

MESSUNG VON WERKSTÜCKOBERFLÄCHEN MIT OPTISCHEN SENSOREN

Abstandsensoren im Vergleich

Zur Messung von Werkstückoberflächen existiert eine Vielzahl berührender und nicht berührender Sensoren. Abhängig von Messaufgabe und vorliegender Oberfläche wird der geeignete Sensor gewählt. Größte Flexibilität ergibt sich mit unterschiedlichen Sensoren in einem Gerät.

Bei Oberflächenmessungen werden Maße (Abstand, Radius, Winkel), Form- und Lage-toleranzen (Position, Ebenheit, Rundheit) und Oberflächenparameter (Rauheit) von Regelgeometrien (Ebene, Kugel, Zylinder) oder Freiformflächen erfasst (Bild 1). Optische Sensoren arbeiten hierbei berührungslos, wodurch auch empfindliche Werkstücke und kleine Merkmale gemessen werden können. Die Messpunkte werden sehr schnell oder sogar viele Punkte gleichzeitig aufgenommen. Bevorzugtes Einsatzgebiet ist deshalb die Fertigungskontrolle verschiedenster Werkstücke, wie Kunststoffspritzgussteile, optische Funktionsflächen, biegsame Blechteile und Bauteile für die Mikromechanik (Implantate, Uhren).

Optische Sensoren lassen sich aufgrund ihrer Messrichtung in lateral messende Sensoren (senkrecht zur optischen Achse messend, z.B. Bildverarbeitung) und axiale bzw. Abstandsensoren (entlang der optischen Achse messend) unterscheiden. Bei Abstandsensoren wird zwischen punktwise und flächenhaft messenden Sensoren unterschieden (Bild 2).

Punktwise messende Abstandsensoren

Prinzipbedingt werden die Messpunkte auf der Werkstückoberfläche einzeln erfasst. Durch Scanning werden jedoch mit hierfür geeigneten Sensoren während der Relativ-

bewegung zum Werkstück mehrere Hundert bis Tausende Punkte je Sekunde auch über größere Bereiche des Werkstücks verteilt gemessen. Beim klassischen Autofokusverfahren wird der Abstand zwischen Werkstückoberfläche und Sensor durch Auswertung des Kontrasts in verschiedenen Entfernungen (vertikales Durchfahren des Messbereichs) bestimmt. Der maximale Kontrast liegt vor, wenn die Fokusebene mit der Objektebene übereinstimmt.

Die Empfindlichkeit wird von der Schärfentiefe des Objektivs (Bereich entlang der optischen Achse, in dem eine scharfe Abbildung erfolgt) beeinflusst, die wiederum von der numerischen Apertur (Öffnungswinkel) des Objektivs abhängt. Objektive mit hoher numerischer Apertur erreichen geringe Schärfentiefen und ermöglichen damit genauere Messungen. Mit integrierter Gitterprojektion können auch Werkstücke gemessen werden, die bei normaler Beleuchtung keine Oberflächenstrukturen aufweisen. Der Autofokus wird zum Messen von Einzelpunkten verwendet, wie etwa für die Bestimmung von Höhenstufen oder der Raumlage von Flächen.

Abstandsensoren mit Triangulation projizieren einen Lichtstrahl (meist Laserstrahl) schräg zur optischen Achse auf das Werkstück. Aus der Lage des reflektierten Strahls auf einer Kamera wird unter Zuhilfenahme von Winkelbeziehungen (Dreieck aus Lichtquelle, Oberflächenpunkt und Sensor) die Lage des Messpunkts ermittelt. Bei den häufig in der Automatisierungstechnik eingesetzten Sensoren mit Projektionswinkeln (Laserstrahl zu optischer Achse) von einigen 10 Grad ergeben sich relativ große Messunsicherheiten, ab-



Bild 1. Hochauflösende flächige Messung mit 3D-Patch: vernetzte Darstellung der gemessenen Oberfläche (oben), farbcodierte Abweichungsdarstellung zum CAD-Modell (unten)

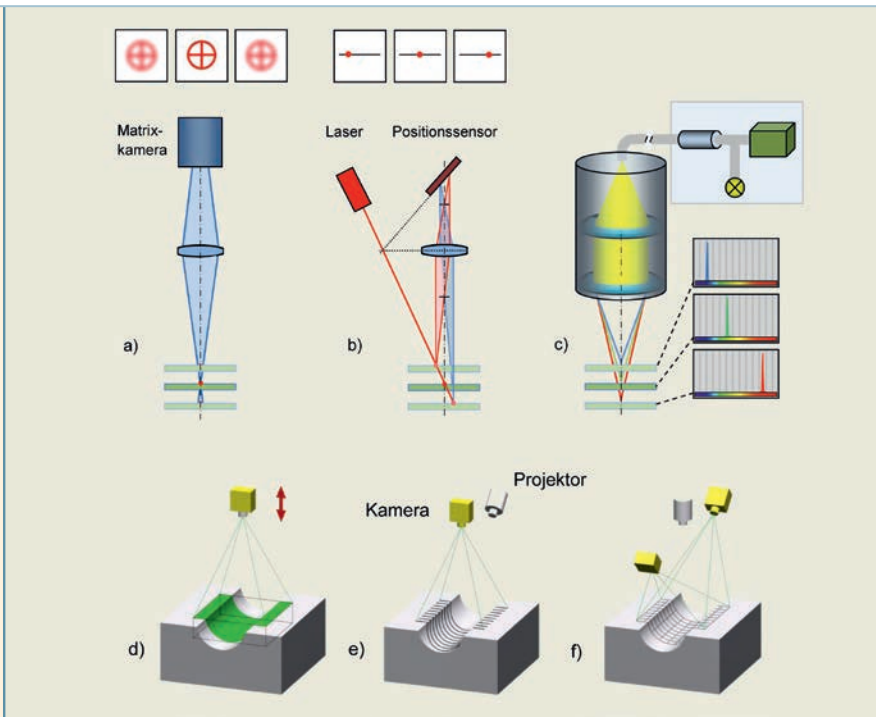


Bild 2. Optische Abstandssensoren in der Übersicht:
punktwise messende Sensoren: a) Autofokus, b) Triangulation, c) chromatische Verfahren;
flächenhaft messende Sensoren: d) Fokusvariation, e) Streifenprojektion, f) Fotogrammetrie

hängig von Oberflächenneigung und -struktur. Sensoren nach dem Foucault-Prinzip (Beispiel: Werth Laser Probe, WLP) nutzen deshalb den deutlich kleineren Öffnungswinkel der Abbildungsoptik als Triangulationswinkel und erreichen zulässige Oberflächenneigungen bis zu etwa 80°.

Wird der Sensor in den Strahlengang eines Bildverarbeitungssensors integriert, kann ohne mechanische Bewegung zwischen beiden Sensoren umgeschaltet und die Laserantastung visuell beobachtet werden. Foucault-Sensoren werden für Kontur- oder Ebenheitsmessungen mit Genauigkeiten im Mikrometerbereich z. B. an Dichtsitzen oder Werkzeugen (Span- und Freiwinkel, Kantenradien) eingesetzt. Der Vorteil gegenüber Autofokussensoren liegt im besonders schnellen Scanning.

Der als chromatische Aberration bezeichnete Abbildungsfehler einer Optik wird bei chromatischen Fokussensoren (Beispiel: Werth Chromatic Focus Probe, CFP) gezielt ausgenutzt. Für verschiedene Farben des zur punktförmigen Beleuchtung verwendeten Lichts ergeben sich bei einer speziellen Optik stark unterschiedliche Arbeitsabstände. Bei Verwendung von weißem Licht wird aus der Wellenlänge des reflektierten Lichtpunkts der Abstand bestimmt. Dies ermöglicht eine hochgenaue Messung auch reflektierender Oberflächen eher geringerer Neigung (begrenzt durch die numerische Apertur des Objektivs), beispielsweise an optischen Funktionsflächen oder bei der Schichtdickenmessung.

Der gemeinsame Vorteil der Abstandssensoren nach dem Foucault- oder dem chromatischen Prinzip liegt in der Fähigkeit, mit hoher Frequenz Messpunkte über größere linienförmige Bereiche des Werkstücks zu scannen, wie zum Beispiel für die Messung von Geradheiten oder Radien.

Flächenhaft messende Abstandssensoren

Hier werden je Messzyklus meist mehrere Tausend Messpunkte gleichzeitig aufgenommen. Dies ermöglicht die engmaschige Erfassung geschlossener Oberflächenbereiche. Wird das Autofokusverfahren für mehrere Gruppen von Bildpunkten oder für jeden Bildpunkt der Kamera parallel durchgeführt, erfolgt eine einfache und schnelle dreidimensionale Messung. Solche Fokusvariationsverfahren (Beispiel: Werth 3D-Patch) werden, wie auch die Einzelpunkt-Autofokusverfahren, mit der meist ohnehin vorhandenen Hardware der Bildverarbeitungssensoren kostengünstig realisiert. Es sind hiermit z. B. Verrundungen an Werkzeugschneiden oder die komplette Topografie von Werkstückbereichen messbar.

Besondere Beleuchtungs- und Bildaufnahmeverfahren (Gitterprojektion, Variation der erfassten Lichtmenge) kommen zum Einsatz, wenn die Strukturierung des Objekts keinen ausreichenden Kontrast erzeugt oder lokal stark unterschiedliche Reflexion vorliegt (Ebenen und Schrägen). Unter bestimmten Bedingungen können auch Rauheitsparameter bestimmt werden. Die Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit

taktilen Messungen sollte jedoch experimentell an Musterwerkstücken überprüft werden.

Eine völlige Unabhängigkeit vom Oberflächenkontrast wird beim Einsatz konfokaler Sensoren (Beispiel: Werth Nano Focus Probe, NFP) durch die Auswertung der Helligkeitsverläufe beim vertikalen Durchfahren des Messbereichs erzielt. Spiegelflächen und sogar Rauheit können so gemessen werden. Stark geneigte Oberflächen sind nur bei geringem Arbeitsabstand oder mit sehr speziellen Objektiven (hohe numerische Apertur) messbar. Die erreichbaren Messabweichungen liegen im Zehntelmikrometerbereich. Typische Anwendungsfelder sind das Messen der Komplettgeometrie von Einsätzen für Stanzbiegewerkzeuge oder von Prägestempeln. Mit geeigneten Koordinatenmessgeräten können mehrere mit Fokusvariation oder konfokalen Sensoren aufgenommene Bereiche mit hoher Genauigkeit und ohne Verwendung störanfälliger „Stitching“-Verfahren (Zusammenfügen anhand von Oberflächenmerkmalen) zusammengesetzt und gemeinsam ausgewertet werden.

Für Messaufgaben mit geringeren Genauigkeitsanforderungen, beispielsweise in der Karosseriemesstechnik, können Musterprojektionsverfahren eingesetzt werden. Das auf das Werkstück projizierte Muster wird durch Triangulation ausgewertet. Bei der klassischen Streifenprojektion beeinflussen die Geometrie des Musters und der Abbildungsstrahlengang (Vergrößerung, Abbildungsfehler) die erreichbare Genauigkeit. Fotogrammetriesensoren erfassen die Werkstückoberfläche mit zwei Kameras aus unterschiedlichen Richtungen und sind robuster gegenüber Helligkeitsunterschieden und Oberflächenstörungen.

Gemeinsam mit dem Koordinatenmessgeräte-Hersteller lässt sich für verschiedene Messaufgaben der geeignete optische Abstandssensor auswählen und zusammen mit Bildverarbeitung und taktilen Sensoren das für die Anwendung optimale Multisensor-Koordinatenmessgerät konfigurieren. □

► **Werth Messtechnik GmbH**
Dr.-Ing. Ingomar Schmidt
T 0641 7938-0
mail@werth.de
www.werth.de

QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/843770