

Deflektometrie von Oberflächen mit einem Zweistrahilverfahren

Albrecht Hertzsch, Markus Großmann, Karl Hehl

Innovent Technologieentwicklung e.V., Jena

<mailto:ah4@innovent-jena.de>

Ein optisches Winkelmessverfahren wird vorgestellt, mit dessen Hilfe Welligkeiten und Formabweichung von Oberflächen im Submikrometerbereich gemessen werden. Dabei verknüpft das Verfahren die Vorteile der Oberflächenneigungswinkelmessung mit denen der Abstandsmessung.

1 Einführung

Welligkeit und Formabweichung bestimmen wesentlich das funktionale Verhalten von Oberflächen (z.B. Laufgeräusche bei Getriebewellen, Wellenfrontaberration bei Abbildung mit Asphären). Die kritischen Amplituden dieser Gestaltabweichungen sind im Mikrometer- bis Submikrometerbereich und oftmals durch hohe Rauheitsamplituden überlagert. Sie lassen sich somit schwer im Produktionsprozess nachweisen. Im folgenden soll ein optisches Messverfahren vorgestellt werden, das für den fertigungsnahen Einsatz die präzise Bewertung von Welligkeit und Formabweichung für Oberflächen in einem großen Rauheitsbereich ermöglicht.

2 Prinzip der Zweistrahldeflektometrie

Beleuchtet man eine reale Oberfläche F_r mit einem Messlichtbündel unter dem Einfallswinkel ϑ , so wird das reflektierte Lichtbündel auf einer Empfängerfläche S in Abhängigkeit von der lokalen Oberflächenneigung \vec{n}_n und dem Tastbahnabstand \vec{r}_i zur idealen Nullpunktlage S_0 um die Strecke X ausgelenkt (vgl. Abb.1). Das Messsignal kann nicht eindeutig einer Oberflächenneigung bzw. einem Tastbahnversatz ($F_r - F_0$) zugeordnet werden.

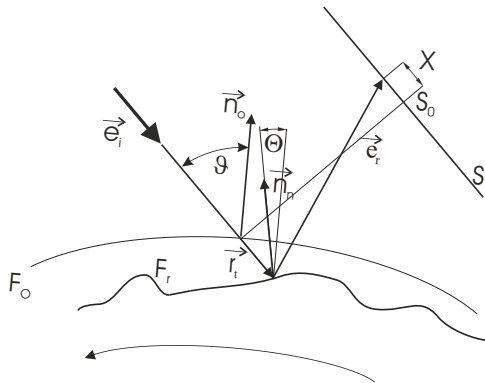


Abb. 1 Schema Einstrahldeflexion bei schrägem Einfall

Bei Beleuchtung aus zwei Richtungen mit den Einfallswinkeln ϑ_1 und ϑ_2 ergeben sich bei einem Tastbahnabstand zwei Beleuchtungspunkte auf

der Oberfläche. Der so eingeschlossene Profilausschnitt lässt sich mit Hilfe einer Sekante F_s nähern, deren Lage und Ausrichtung durch den Tastbahnabstand \vec{h} und die Neigung \vec{n} definiert sind (vgl. Abb. 2). Bei Abtastung der Oberfläche setzt sich

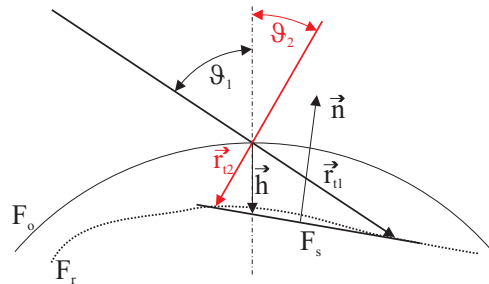


Abb. 2 Schema Zweistrahldeflexion bei schrägem Einfall

das ermittelte Gesamtprofil aus vielen überlagerten Facetten zusammen. Für die Detektorauslenkungen der beiden reflektierten Lichtbündel kann folgendes Gleichungssystem aufgestellt werden:

$$\begin{aligned} X_1 &= f(\vec{n}) + \vec{h}f(\vec{n}) \\ X_2 &= f(\vec{n}) + \vec{h}f(\vec{n}), \end{aligned} \quad (1)$$

wobei die Steigung der Sekantennormalen und die Tastbahnabstände für alle Messpunkte durch numerisch iteratives Lösen des Gleichungssystems (1) ermittelt werden. Durch Integration über die so erhaltenen Steigungen mit anschließender Polynomfittung erhält man ein stetig geschlossenes Profil, das als erste Näherung des Originalprofils anzusehen ist. Mit Hilfe der nun berechenbaren Tastbahnabstände $r_{t1,2}$ können die theoretischen Detektorauslenkungen durch Strahlverfolgung an der ersten Profilfittung erneut berechnet und mit den gemessenen Detektorauslenkungen verglichen werden. So kann die Güte der Profilnäherung anhand eines Anpassungstests überprüft werden. Ist das Gütemaß zu niedrig, startet eine Iterationschleife, innerhalb der die aktuell berechneten lokalen Profilneigungen jedes einzelnen Messpunktes unter Beachtung der angepassten Tastbahnabstände nachkorrigiert werden und die theoretischen Detektorauslenkungen erneut berechnet

und mit den gemessenen verglichen werden. Eine sukzessive Approximation des berechneten Profils wird somit in wenigen Schritten erreicht.

3 Messkopf

Abb. 3 zeigt schematisch den Aufbau des Messsystems. Eine Laserdiode emittiert ein Lichtbündel, das über einen Spiegel umgelenkt und mit Hilfe eines Strahlteilerwürfels in zwei Lichtbündel aufgespalten wird. Zwei Optiken fokussieren die beiden Teillichtbündel auf die Prüflingsoberfläche. Zentrales Bauteil des Messsystems ist ein Prisma, das die Lichtbündel unter definierten Winkeln bricht und mit den Einfallswinkeln ϑ_1 und ϑ_2 auf die Oberfläche richtet. Die an der Prüflingsoberfläche reflektierten Lichtbündel werden ebenfalls durch das Prisma erfasst und auf zwei positionsempfindliche Sensoren (PSD's) umgelenkt. Mit Hilfe des Arbeitsabstandes zwischen Prüflingsoberfläche und Prismenhauptfläche sowie der Größe der PSD's und der Einfallswinkel lässt sich der Messbereich des Sensor einstellen.

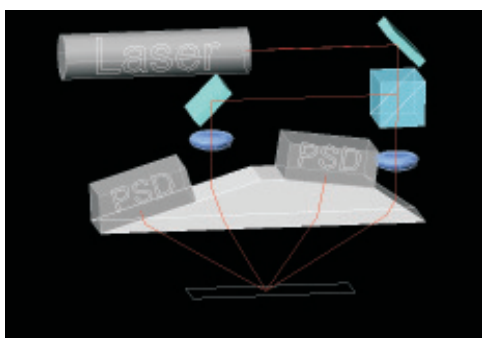


Abb. 3 Schema Prismaanordnung.

Für die Messungen wurde ein hochauflösender Sensorkopf eingesetzt mit folgenden Parametern:

- Einfallswinkel 32° und -14.3°
- Arbeitsabstand 44.2mm
- Fokusslinie $280\mu\text{m} \times 2\text{mm}$
- Laserleistung $< 1\text{mW}$
- Maximaler Neigungswinkelbereich $\pm 2.3^\circ$
- Maximaler Tastbahnabstand $\pm 6\text{mm}$

4 Messungen

Die Profilmessung einer Getriebewelle in Umfangsrichtung soll exemplarisch den Einsatz des Messsystems bei kreisförmiger Abtastung vorstellen. Der Wellendurchmesser beträgt 39mm, 9600 Abtastpunkte pro Umdrehung wurden gemessen. Die Oberflächenrauheit in Achsrichtung ist mit $R_a=0.3\mu\text{m}$ gegeben. Durch die einfache Aufnahme der Prüflingswelle in einem Dreibackenfutter liegen die Rundlauffehler bei $>50\mu\text{m}$. Abb. 4 zeigt das Messergebnis der Welligkeit überlagert mit einer Tastschnittmessung im gleichen Umfangsbereich. Die gute Übereinstimmung der beiden Messungen wird anschaulich dokumentiert. Der Rundlauffehler,

der im Signalhub um Faktor 10 größer ist als das Messsignal und zu einer deutlichen Tastbahnverschiebung während der Prüflingsrotation führt, kann durch das Verfahren kompensiert werden.

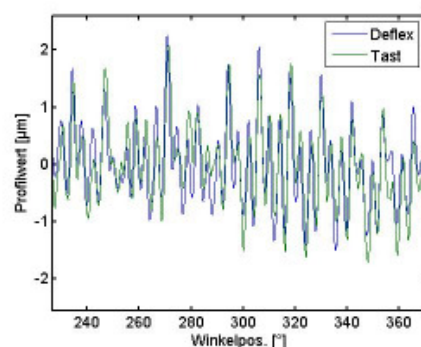


Abb. 4 Welligkeitsprofil einer Getriebewelle

Das Ergebnis einer lineare Abtastung einer quasi ebenen Glasoberfläche zeigt Abb. 5. Die Oberfläche weist eine langwellige Formabweichung und nicht auspolierte Oberflächendefekte auf. Im Vergleich von Tastschnittmessung, optischer Profilnäherung nach dem Facettenmodell FProf und iterativ angepasster optischer Profilnäherung IFProf wird deutlich, wie durch den Iterationsprozess die Fehler bei der Formabweichungsbestimmung minimiert werden.

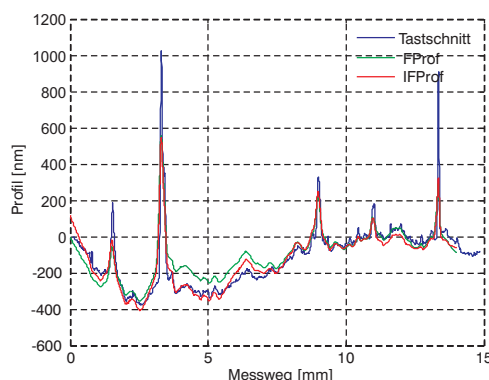


Abb. 5 Profil einer ebenen Glasoberfläche mit Riefen

5 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Zweistrahldeflexionsverfahren besteht erstmals die Möglichkeit, anhand von gemessenen Profilneigungswerten und Tastbahnabständen Formabweichung und Welligkeit von ebenen und zylindrischen Prüflingen mit hoher Präzision bestimmen zu können. Durch Optimierung der Messkopfparameter lässt sich der Messbereich der jeweiligen Aufgabenstellung anpassen.

6 Gefördert vom:

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen der Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern.