

FERTIGUNGSNAHE PRÜFUNG PRÄZISIONSGESCHMIEDETER ZAHNRÄDER

Geometriefehlern auf der Spur

Mit einem optischen Zahnradmesssystem auf der Basis der Streifenprojektion lässt sich die Geometrie präzisionsgeschmiedeter Zahnräder schnell und flächenhaft prüfen. Dadurch kann erstmals die gesamte Verzahnungsgeometrie analysiert werden, zudem reduzieren sich die Prüfzeiten.

Markus Kästner, Jörg Seewig und
Eduard Reithmeier, Hannover

Die typischen prozessbedingten Geometriefehler präzisionsgeschmiedeter Zahnräder besitzen eine vollkommen andere Systematik als die Fehler konventionell, also rein spanend gefertigter Zahnräder [1]. Während der Fertigung zeigt sich insbesondere an den hochbeanspruchten Kopfbereichen der Schmiedematrizenverzahnung Verschleiß in Form von Materialabtrag und plastischen Verformungen bis hin zum Zahnbruch (Bild 1). Durch die Abformung im Schmiedegesenk entstehen somit durch den Matrizenverschleiß individuelle und zufällig über die Verzahnung verteilte Geometrieabweichungen.

Außerdem treten vor allem thermisch bedingte Geometriefehler auf, die ein systematisches Verhalten zeigen. Wird beispielsweise ein Rohteil mit einer zu hohen Temperatur verarbeitet, erfährt das hierbei gefertigte Zahnrad während der Abküh-

lung durch ein Wasser-Luft Gemisch in einem Sprayfeld eine höhere Schrumpfung und weist schließlich ein teilweise deutliches, aber homogenes Untermaß auf.

Diese Verzahnungsabweichungen müssen mit einem Messverfahren geprüft werden, welches die gesamte Verzahnung des Zahnrades mit hoher Punktdichte flächenhaft aufnimmt. Das in der taktilen Verzahnungsmessung übliche linienhafte Erfassen der Zahnflanken ist unzureichend, da die lokalen und zufällig verteilten Fehlstellen nicht sicher erkannt werden.

Am Produktionstechnischen Zentrum Hannover bauten Forscher eine Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Zahnräder auf [2]. Die Geometrie der Zahnräder prüfen sie mit einem optischen Zahnradmesssystem auf der Basis der Streifenprojektionstechnik, das am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) der Leibniz Universität Hannover entwickelt wurde.

Durch die optische und flächenhafte Messung wird erstmals die gesamte Verzahnungsgeometrie analysiert, zudem reduzieren sich im Vergleich zur herkömmlichen taktilen Zahnradmessung die Prüfzeiten.

Ein Streifenprojektionssystem von GF Messtechnik GmbH, Teltow, erfasst mit ca. 10^6 Messpunkten in einer Belichtungssequenz flächenhaft die Verzahnungsgeometrie, ein lichtstarker digitaler Mikrospiegelprojektor beleuchtet das Messobjekt strukturiert (Bild 2). Der Streifen-

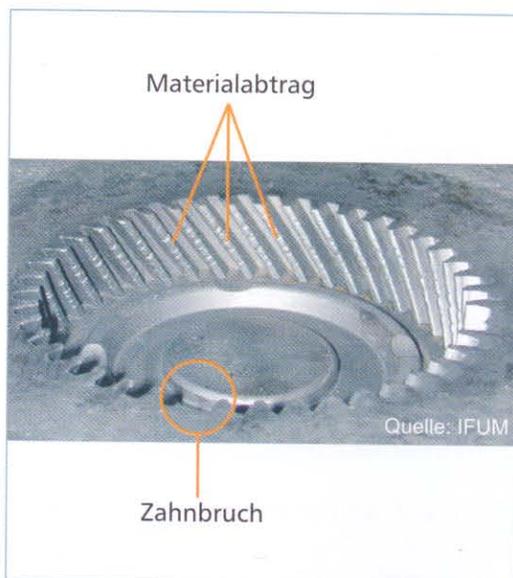


Bild 1. Verschleiß an der Schmiedematrix (Quelle: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover)

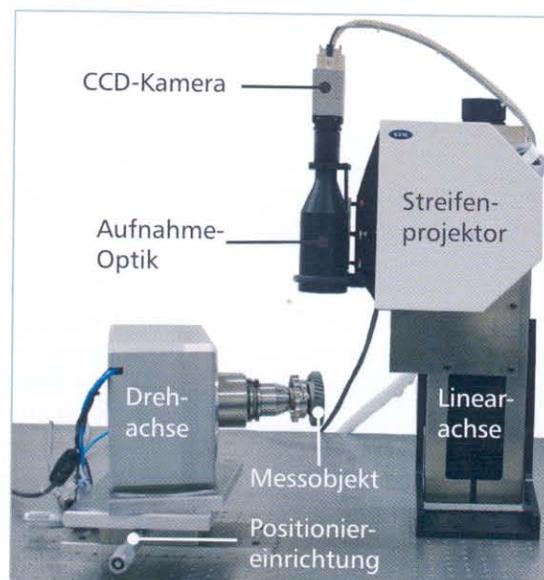


Bild 2. Mit der schwenkbaren Positioniereinrichtung kann das Werkstück lateral im Messvolumen positioniert werden

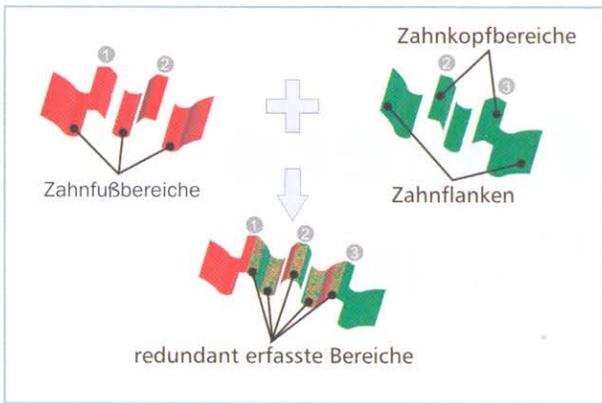


Bild 3. Rekombination der Einzeldatensätze zur Gesamtgeometrie

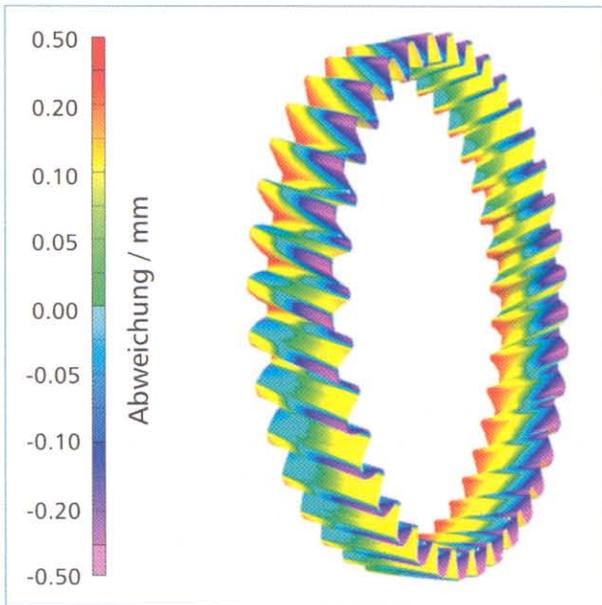


Bild 4. Dreidimensionales Abweichungsbild eines Zahnrads mit ausgeprägten systematischen Abweichungen

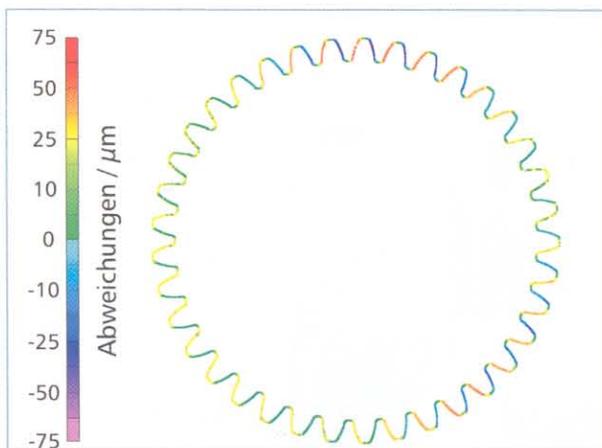


Bild 5. Stirnschnittdarstellung von durch Härteverzüge bedingte systematische Abweichungen

projektionssensor ist an einer motorischen Linearachse, Newport Spectra-Physics GmbH, Darmstadt, angebracht, die den Sensor in vertikaler Richtung hochgenau positioniert.

Zur rotatorischen Positionierung des Zahnrades im Mess-

Vorteile des Verfahrens

Die Streifenprojektionstechnik ist als bildgebendes Triangulationsverfahren sehr gut zur flächenhaften Verzahnungsmessung an optisch kooperativen Zahnrädern geeignet. Zusätzlich zur drastischen Verkürzung der Messzeit und der deutlich höheren Informationsdichte im Vergleich zu konventionellen taktilen Messverfahren bietet die optische Messtechnik den Vorteil, dass die detektierten Verzahnungsabweichungen topologisch analysiert werden können. Die Messung von Verzahnungsgeometrien mit Hilfe strukturierter Beleuchtung kann wirtschaftlich und fertigungsnah eingesetzt werden und liefert aufgrund der vollständigen Geometrieerfassung wertvolle Hinweise auf Verfahrensfehler.

Literatur

- 1 Bohnsack, R.: Untersuchungen zum Präzisionsschmieden von Laufverzahnungen; Dissertation, Universität Hannover 1999
- 2 phi – Produktionstechnik Hannover informiert, (2005) 4, Eigenverlag des PZH, Garbsen
- 3 Meeß, K.: Flächenhafte Messung optisch kooperativer Stirnräder am Beispiel präzisionsgeschmiedeter Verzahnungen; Dissertation, Universität Hannover, 2005, Shaker Verlag, Herzogenrath
- 4 Kästner, M.; Meeß, K.; Seewig, J.; Reithmeier, E.: Optische Geometrieerfassung von Zahnrädern; VDI-Berichte 1880 (2005), S. 155-163, VDI-Verlag, Düsseldorf
- 5 Kästner, M.; Krause, C.; Seewig, J.; Reithmeier, E.; Bach, Fr.-W.: Optische Verzugsmessung bei der integrierten Wärmebehandlung präzisionsgeschmiedeter Bauteile; Tagungsband OWT 05 + WTK (2005), S. 358-365, Eigenverlag der TU Chemnitz, Chemnitz

Autoren

Dipl.-Phys. Markus Kästner, geb. 1975, arbeitet seit 2004 in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Dr.-Ing. Jörg Seewig, geb. 1965, leitet seit 2003 die Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Prof. Dr.-Ing. Eduard Reithmeier, geb. 1957, leitet seit 1996 das Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Kontakt

Dipl.-Phys. Markus Kästner
 T 05 11/7 62-4284
 markus.kaestner@imr.uni-hannover.de

QM-Infocenter.de ► QZ102336

volumen wird eine luftgelagerte Präzisionsdrehachse, LT Ultra-Precision-Technology GmbH, Herdwangen-Schönach, verwendet, die auf einer schwenkbaren Positioniereinrichtung montiert ist. Hierdurch kann das Werkstück lateral im Messvolumen positioniert werden, zudem lassen sich mit Hilfe der Schwenkeinrichtung abgeschattete Bereiche bei der Messung von schrägverzahnnten Zahnrädern minimieren.

Erfassen der Geometrie

Zunächst wird das zu messende Zahnrad mit einem an der Rotationsachse befestigtem Dreibacken-Spannfutter gespannt. Anschließend positioniert man die Streifenprojektionseinheit mit Hilfe der Linearachse so, dass das Messvolumen des Sensors in vertikaler Rich-

tung optimal ausgenutzt wird.

Zur vollständigen Aufnahme der Verzahnungsgeometrie ist eine Aufnahmenanzahl gleich der Zahnzahl des jeweiligen Zahnrades sinnvoll, wodurch insbesondere die Zahnflankenbereiche redundant erfasst werden [3]. Zwischen zwei Aufnahmen wird das Zahnrad jeweils um den Teilungswinkel weitergedreht. Dadurch können Bereiche mit großen Steigungen, die maßgeblich zur Messunsicherheit beitragen, aus den Einzelmessungen eliminiert werden. Gerade diese Bereiche sind in den benachbarten Aufnahmen unter optisch günstigeren Bedingungen enthalten.

Die Gesamtgeometrie wird durch rein geometrische Transformationen der Messpunkte erzeugt. Dieser Ansatz erfordert eine sehr exakte Bestimmung der außerhalb des eigentlichen Messvolumens liegenden Drehachse, um die das Messobjekt rotiert.

Die Strategie zum Bestimmen der Drehachse basiert auf mehreren Umschlagsmessungen an einem optisch kooperativen Zylindernormal. Auf die Messdaten wird anschließend jeweils ein Zylinder als Ersatzgeometrieelement eingepasst. Die Drehachse wird durch Mittelung der aus den Ersatzzylindern berechneten Zylinderachsen bestimmt [3]. Der Durchmesser des Referenzzylinders entspricht in etwa dem Teilkreisdurchmesser der zu messenden Verzahnung. Die Drehachse dient als vorläufige Verzahnungsachse des rekombinierten Zahnrades.

Nach der Vorverarbeitung der Rohdaten reduziert sich die Anzahl der Messpunkte durch Maskierung irrelevanter Geometriebereiche sowie Eliminierung von Ausreißern und Bereichen mit hoher Steigung von ca. 10^6 auf ca. $2 \cdot 10^5$ Punkte pro Einzelmessung (Bild 3). Durch Rotation und Translation der Einzeldatensätze bezogen auf ein vorläufiges Werkstückkoordinatensystem, welches auf der absolut eingemessenen Drehachse basiert, wird die Verzahnungsgeometrie bestehend aus ca. $8 \cdot 10^6$ Punkten rekombiniert.

Analysieren der 3D-Abweichungen

Das aus den Einzeldatensätzen rekombinierte Gesamtmodell der aufgenommenen Verzahnung wird zum Bestimmen der Geometrieabweichungen auf ein CAD-Modell der zu untersuchenden Verzahnung eingepasst. Anschließend werden die Ab-

weichungen der Messdaten vom CAD-Modell orthogonal zur Modelloberfläche berechnet.

Die Ergebnisse der optischen Geometrieprüfung lassen sich übersichtlich in dreidimensionalen Abweichungsbildern darstellen und die Verzahnungsabweichungen bereits qualitativ bewerten [4] (Bild 4). Insbesondere können die für das Präzisionsgeschmiedeten typischen lokalen und zufällig verteilten Geometrieabweichungen sowie temperaturbedingte systematische Abweichungen erkannt werden.

Eine weitere Möglichkeit zum Visualisieren der Abweichungen ist die Stirnschnittdarstellung [5] (Bild 5). Die Abweichungen von der Sollgeometrie sind in diesem Fall farbcodiert entlang des Stirnschnittes aufgetragen. Diese Darstellungsvariante erlaubt insbesondere eine schnelle Detektion systematischer Abweichungen, wie Teilungsfehler, Zahndickenabweichungen und Abweichungen der Kopf- bzw. Fußkreisradien. Schrägungswinkel bzw. Flankenwinkelabweichungen lassen sich durch die Betrachtung weiterer Stirnschnitte erkennen, welche an verschiedenen Positionen über die Zahnbreite verteilt sind.

Bild 5 zeigt die systematischen Geometrieabweichungen, welche an einem präzisionsgeschmiedeten Zahnrad infolge einer integrierten Wärmebehandlung mit fehlerhaften Sprayfeldparametern hervorgerufen wurden. Hier äußern sich die Härteverzüge insbesondere in Form von Teilungsfehlern, erkennbar an den Bereichen im oberen und rechten unteren Teil der Abbildung. Diese Darstellung lässt eine Identifikation verschiedener Fehlerarten zu, die bei der integrierten Wärmebehandlung auftreten.

Eine quantitative Analyse der Geometriefehler zur objektiven Prüfung, zur Festlegung von Grenzabmaßen und zur Rückführung von Fertigungsfehlern geschieht mit Hilfe von flächenbasierten Kenngrößen, die teilweise an die in der Verzahnungsmesstechnik üblichen linienhaften Kenngrößen angelehnt sind [3]. Das Charakterisieren der Geometrieinformationen mit Hilfe der flächenhaften Kenngrößen gibt Aufschluss über die Art und Ausprägung der Abweichungen und liefert somit die Ist-Daten zur Prozessregelung. Auf diese Weise können z. B. gezielt der Verschleiß der Umformwerkzeuge oder Formfehler infolge der integrierten Wärmebehandlung detektiert und durch geeignete Korrekturparameter korrigiert werden. □



Innovation | Genauigkeit | Tastsystem | Wirtschaftlichkeit

Die neue Leitz PMM-C Infinity
Vollendete Präzision

Mit $0,3 \mu\text{m}$ Treffsicherheit und einer
Reproduzierbarkeit von $< 0,1 \mu\text{m}$ stellt sie sich
jeder Herausforderung an Genauigkeit!

Weitere Informationen finden Sie
im Internet unter
www.leitz-metrology.de






Hexagon Metrology GmbH | Siegmund-Hiepe-Str. 2-12 | 35578 Wetzlar | Tel. 06441 207 0 | Fax 06441 207 122 | contact@leitz-metrology.de