mm}$ Durchmesser eingesetzt werden kann.

Der Automat führt die Lagerringe der Messmaschine zu, die mithilfe eines Präzisionstisches die Ringe dreht, während der Sensor 1024 Winkelwerte auf dem Umfang erfasst. Ein Rechner bestimmt daraus nach einer Least-Square-Circle (LSC)-Filterung Rundheit, Welligkeit und Längsrauheit (Aq). Die Ordnung und Amplitude der Welligkeiten werden mit einer Fourier-Analyse (FFT) berechnet. Treten Rattermarken auf, die den Grenz-

wert von $0,05 \mu\text{m}$ überschreiten, wird ein Triggersignal erzeugt und das n.i.O.-Teil über eine Weiche ausgeschleust.

Da Rattermarken oft nicht gleichmäßig über dem Laufquerschnitt auftreten, wird innerhalb der 3 s Taktzeit der Ring an drei unterschiedlichen Bahnen durch vertikales Verfahren des Sensors vermessen. Typische Ergebnisse von Außenlagerringen werden in Bild 4 gezeigt. Zu sehen ist jeweils oben das berechnete Rundheitsdiagramm nach einer Hochpassfilterung (10 Wellen) und darunter das entsprechende Fourier-Spektrum. Sobald in einem kritischen Ordnungsbereich (Anzahl der Wellen auf dem Umfang) eine markante Linie auftaucht, die die rot eingezeichnete Grenzkurve überschreitet, wird diese Linie rot gefärbt und mittels einer I/O-Karte (Input/Output) ein Steuerungssignal ausgegeben.

Mit diesem Messautomaten ist es möglich, jedes gefertigte Teil auf kritische Rattermarken hin zu prüfen und n.i.O.-Teile sicher in den Ausschusskorb zu entsorgen. Der Vorteil für die Produktion ist die hundertprozentige Sicherheit, dass an den Kunden kein problembehaftetes Lager geliefert wird, was zu hohen Reklamationskosten führen würde. Des Weiteren erlaubt die lückenlose Messung der Oberfläche auch eine schnelle Rückmeldung an die Produktionsmaschine, wenn fehlerhafte Teile auftreten, um so einen Werkzeugwechsel zu veranlassen oder eine Störung an der Maschine zu beheben. □