

Konfokal messen

3D-Oberflächenmessung per Mikroskop



Mobiles Messgerät: Einsatz in der Produktion

Voraussetzung für eine stabile Prozessführung in der Fertigung ist die schnelle und genaue Erfassung der 3D Oberflächencharakteristik.

Heike Schmidt und Jürgen Valentin



Dipl.-Ing. (FH) Heike Schmidt, Marketing und Vertrieb, bei der NanoFocus AG, Oberhausen

www.nanofocus.de



Dipl.-Phys. Jürgen Valentin, Vorstand Forschung und Entwicklung bei der NanoFocus

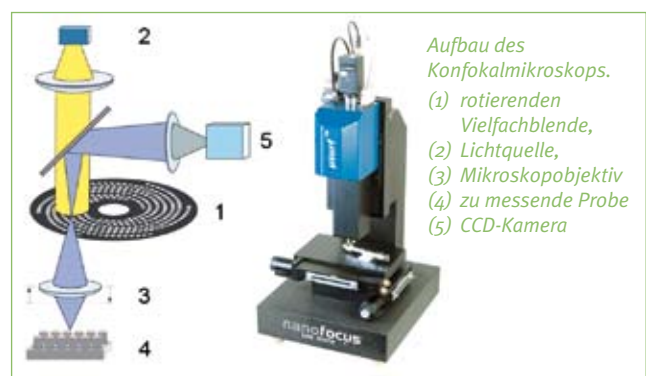
AG, Oberhausen
www.nanofocus.de

Als Anwendungsbeispiel sei die 3D-Texturierung von Feinblechen zur Herstellung von Fahrzeug-Karosserien genannt. Voraussetzung für eine stabile Prozessführung in der Fertigung ist die schnelle und genaue Erfassung der Oberflächeneigenschaften. Das hier vorgestellte 3D-Konfokalmikroskop eignet sich aufgrund seiner Präzision und Robustheit sowohl für den Laborbereich als auch zur Qualitätskontrolle in rauher Fertigungsumgebung.

So funktioniert Konfokaltechnik

Die Konfokaltechnik – hier aufgezeigt am Beispiel des 3D-Mikroskops *µsurf* von NanoFocus – basiert auf der optischen Filterung mit Hilfe einer rotierenden Vielfachblende (Multipinhole-Filter). Eine Xenon-Lichtquelle, die mit dem Messkopf über einen Lichtleiter verbunden ist, bildet die einzelnen Lochblenden des Filters über das Mikroskopobjektiv auf die zu messende Probe ab.

Das auftreffende Licht wird von



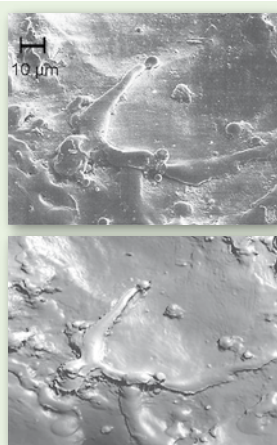
Aufbau des Konfokalmikroskops.
(1) rotierenden Vielfachblende,
(2) Lichtquelle,
(3) Mikroskopobjektiv
(4) zu messende Probe
(5) CCD-Kamera

der Probe reflektiert und fällt auf eine CCD-Kamera. Es wird nur jener Anteil des zurückgeworfenen Lichtes auf den CCD-Chip abgebildet, der exakt im Brennpunkt des Objektivs liegt. Mit einem computergesteuerten Objektivtriebs – Piezo oder Schrittmotor – werden konfokal gefilterte Intensitätsbilder (Konfokalschnitte) (siehe Bild S. 37 oben) in unterschiedlichen Abständen aufgenommen und fortlaufend in einem Bildstapel gespeichert. Ein Softwarealgorithmus errechnet anschließend daraus die Höheninformation jedes einzelnen Bildpunktes

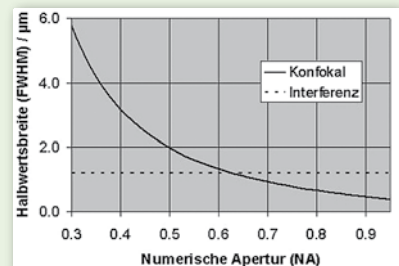
und somit die 3D-Topografie. Typische Messzeiten liegen im Bereich weniger Sekunden. Im Gegensatz zu Interferometern ermöglicht die Unterdrückung störender Reflexionen mit der konfokalen Blendenfilterung des Multi-Pinhole-Verfahrens eine besonders robuste Erfassung komplexer Topographien und die besonders gute Wiedergabe steiler Flanken und Unstetigkeiten.

Messen von Strukturen vom Mikrometer bis zum Nanometer

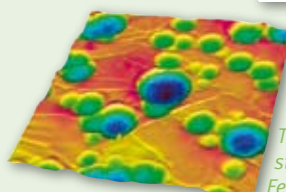
Die mit der Konfokaltechnologie



Topografie einer Walzenoberfläche gemessen mit einem
a) Rasterelektronenmikroskop
(Quelle: Alcan Research Center, Neuhausen)
b) Konfokalmikroskop



Halbwertsbreite in Abhängigkeit von der numerischen Apertur des Objektivs



Topografie einer strukturierten Feinblechoberfläche

erreichbare vertikale Auflösung ist von der *Numerischen Apertur (NA)* des verwendeten Objektiv abhängig. Unter Verwendung eines 100x-Objektivs ($NA=0.95$) können dabei Auflösungen bis zu wenigen Nanometern erzielt werden. Das Bild oben zeigt die Halbwertsbreite (FWHM) der Intensitätskurve (Konfokalpeak) in Abhängigkeit von der Numerischen Apertur des Objektivs.

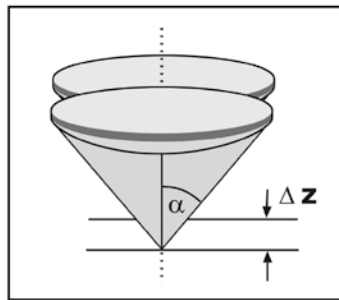
Der Messbereich ist lediglich durch den Verfahrweg des Objektivantriebs und den Arbeitsabstand des Objektivs begrenzt. Die Messfeldgröße einer Einzelmessung ist durch das verwendete Objektiv festgelegt, z.B. werden mit einem 20fach Objektiv mit nur einer Messung $800 \times 800 \mu\text{m}$ erfasst.

Dieser Bereich kann durch das automatische Aneinandersetzen (*Stitchen*) von bis zu mehreren hundert Einzelmessungen erheblich erweitert werden. Die Messdauer liegt in der Regel zwischen 5 und 10 Sekunden.

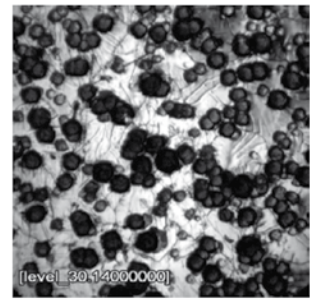
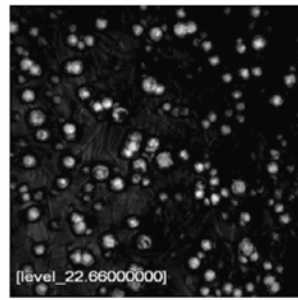
Die Wiederholpräzision und Genauigkeit der Messergebnisse werden anhand standardisierter ISO-Normale überprüft. Auch zeigt die beispielhafte Messung einer Walzenoberfläche die Übereinstimmung mit einer elektronenmikroskopischen Aufnahme (REM) (siehe Bild S. 36 unten).

Mobiles Messsystem

Das auf dem stationären 3D-Konfokalmikroskop basierende Modell *µsurf mobile* gleicht diesem in Präzision und Robustheit. Das Messgerät und die zugehörigen externen Komponenten sind platzsparend in einem kompakten Rollcontainer untergebracht (siehe erstes Bild Seite 36). Der Aufbau vor



Konfokale Bildschnitte im Abstand von etwa $8 \mu\text{m}$



Ort nimmt nur wenige Minuten in Anspruch, da der mobile Messkopf bereits im Rollcontainer mit der Steuerungseinheit verbunden ist und direkt aktiviert werden kann.

Unter Nutzung des computergesteuerten Autofokus sind *gestitchte* Messreihen entlang gekrümmter Oberflächen, zum Beispiel entlang eines Walzenumfangs möglich. Das mobile Konfokalmikroskop gestattet so das schnelle und einfache Messen von großen Werkstücken, wie Walzen- oder Blechoberflächen. Aufgrund der robusten Bauweise ist das Gerät unempfindlich gegenüber Vibrationen und für den Einsatz in der Produktion besonders gut geeignet. Das mobile 3D-Messgerät ist damit ein wichtiges, bisher fehlendes Bindeglied zwischen dem Einsatz modernen Fertigungsverfahren und deren Qualitätsüberwachung im Herstellungsprozess.

Anwendungsbeispiel Automobilbau

Im Fahrzeugbau haben tribologische Untersuchungen von Oberflächen einen zunehmend hohen Stellenwert. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen zum Beispiel die Charakterisierung von Feinblechoberflächen mit opti-

mierten Umformverhalten und die Untersuchung der Oberflächeneigenschaften mechanischer Komponenten im Bereich der Kraftstoffzuführung und Antriebstechnik (zum Beispiel Zylinderlaufflächen).

Oft sind dies kritische Komponenten, die bei Fehlverhalten hohe Folgekosten verursachen – beispielsweise durch Rückrufaktionen. Mit der 3D-Oberflächencharakteristik können direkte Rückschlüsse auf die Lebensdauer oder das Umformverhalten der Komponenten gezogen werden. Den Einfluss dieser Charakteristika bestätigen bereits zahlreiche Fallstudien.

Strukturiertes Feinblech

Das Bild auf Seite 36 unten Mitte zeigt die 3D-Topografie einer strukturierten Feinblechoberfläche für den Karosseriebau. Die Vertiefungen in der gewalzten Oberfläche dienen zur Aufnahme von Schmiermittel im Umformungsprozess. Die Materialflächen werden dadurch entlastet, was zur Verringerung des Materialverbrauchs führt und somit die Kosten senkt.

Um dreidimensionale Oberflächenparameter – wie offene oder geschlossene Leerflächenvolumina und Materialflächenanteile – zu bestimmen ist die Messung der 3D-Topografie notwendig. Bisher verwendete mechanische 2D-Tastschnittverfahren sind für diese vollständige 3D-Analyse aufgrund zu langer Messzeiten nicht geeignet.

Motorzylinder

Im Motorenbau werden zunehmend neue Werkstoffe und damit verbunden neuartige Oberflächenstrukturen eingesetzt.

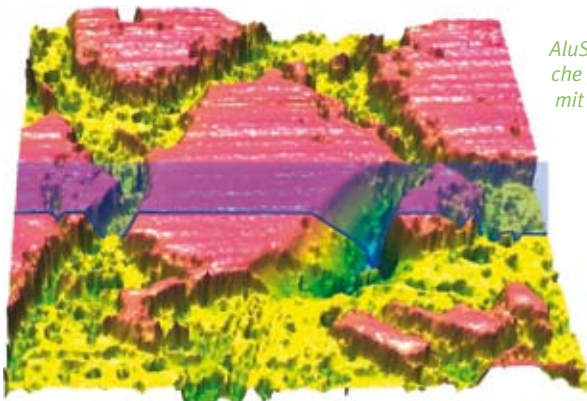
Ziele sind einerseits eine kostengünstigere Produktion, andererseits ein niedrigerer Kraftstoffverbrauch und eine höhere Lebensdauer.

Kugelgehäuse aus einer Aluminium-Silizium-Legierung besitzen dabei eine optimale Kombination von Leichtigkeit und Härte. In den Laufflächen der Zylinder werden die harten Siliziumpartikel freigelegt und bilden ein „Tragegerüst“ für die Laufbahn, was den Verschleiß der sonst weichen Oberfläche enorm reduziert. Zur Beurteilung der Qualität der Laufflächen ist eine flächenhafte Charakterisierung der Si-Kristalle notwendig (Bild unten). Aussagekräftige Kennwerte sind z.B. die Freilegtiefe oder die Verteilung der Siliziumkristalle. Da die Innenwände eines Motorzylinders für herkömmliche Messgeräte schwer zugänglich sind, entwickelte NanoFocus, basierend auf dem Standardsystem, einen speziellen Zylindermesskopf. Dieser besitzt eine an die Geometrie des Zylinders angepasste Tauchführung mit abgewinkelter Optik und ermöglicht so die Messung in Zylinderbohrungen ab 70 mm Durchmesser bis zu einer Eintauchtiefe von 165 mm.

Fazit

Die bisher im Automobilbau vorwiegend eingesetzten mechanischen Tastschnittgeräte reichen für die dreidimensionale Charakterisierung komplexer Funktionsoberflächen nicht mehr aus.

Mit der schnellen, hochpräzisen und robusten Konfokalmesstechnik ist es möglich, flächenhaft 3D-Topografien zu erfassen und sowohl *DIN EN ISO-* konforme Auswertungen vorzunehmen als auch mit neuen Algorithmen dreidimensionale Strukturparameter zu bestimmen.



AluSil Oberfläche gemessen mit dem *µsurf*