
Rauheitsmessung mit Computertomografie

Matthias Eifler¹, Frederic Ballach², Jörg Seewig¹, Ralph Christoph², Frank Schneider¹, Jan C. Aurich

Mit Hilfe geeigneter Hardware-Komponenten und Software-Verfahren können an Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografiesensorik immer kleinere Details von Werkstücken aufgelöst werden. Hierdurch entsteht eine Vielzahl neuer Anwendungsmöglichkeiten. Erste Untersuchungen an Raunormalen zeigen, dass aktuelle Geräte auch für die Rauheitsmesstechnik prinzipiell geeignet sind.



¹ Dipl.-Ing. Matthias Eifler, Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig, Dipl.-Ing. Frank Schneider, TU Kaiserslautern

² Dipl.-Ing. (FH) Frederic Ballach, Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph, Werth Messtechnik GmbH

Messungen an hochpräzise gefertigten Werkstücken mit engen Toleranzen erfordern Koordinatenmessgeräte mit immer höher auflösender Sensorik. Insbesondere die Ermittlung der Oberflächenrauheit stellt hohe Anforderungen an das Auflösungsvermögen. Traditionell wird hier auf taktile Sensoren zurückgegriffen. Der Nachteil dieser Sensoren liegt vor allem darin, dass weiche Werkstücke durch das Antasten Mikrobeschädigungen erleiden können und das Messergebnis verfälscht wird. Optische Abstandssensoren stellen eine berührungslose Alternative zu klassischen Verfahren dar, da dieser Nachteil prinzipbedingt entfällt. Der speziell für hochgenaue Messungen entwickelte Sensor Werth Interferometer Probe (WIP) [1] detektiert anhand von Laufzeitänderungen eines an der Werkstückoberfläche reflektierten Lichtstrahls die Position des Oberflächenpunktes. Die Auswertung erfolgt durch Bestimmung der Phasenverschiebung bei der Überlagerung mit einem Referenzstrahl. An unterschiedlichen Normalen wurden Rauheitsmessungen durchgeführt, die im Rahmen der Kalibrierunsicherheit mit den Ergebnissen der taktilen Referenzmessung übereinstimmen. Die kompakte Bauform und variable Geometrie des Sensorkopfes erlauben die Messung auch schwer zugänglicher Merkmale, beispielsweise in Bohrungen mit kleinen Durchmessern bis etwa 100 μm (Bild 1). Allen derzeit verfügbaren Sensoren gemein ist, dass die Rauheitsmessung nur an einzelnen Konturen stattfindet. Neue Konzepte, die die Bestimmung der Flächenrauheit zulassen, sind daher wünschenswert.

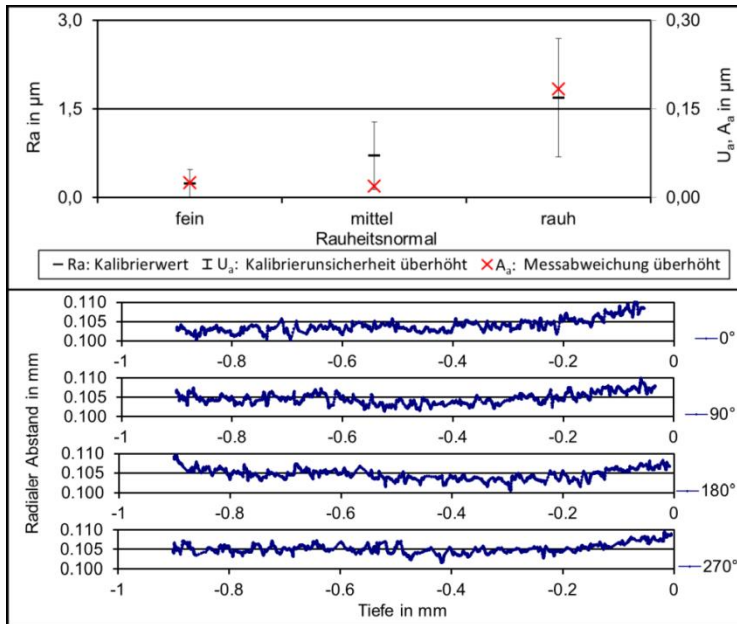


Bild 1.

Rauheit in der Computertomografie

Seit der Einführung der Computertomografie (CT) in die Koordinatenmesstechnik vor etwa zehn Jahren [2] hat sich diese Technik für viele Anwendungen etabliert. Hochgenaue Messungen im Messraum, schnelle Erstbemusterungen, Prozessvalidierungen sowie zerstörungsfreie Analysen von Werkstücken auf Vollständigkeit oder Defekte lassen sich sehr einfach durchführen. Verfahren für die Spezifikation von Messgeräten mit Röntgentomografiesensorik wurden in der VDI-Richtlinie 2617, Blatt 13 [3] beschrieben und somit die Vergleichbarkeit zu konventionellen Koordinatenmessgeräten ermöglicht. Anfangs waren die Einsatzmöglichkeiten von Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografie noch durch die Verfügbarkeit geeigneter Detektoren und Röntgenröhren sowie ausgereifter Softwarelösungen begrenzt. Durch neuere Entwicklungen leistungsfähigerer

Komponenten können immer kleinere Merkmale von Werkstücken aufgelöst werden. Röntgenröhren erreichen Brennfleckdurchmesser von wenigen Mikrometern und darunter, Detektoren Pixelgrößen bis zu 50 μm . Die Kombination dieser Komponenten erlaubt die scharfe Abbildung kleinster Details im Durchstrahlungsbild des Werkstücks und folglich auch in dem aus den Durchstrahlungsbildern berechneten Voxelvolumen. Moderne Verfahren wie die Rastertomografie oder die Region-of-Interest-CT (ROI-CT) erlauben auch hochaufgelöste Messungen an realen Werkstücken. Aufgrund dieses technischen Fortschritts erscheint es sinnvoll, den Einsatz der Computertomografie im Bereich der Rauheitsmesstechnik zu untersuchen. Hierzu wurde in Zusammenarbeit der TU Kaiserslautern mit der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, ein geeignetes Raunormal entwickelt und sowohl taktil als auch mit Röntgentomografie gemessen.

Entwicklung des Raunormals

Als Testkörper wurde an der TU Kaiserslautern ein Kalibriernormal entwickelt und hergestellt. Dazu wurde ein Modell erstellt, das die physikalischen Zusammenhänge des gesamten Prozesses aus Fertigung, Messung und Auswertung berücksichtigt. Das zugehörige Konzept wurde bereits erfolgreich für die taktile Rauheitsmesstechnik eingesetzt [4] und auf die Anwendung in der Röntgentomografie übertragen. Die Simulation des Messvorgangs berücksichtigt insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Messgerät und Werkstück während der Messung. Außerdem wird die fertigungstechnische Umsetzbarkeit sichergestellt. Das Profil des Kalibriernormals wird im Rahmen der Simulation so verändert, dass das Ergebnis der simulierten Messung der Sollvorgabe für die Rauheits-Kennwerte entspricht.

Das Normal wurde mit Hilfe eines Ultrapräzisions-Drehprozesses im Außenlängsdrehprozess hergestellt. Dabei wurde ein monokristallines Diamant-Werkzeug mit einer Schneideckenfase von ca. 10 μm eingesetzt. Das 4 mm lange Rauheitsprofil wurde dupliziert und auf dem Zylindermantel des Normals angebracht. Der Prototyp des Normals hat einen Durchmesser von ca. 4 mm und eine Länge von 8 mm (Bild 1). Anschließend wurden Referenzmessungen

mit einem Tastschnittgerät Hommel T 8000 durchgeführt. Es wurden drei Tastschnitte aufgenommen und an jeweils 13 Stellen ausgewertet. Bei Betrachtung dieser 39 Auswertestellen konnte gezeigt werden, dass die Rauheit des Profils der Sollvorgabe mit einer Abweichung von weniger als 3 % entspricht.

Tomografie des Raunormals

Die Tomografie des Raunormals wurde am Multisensor-Koordinatenmessgerät TomoScope 200 von Werth Messtechnik durchgeführt. Das Gerät ist für hochauflösende Messungen optimiert: Es verfügt über einen Detektor mit 4000×3000 Pixeln bei einer Pixelgröße von $75 \mu\text{m}$. Die Röntgenröhre ist für kleine Brennfleckgrößen im Bereich von einem Mikrometer ausgelegt. Die Messparameter wurden so eingestellt, dass sich eine Voxelgröße (Kantenlänge) von $3,25 \mu\text{m}$ ergibt. Aus dem gemessenen Voxelvolumen wurde eine dreidimensionale Punktwolke berechnet, welche die Oberfläche des Prüfkörpers beschreibt.

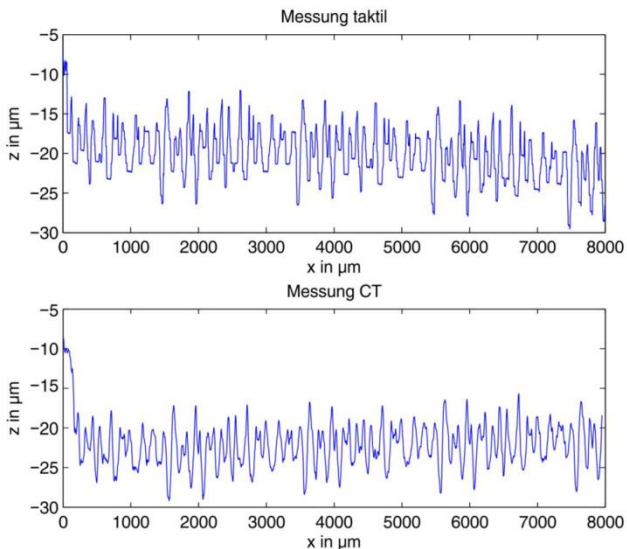


Bild 2.

Danach wurden 36 Konturen im Abstand von je 10° zueinander aus der Punktwolke extrahiert. Die mit Röntgentomografiesensorik gemessenen Konturen wurden mit taktil gemessenen verglichen (Bild 2). Frequenz und Amplituden der mit den beiden unterschiedlichen Sensoren gemessenen Konturen stimmen qualitativ überein. Tabelle 1 zeigt die über alle Konturen gemittelten Rauheitskennwerte. Die Werte aus der CT-Messung weichen von denen der taktilen Referenzmessung mit maximal 13 % ab.

Am Beispiel eines Raunormals mit $R_a = 2,386 \mu\text{m}$, $R_q = 2,895 \mu\text{m}$ und $R_z = 12,743 \mu\text{m}$ konnte gezeigt werden, dass die industrielle Koordinatenmesstechnik mit Röntgentomografiesensorik zur Erfassung von Rauheitskenngrößen grundsätzlich geeignet ist. Mit einem speziellen, patentierten Verfahren der Region-of-Interest-Tomografie kann die Strukturauflösung durch eine Verringerung der Voxelgröße auf deutlich unter einen Mikrometer verbessert werden. Dieses Verfahren bietet sich z. B. für künftige Rauheitsmessungen auf polierten Oberflächen an.

Literatur

- [1] Lenk, A.; Schmidt, I.: Multisensorik für Mikromerkmale – Messtechnik für Kraftstoffeinspritzdüsen, QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, 60 (2015), 9, S. 38–40
- [2] Schmidt, I.: Vollständig und zerstörungsfrei – Zehn Jahre Computertomografie in der Koordinatenmesstechnik, QE – Quality Engineering, 34 (2015), 1, S. 22–25
- [3] VDI/VDE 2617 Blatt 13:2011 Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten; Kenngrößen und deren Prüfung; Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren. Berlin: Beuth Verlag
- [4] Seewig, J.; Eifler, M.: Nahe an der Anwendung – Geometriennormale zur Kalibrierung von Tastschnittgeräten, QZ – Qualität und Zuverlässigkeit, 60 (2015), 3, S. 44–46