

FASEROPTISCHE MINIATURSENSOREN FÜR KAVITÄTEN UND BOHRUNGEN

Messen auf kleinstem Raum

Robert Schmitt, Niels König und
Frank Depiereux, Aachen

Der Trend zur Miniaturisierung, wie man ihn in der Mikrosystemtechnik oder in der Ultrapräzisionsbearbeitung erkennen kann, stellt die Messtechnik vor neue Herausforderungen. Dies betrifft nicht nur die Auflösung und die Messunsicherheit, sondern vor allem auch die Bauform und die Größe der eingesetzten Messmittel.

Die Prüfung von Mikrostrukturen (Strukturen mit Ausdehnungen unter 1 mm Größe) oder Messungen in Mikrobohrungen sind mit taktilen Messmitteln bis auf wenige Ausnahmen undenkbar. Auch die gebräuchlichen optischen Mess-

verfahren wie etwa Lasertriangulation, konfokale Mikroskopie, Weißlichtinterferometrie oder Streifenprojektion haben hier Probleme, da die Messköpfe für viele Anwendungen nicht genügend miniaturisiert werden können.

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT) in Aachen hat ein

Messungen in Mikrobohrungen sind mit taktilen Messmitteln bis auf wenige Ausnahmen undenkbar. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen, entwickelte ein auf Lichtwellenleitern basierendes Rundheitsmesssystem für die hochgenaue Messung in kleinen Kavitäten und Bohrungen. Damit sollen beispielsweise die Einspritzdüsen von Common-Rail-Einspritzsystemen gemessen werden.

System für die hochgenaue Messung in kleinen Kavitäten und Bohrungen entwickelt. Das Messprinzip basiert auf der kurzkohärenten Interferometrie, welche verwandt ist mit der Weißlichtinterferometrie und die Messung auch auf technischen Oberflächen ermöglicht. Hauptbestandteile des Systems sind die opto-

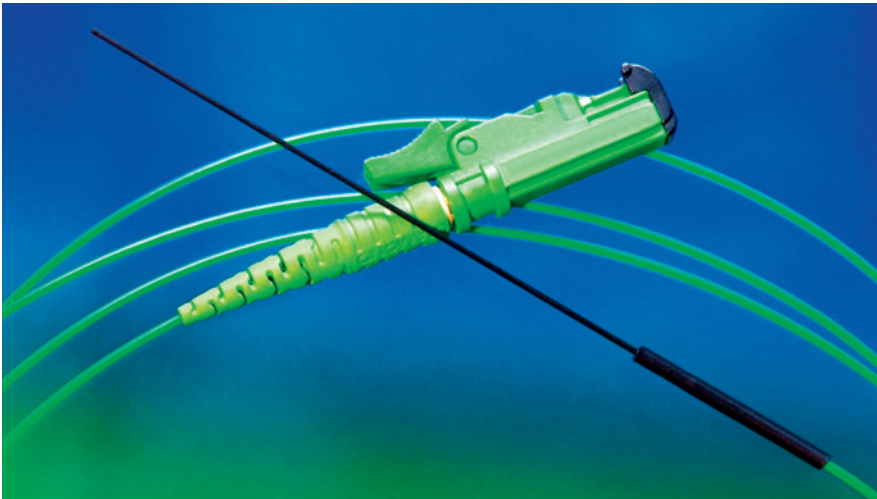


Bild 1. Faseroptische Messsonde mit einem Durchmesser von 700 μm . Der Verbundwerkstoff CFK verleiht der Sonde eine hohe Robustheit für den Einsatz im industriellen Umfeld

elektronische Auswerteeinheit und eine miniaturisierte Messsonde. Die Sonde wurde in All-Fiber-Technologie realisiert, das heißt vollständig auf Basis von Lichtwellenleitern (LWL). Dies ermöglicht neben dem hohen Miniaturisierungsgrad auch Flexibilität beim Design der Sonden. Diese lassen sich an die jeweilige Anwendung anpassen: Die integrierte Strahlformung kann im Arbeitsabstand variiert und als Trägermaterial können Verbundmaterialien wie etwa das hochfeste CFK für den rauen Einsatz im industriellen Umfeld oder eine spezielle Metalllegierung verwendet werden (Bild 1), mit der Sondendurchmesser bis zu 430 μm erreicht werden. Die Länge einer Messsonde kann zwischen 30 und 100 mm betragen. Dank LWL-Technologie kann auch die Verbindung zwischen Sonde und Auswerteeinheit nahezu beliebig lang sein.

In der Auswerteeinheit wird der Abstand zwischen Sonde und Messobjekt

optisch dekodiert und mittels eines angeschlossenen Auswerterechners (PC) mit einer Auflösung von 0,1 nm berechnet. Die Messungen sind extern mit einer Messfrequenz von 2 kHz triggerbar, wodurch sich das System auch für die In-Prozess-Messtechnik eignet. Die Messunsicherheit beträgt ca. 10 nm [1]. Das Gesamtsystem aus Auswerteeinheit und Sonde wird mittlerweile von der Fionec GmbH, Aachen, einer Ausgründung des Fraunhofer IPT, gebaut und vertrieben.

Rundheitsabweichungen messbar

Auf der Control 2008 in Stuttgart präsentierte das Fraunhofer IPT ein System für die Messung in Bohrungen mit Durchmesser bis 1 mm (Bild 2). Ein rotations-symmetrisches Messobjekt wird von einem Spannfutter gehalten und mittels einer Präzisionsdrehachse rotiert. Eventuell vorhandene Taumelbewegungen können

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt, geb. 1961, ist Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement und Mitglied des Direktoriums des Werkzeugmaschinenlabors (WZL) der RWTH Aachen sowie als Leiter der Abteilung Produktionsqualität und Messtechnik des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie (IPT) Mitglied des Direktoriums des Fraunhofer IPT.

Dipl.-Phys. Niels König, geb. 1974, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPT, Abteilung Produktionsqualität und Messtechnik, mit dem Arbeitsschwerpunkt faseroptische Sensorik.

Dr.-Ing. Frank Depiereux, geb. 1973, war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPT, Abteilung Produktionsqualität und Messtechnik. Während seiner Institutszugehörigkeit entwickelte er maßgeblich das oben beschriebene faseroptische Distanzmesssystem und promovierte Anfang 2007 über die Thematik. Seit Mitte 2007 ist er Geschäftsführer der Fionec GmbH, Aachen.

Kontakt

Niels König
T 02 41/89 04-113
niels.koenig@ipt.fraunhofer.de

QM-Infocenter.de ▶ QZ102625

in der Messobjektaufnahme kompensiert werden. Mit einer motorisierten Linearachse wird die speziell angepasste, faseroptische Messsonde mit 90°-Strahlableitung in die Bohrung eingeführt. Die Rotation des Messobjekts wird durch ▶

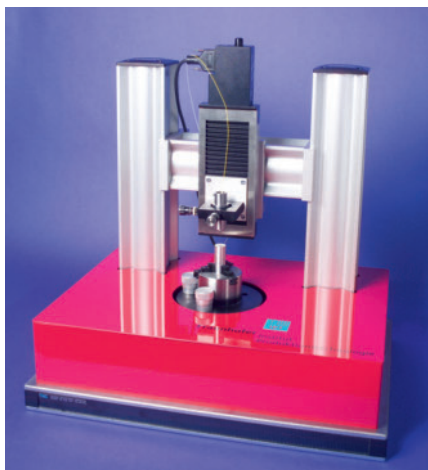


Bild 2. Faseroptisches Rundheitsmesssystem für die Messung von Bohrlöchern mit Durchmessern bis zu 1 mm

Triggerung mit den Messungen der Sonde auf der Bohrungswandung synchronisiert, wodurch sich bei einer Winkelgeschwindigkeit von 80° pro Sekunde eine Messzeit von nur 4,5 Sekunden für eine 360°-Messung ergibt. Die Winkelgenauigkeit für das System liegt bei etwa 0,01°, während die radiale Messunsicherheit

Literatur

- 1 Schmitt, R.; Pfeifer, T.; Depiereux, F.; König, N.: „Novel fiber-optical interferometer with miniaturized sensing probe for in-hole measurements“, Optoelectronics Letters, vol. 4, no. 2, 2008, pp. 140-142
- 2 Burgarth, V.; Meiners-Hagen, K.; Abou-Zeid, A.: „Rundheitsmessungen mit einem Diodenlaserinterferometer“, tm – Technisches Messen, vol. 71, no. 6, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2004, S. 335–340
- 3 Schmitt, R.; König, N.; Depiereux, F.: „Roundness measurements of boreholes with small diameters using a fiber-optic sensor“, OPTO 2008 Proceedings, 2008, pp. 51–55
- 4 Nakstad, H.; Kringlebotn, J.T.: „Oil and gas applications: Probing oil fields“, Nature Photonics, vol. 2, no. 3, 2008, pp. 147-149
- 5 Reed, W.A.; Yan, M.F.; Schnitzer, M.J.: „Gradient-index fiber-optic microprobes for minimally invasive in vivo low-coherence interferometry“, Optics Letters, vol. 27, no. 20, 2002, pp. 1794–1796

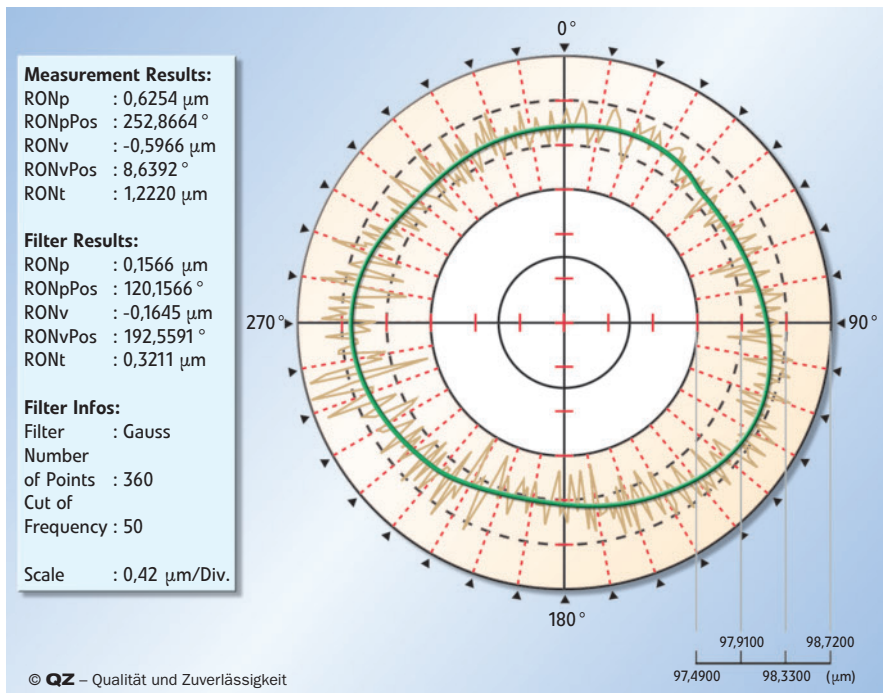


Bild 3. Ergebnis der Rundheitsmessung eines Edelstahlzylinders als Polardiagramm. Das Messsystem konnte eine Rundheitsabweichung von 0,3 μm ermitteln

ca. 10 nm beträgt. Von den technischen Spezifikationen ist das faseroptische Rundheitsmesssystem mit interferometrischen Messverfahren wie etwa der Mehrwellenlängeninterferometrie [2] vergleichbar, verfügt jedoch bauartbedingt über eine höhere Robustheit. Es übertrifft taktile Rundheitsprüfgeräte, die momentan Stand der Technik sind. Zudem entfalten die Mikrosonden bei der Inspektion von Bohrlöchern ihr wahres Potenzial. Das System ist prädestiniert dafür, beispielsweise die Einspritzdüsen von Common-Rail-Einspritzsystemen zu messen. Geplant ist auch die Rauheitsmessung von Kleinlagern, welche tribologische Funktionen übernehmen müssen.

Zylindrizitätsprüfungen möglich

Für die Auswertung werden die radialen Abstandswerte mit den Winkelpositionen kombiniert und gemäß ISO 12181 ausgewertet. Bild 3 zeigt das Ergebnis einer Rundheitsmessung eines Edelstahlzylinders. Das Polardiagramm enthält die Rohdaten (gelbe Linie), aus denen nach Tiefpassfilterung (grüne Linie) die Abweichung zum Referenzkreis LSCI (Least squares circle) als Rundheitsabweichung RONt berechnet wird. Durch die hohe radiale Auflösung sind Rundheitsabweichungen im Sub-μm-Bereich messbar. Wird die Sonde nach jedem gemessenen

Rundheitsprofil mit der Linearachse in z-Richtung verfahren, sind sogar Zylindrizitätsprüfungen möglich.

Das Fraunhofer IPT plant, die Sonde im Durchmesser weiter deutlich zu verkleinern und will Spezialsonden für die Rauheitsmessung entwickeln. Durch eine zusätzliche Bearbeitung der Sondenspitze soll außerdem die Messung unter verschiedenen Winkeln ermöglicht werden.

Die Vorzüge solcher faseroptischen Sensoren sind neben dem geringen Durchmesser auch in den hervorragenden optischen Eigenschaften zu sehen. Da sie Licht als Informationsträger nutzen, sind sie unempfindlich für elektromagnetische Störungen. Zudem lassen sich die Sensoren durch Multiplexing beliebig kombinieren und als verteilte Sensornetzwerke für komplexe Messaufgaben verwenden.

Neben dem Hauptanwendungsgebiet Telekommunikation finden Lichtwellenleiter immer mehr Anwendung auch in der Messtechnik. So werden im Strukturmonitoring Faser-Bragg-Gitter (FBG) für die Überwachung der Zustände von Gebäuden, Flügeln von Windkraftanlagen, Pipelines und sogar Ölfeldern eingesetzt [4]. Als medizinisches Diagnosewerkzeug können faseroptische Sonden in der optischen Kohärenztomografie (OCT) zur minimalinvasiven Messung von biologischem Gewebe genutzt werden [5]. □