



Gar nicht oberflächlich

Präzise Messung strukturierter Funktionsoberflächen mit TopMap Weißlicht-Interferometern

Strukturierte Funktionsoberflächen mit engen Toleranzen erfordern hochpräzise Messsysteme, die in kurzer Zeit flächig die Topographie eines Werkstückes oder Objektes aufnehmen können. Die mit einer Genauigkeit von wenigen Nanometern oder sogar von Subnanometern in vertikaler Richtung arbeitende Weißlicht-Interferometrie ist deshalb in den letzten Jahren zu einem Standardwerkzeug in der industriellen Qualitätskontrolle geworden.

Einführung

Weißlicht-Interferometer ermöglichen die berührungslose Bestimmung von Parametern wie Ebenheit und Parallelität, Welligkeiten und Rauheiten. Als optisches Messverfahren erlaubt die Weißlicht-Interferometrie eine zerstö-

rungsfreie und schnelle Messung auch von weichen Oberflächen und – unter bestimmten Voraussetzungen – die Bestimmung von Schichtdicken.

Durch Verwendung kurzkohärenten Lichts vermeiden die Weißlicht-Interferometer von Polytec die Nachteile klassischer interferometrischer Messungen, die bei rauen Oberflächen wegen der auftretenden Speckles ausfallen oder bei der Bestimmung von Stufenhöhen bzw. von nicht zusammenhängenden Flächen durch Verlust der Ordnungszahl der Interferenzstreifen versagen.

Der optische Aufbau eines typischen modernen Weißlicht-Interferometers besteht aus einer Lichtquelle mit einer Kohärenzlänge im μm -Bereich, einem Strahlteiler, einem Referenzspiegel und einer Kamera mit Objektivsystem.

Die Funktionsweise ist in der neuesten Ausgabe des Polytec Tutorials ausführlich beschrieben. Bei der technischen Ausführung sind verschiedene Varianten möglich, die nachfolgend beschrieben werden.

Telezentrische Optik für großflächige Messungen

Folgt man dem Aufbau eines klassischen Twyman-Green-Interferometers, ergibt sich ein System mit telezentrischer Optik. Polytec bietet hier je nach Einsatzschwerpunkt unterschiedliche Modelle der TopMap-Serie an – für den schnellen Durchsatz in der Fertigungslinie, für hochaufgelöste Messungen im Labor oder für universelle Anwendungen.

Einen Überblick über die ganze Bandbreite der Topographie-Messsysteme von Polytec finden Sie im Einhefter "Grundlagen" auf www.topmap.de.

Bei Interferometern mit telezentrischem Aufbau werden typische laterale Auflösungen zwischen $10\ \mu\text{m}$ und $50\ \mu\text{m}$ und Messfeldgrößen im Zentimeterbereich erreicht. Der vertikale Verfahrensweg beträgt mehrere Zentimeter, was auch Messungen in tiefen Bohrungen bis zu $70\ \text{mm}$ ermöglicht.

Damit erschließen sich anspruchsvolle Aufgaben wie Messungen in Vertiefungen, wo es beispielsweise um Abstände zweier Flächen, Parallelitäten oder Planaritäten geht, ebenso Messungen mit größeren Gesichtsfeldern bis zu $50\ \text{mm}$. Die Überprüfung solcher Parameter ist zum Beispiel für die Qualitätskontrolle von Werkstücken in der Automobilindustrie wichtig.

Mikroskopische Optik für lateral hochauflösende Messungen

Wird eine hohe laterale Auflösung benötigt, bieten sich Mikroskopsysteme an, bei denen der optische Aufbau mit dem Referenzarm in das Objektiv integriert ist (z. B. Mirau-Objektiv). Je nach Objektiv lässt sich eine laterale Auflösung von $1\ \mu\text{m}$ und kleiner erreichen. Ein solches System ist das neue TopMap μ .Lab von Polytec, das die Topographie von Mikrostrukturen schnell erfasst und leistungsfähige Auswertungsmöglichkeiten bietet, beispielsweise bei Messungen an Mikrosensoren, -Aktoren und anderen MEMS-Bauteilen. Auch die Untersuchung von strukturierten Blechen oder von Laufflächen in Kurbelgehäusen sind Beispiele, bei denen eine hohe laterale Auflösung benötigt wird.

Standardisierung von Oberflächenmesstechniken

Es ist sehr zeitaufwendig, größere Flächen tastend zu vermessen. Daher besteht der dringende Wunsch nach einer schnellen Messmethode. Hier bieten sich allgemein optische Verfahren an. Unterschiedliche Messverfahren erzeugen aber unterschiedliche Ergebnisse für Oberflächenstrukturen und

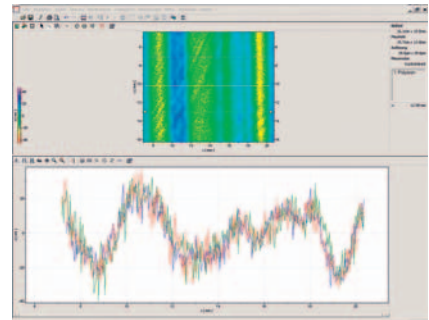
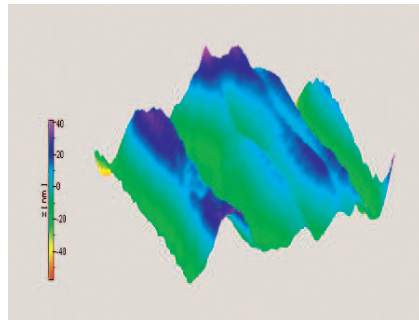


Bild 1: Monitorfolie (links) und polierte Glasoberfläche (rechts)

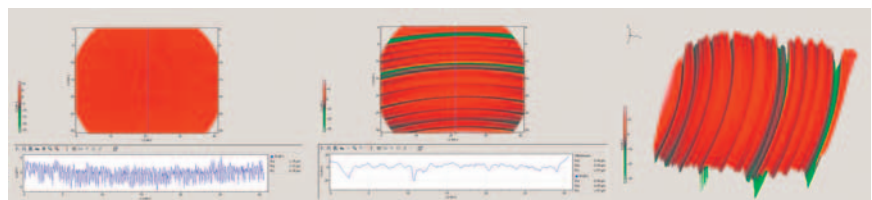


Bild 2: Verschleißverhalten von Bremsscheiben

-parameter, da je nach der bei der Messung auftretenden Wechselwirkung zwischen Sensor und Oberfläche verschiedene Grenzflächen erfasst werden. Beim klassischen Tastschnittverfahren können Fehler auftreten, da der mechanische Taster zu kleine oder zu stark zerklüftete Strukturen nicht mehr erkennen oder z. B. weiche Oberflächen beschädigen kann.

Optische Messverfahren können diese Schwierigkeiten überwinden. Neue Richtlinien des VDI oder die aktuelle internationale ISO-Normungstätigkeit im Bereich der geometrischen Produktspezifikationen beziehen nun auch andere als die Tastschnittverfahren für Oberflächen ein. Dadurch wird eine Rückführbarkeit gewährleistet und eine Vergleichbarkeit von optischen Messungen hergestellt.

Der von Polytec verfolgte Ansatz, mithilfe von einfachen Makro-Programmen werkstückspezifische Mess- und Auswertalgorithmen einzusetzen, erhöht die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Daher ist die Weißlicht-Interferometrie auch bei Routinemessungen ein sehr leistungsfähiges und zuverlässiges Messverfahren für Oberflächenparameter.

Beispiel 1: Großflächige Messung mit hoher Genauigkeitsanforderung

Die vertikale Auflösung ist bei Weißlicht-Interferometern unabhängig vom horizontalen Gesichtsfeld und damit von der horizontalen Auflösung. Die Beispiele in Bild 1 mit ihren glatten Oberflächen geben einen guten Eindruck davon, welche Höhenauflösungen unter „normalen“ Laborbedingungen möglich sind. Unter optimalen Bedingungen sind sogar Genauigkeiten im Subnanometerbereich erreichbar. Großflächige Messungen sind schnell und es müssen keine sequentiell gemessenen und aneinandergesetzten kleineren Bildfelder ausgewertet werden.

Untersuchungen von Verschleiß und Abnutzung sind ebenfalls klassische Aufgaben für topographische Messungen, beispielsweise zur Analyse von Fehlerursachen bei der Abnutzung von Bremsscheiben (Bild 2).

Beispiel 2: Einrichtung von Maschinen

Die Überprüfung der Einrichtung von Bearbeitungsmaschinen ist eine häufig vorkommende Anwendung. Hierbei werden die relevanten Parameter über-

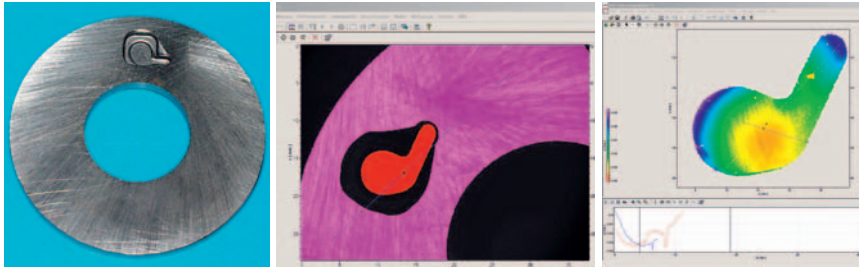


Bild 3: Lage und Form von zwei Flächen eines Werkstücks zueinander

prüft, bevor die Fertigungsreihe beginnt, und die Einstellungen der Bearbeitungsmaschinen werden optimiert. Bild 3 zeigt ein bearbeitetes Teil mit zwei untereinander liegenden Flächen. Die untere Fläche in einer Tiefe von ca. 3,4 mm wird hinsichtlich ihrer Parallelität zur oberen Fläche (Mitte) und ihrer Ebenheit (rechts) gemessen.

Beispiel 3: Qualitätssicherung – Messungen in der Linie

In der Fertigungskontrolle beträgt die Taktzeit meist nur wenige Sekunden und in dieser Zeit muss die Gut/Schlecht-Analyse abgeschlossen sein. Wegen der anspruchsvollen Umgebungsbedingungen benötigt man vollautomatisch arbeitende, wartungsarme Sensoren. Für Toleranzen von ca. 1 µm müssen Genauigkeiten von mindestens 100 nm oder wesentlich besser erreicht werden. Ein typischer automatisierter Messablauf bestimmt beispielsweise an dem in Bild 4 gezeigten Stoßdämpferteil den mittleren Höhenabstand (links) und das eingezeichnete Kreislinienprofil (rechts).

Wegen unvermeidlicher Toleranzen bei der Beladung wird zunächst eine sehr schnelle Messung durchgeführt, um den interessierenden Höhenbereich zu finden, der anschließend etwas langsamer, aber genauer vermessen wird. Die Auswertung ergibt die Masken und Abstände für die Profile, außerdem wird eine Fläche rechnerisch mithilfe einer linearen Regression ausgerichtet und die Verkipfung der anderen dazu berechnet. Der ganze Vorgang ist nach wenigen, in diesem Fall 4 – 10 Sekunden abgeschlossen.

Beispiel 4: Großflächige und mikroskopische Messungen an einer Zerstäuber-Membran

Wie oben ausgeführt, hat Polytec für Messungen mit unterschiedlich großen Gesichtsfeldern und damit unterschiedlich großen horizontalen Auflösungen unterschiedliche Messtechniken entwickelt. Bild 5 zeigt das Profil einer Zerstäuber-Membran, gemessen mit einem telezentrischen TopMap Pro.Lab-Gerät (links). Die horizontale Auflösung beträgt hierbei ca. 50 µm bei einem Bildfeld von ca. 40 x 30 mm²; die unter 50 µm kleinen Zerstäuberlöcher werden jedoch nicht aufgelöst. Das TopMap µ.Lab Mikroskopsystem mit einem 20x-Objektiv kann diese Löcher jedoch darstellen und mit dem 50x-Objektiv ist sogar die Analyse der Topographie des Auswurfmaterials an

den Lochrändern möglich (rechts), wobei das Bildfeld beim 50x-Objektiv auf ca. 180 x 230 µm² begrenzt ist.

Zusammenfassung

Die Weißlicht-Interferometrie ist zu einem wichtigen Werkzeug für die zerstörungsfreie Qualitätsprüfung geworden. Es können Oberflächenparameter bestimmt, Strukturen analysiert oder Fehler detektiert werden. Auch Amplitudensprünge im Profil und Riefen mit großem Aspektverhältnis sind mithilfe der Weißlicht-Interferometrie messbar. Die vertikale Auflösung kann im Subnanometerbereich liegen und ist in der Praxis nur durch die Umgebungsbedingungen begrenzt, nicht durch das Messprinzip.

Die Anforderungen an die zu vermessenden Oberflächen sind vergleichsweise gering: Es können glatte und raue, stufige und geneigte, dunkle und helle Oberflächen vermessen werden. Da optische Grenzflächen erfasst werden, stört im Gegensatz beispielsweise zu Streiflichtverfahren eine gewisse Transparenz des Werkstückes nicht. Alles dies macht die Weißlicht-Interferometrie zu einem universellen Werkzeug für die Bestimmung der Oberflächentopographie.

 www.topmap.de

Bild 4: Topographie eines Stoßdämpfer-Werkstücks

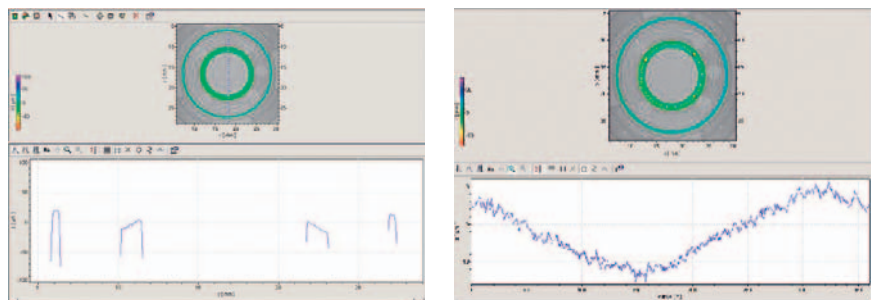


Bild 5: Topographie einer Zerstäuber-Membran bei verschiedenen Maßstäben, aufgenommen mit einem TopMap Pro.Lab (links) und mit einem TopMap µ.Lab (Mitte und rechts)

