

empfindlicher auf Prozessstörungen als eine Ra-, Rz-Messung. Eine zusätzliche Möglichkeit besteht darin, aus der Messung der Makrostreuwinkel eine Formabweichung von zylindrischen oder ebenen Flächen zu erfassen. Ist die Referenzbewegung (linear oder rotatorisch) exakt, erhält man durch Integration der Winkel über die Abtastlänge ein genaues Profil der Oberfläche, das mit mechanisch gemessenen übereinstimmt. Anwendungen sind besonders das Erfassen von Rättern auf Lager sitzen.

Literatur

- [1] NanoFocus AG, Firmenprospekt µSurf
- [2] Popp, U.; Neudecker, Th.; Engel, U.; Geiger, M.: "Surface Characterization with Regards to the Tribological Behaviour of Sheet Metal in Forming Process." Proc. of the 7th Int. Conf. On Sheet Metal, Erlangen (1999), 303-310
- [3] VDA-Empfehlung Geometrische Produktspezifikation: „Winkelaufgelöste Streulichtmesstechnik“ Entwurf Juni 2007 (erscheint Anfang 2008)
- [4] Pfeifer, T.: „Optoelektronische Messverfahren zur Messung geometrischer Größen in der Fertigung“ Kap.5 S 97-117, Expert Verlag, Kontakt & Studium Mess- und Prüftechnik, Band 405, ISBN 3-8169-0863-2, (1993)
- [5] Brodmann, R.; Brodmann, B.; Tasek, K.: „Streulichtmesstechnik beurteilt funktionswichtige Oberflächen.“, QZ, Jahrgang 52 (2007) 5, S 103
- [6] Allgäuer, M.; Brodmann, R.: „Vergleichende Untersuchungen der Mikrotopografie von Sinusprofilen mit Hilfe der mechanischen und optischen Profilometrie sowie der Streulichtmethode.“ Feinergätetechnik, Berlin 37 (1988) Bd.1 S 9
- [7] Gräber, J.: ZF Lemförder, Dielingen, „Funktionsvergleich Kugelzapfen mit Streulichtmessungen“. private Mitteilung Juni 2007
- [8] Rau, N.; Hübner, G.; Staiger, W.: „Optische Oberflächenanalyse zur Bestimmung von Gestaltsabweichungen.“, Werkstatt und Betrieb Bd. 111 (1985), s 725

Optische Multisensortechnik zur Geometrieerfassung präzisionsgeschmiedeter Bauteile

Geometrieprüfung von Kurbelwellen

Dipl.-Phys. **Markus Kästner**, Dipl.-Wirtsch.-Ing. **Rüdiger Gillhaus**,
 Dr.-Ing. **Jörg Seewig**, Prof. Dr.-Ing. **Eduard Reithmeier**,
 Leibniz Universität Hannover, Dr.-Ing. **Gottfried Frankowski**,
 GF Messtechnik GmbH, Teltow

Kurzfassung

Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs (SFB) 489 wurde am Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH) eine innovative Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile aufgebaut [1]. Als aktuelles Beispielbauteil dient eine Zweizylinderkurbelwelle. Anders als bei spanenden Fertigungsverfahren, bei denen überwiegend systematische Geometrieabweichungen auftreten, bilden sich durch den Schmiedeprozess sehr individuelle und zufällig über das Werkstück verteilte Geometriefehler aus, die häufig, aufgrund der langen Messzeit und der geringen Punktdichte, nicht mehr durch klassische taktile Messverfahren erfasst werden können [2]. Zur schnellen und vollständigen Geometrieprüfung der präzisionsgeschmiedeten Kurbelwellen im fertigungsnahen Umfeld wird am Institut für Mess- und Regelungstechnik (IMR) der Leibniz Universität Hannover ein optisches Multisensorsystem, bestehend aus einem Schattenprojektionssensor, einem Streifenprojektionssensor und einem konoskopischen Sensor, entwickelt. Durch den Einsatz des Multisensorsystems soll zum Einen eine flächenhafte Erfassung der Funktionsflächen, also der Lager sitze, mit hoher Punktdichte, zum Anderen eine schnelle Geometrieprüfung aller übrigen relevanten Geometrielemente der Kurbelwellen inklusive der Hinterschmittbereiche an den Kurbelwellen ermöglicht werden.

1. Einleitung

Die Multisensortechnik findet eine immer breitere Anwendung in der Koordinatenmesstechnik. So werden Koordinatennessgeräte in den letzten Jahren, neben dem standardmäßig vorhandenen taktilen Messkopf, zusätzlich immer häufiger mit optischen Sensoren ausgestattet. Hierbei handelt es sich oft um Videosensoren zur Aufnahme und Auswertung von Werkstückkonturen mittels Bildverarbeitung oder um punkt- oder linienbasierte Abstands-

sensoren, die nach dem Autofokuspriizip oder auf Grundlage der Lasertriangulation arbeiten. Mit Hilfe der Multisensortechnik wird das Ziel, Werkstückgeometrien mit einem univerten Messsystem schnell und präzise komplett messen zu können, häufig bedeutend besser realisiert als mit konventionellen, nur mit berührender Artastung arbeitenden Koordinatennessgeräten [3].

Einen idealen Anwendungsfall für den Einsatz optischer Multisensorsysteme bietet die Prozesskette für das Präzisionsschmieden von Hochleistungsbauteilen, welche im Rahmen des SFB 489 am Produktionstechnischen Zentrum Hannover aufgebaut wird. Aus messtechnischer Sicht steht besonders die prozessbegleitende und fertigungsorientierte Prüfung der Zwischenprodukte im Vordergrund, bei der die Genauigkeitsanforderungen geringer sind als bei der Fertigteilprüfung. Neben einer schnellen Erfassung aller Geometrielemente der präzisionsgeschmiedeten Werkstücke ist eine flächenhafte Geometrieauswertung der Funktionsflächen von zentraler Bedeutung. Weiterhin verhalten sich die Oberflächen der zu prüfenden Werkstücke, im Gegensatz zu spanend hergestellten Bauteilen, im Hinblick auf den Einsatz optischer Messtechnik, kooperativ.

2. Präzisionsschmieden von Kurbelwellen

Als aktuelles Beispielbauteil zur Darstellung der Prozesskette Präzisionsschmieden dient eine Zweizylinderkurbelwelle, deren Geometrie an den Materialfluss während des Schmiedeprozesses angepasst ist. Die Herstellung der Kurbelwelle geschieht durch einen innovativen vierstufigen Schmiedeprozess, wie in Bild 1 gezeigt:

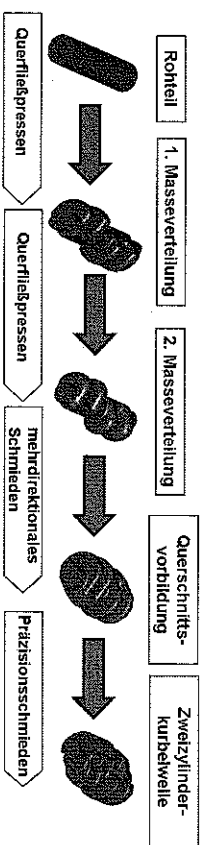


Bild 1: Stadtienfolge beim Präzisionsschmieden einer Zweizylinderkurbelwelle; Quelle: Institut für integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH)

Die Stadtienfolge besteht aus vier Uniformstufen. In der ersten und zweiten Operation wird das Rohteil in Achsrichtung gestaucht und bildet durch Quertiefsen des Materials eine exzentrisch angeordnete Unwucht aus. In der dritten Operation wird das Werkstück durch mehrdirektionales Schmieden entlang der Hauptachse gestaucht und die Kurbellager werden aus der Hauptachse um den Kurbelnebel versetzt. Beim abschließenden Präzisions-

schmiedeprozess fließt lokal überschüssiges Material der Wange aus der Bauteilmittle in das Gegengewicht und stellt dessen komplette Ausformung sicher [4].

3. Einsatz eines optischen Multisensorsystems

Präzisionsgeschmiedete Bauteile weisen für das Fertigungsverfahren typische Geometriefehler, wie beispielsweise Aufmaßschwankungen oder Formfehler auf. Diese Fehlerstellen sind im Gegensatz zu Geometriefehlern bei spanend hergestellten Werkstücken sehr individuell ausgeprägt und können nicht sicher durch konventionelle taktile Messverfahren detektiert werden. Insbesondere eine hochpräzise taktile Geometrieprüfung mit Koordinatennessgeräten ist aufgrund der zu geringen Geschwindigkeit zur prozessbegleitenden Prüfung endkonturn geschmiedeter Bauteile ungeeignet. Eine Lösung dieses Problems bietet die optische Multisensortechnik. Hierbei werden optische Sensoren mit unterschiedlichen Funktionsprinzipien und Arbeitsbereichen, die auf die Erfassung unterschiedlicher Geometriebereiche des zu messenden Werkstücks ausgelegt sind, zu einem Multisensorsystem zusammengefügt. Besonders die Prüfung der Gesamtheit der relevanten Geometrielemente einer Kurbelwelle, die durch die Fehlercharakteristik der umformenden Fertigung zwingend erforderlich ist, kann mit Hilfe optischer Multisensortechnik wirtschaftlich erfolgen.

3.1 Komponenten des optischen Multisensorsystems

Für eine umfassende Geometrieprüfung präzisionsgeschmiedeter Kurbelwellen wird ein optisches Multisensorsystem aufgebaut. Das Multisensorsystem basiert auf dem Wellenmesssystem AMV 923V (Hommel-Elaminc GmbH) in das, mit Hilfe einer dreieckigen Positioniervorrichtung, ein Streifenprojektionssensor (GF Messtechnik GmbH) zur flächenhaften Erfassung der Lagersitze sowie ein Konoskopischer Sensor (Optical Metrology Ltd.) zur Erfassung der Kurbelwangen mit Hinterschmittbereichen integriert werden soll.

Schattenprojektionssensor

Bei der Schattenprojektionstechnik wird die Kurbelwelle von einer Seite telezentrisch mit Licht im Infrarotbereich beleuchtet. Der projizierte Schatten der Kurbelwelle wird auf der gegenüberliegenden Seite von einem mit einer ebenfalls telezentrischen Optik ausgestatteten CCD-Zeilensensor erfasst. Die Auswertung der Grauwerte des Hell-Dunkel-Übergangs des Schattens der Kurbelwelle auf dem CCD-Sensor sowie die Anwendung von Subpixel-Methoden liefert die erforderliche Genauigkeit. Mit dem Wellenmesssystem ist es einerseits möglich, die Kurbelwelle in Längsrichtung zu scannen, indem die Messoptik bewegt wird, während die Kurbelwelle steht. Hierbei wird ein so genannter Längsschnitt aufgenommen.

Andererseits kann die Kurbelwelle in Umfangsrichtung zur Aufnahme eines Querschnitts gescannt werden. Dabei wird die Kurbelwelle bei stehender Messoptik gedreht. Auf Grundlage dieser Längs- und Rotationskonturen kann eine Prüfung von Form, Maß und Lage der verschiedenen Geometrielemente der Kurbelwelle durchgeführt werden.

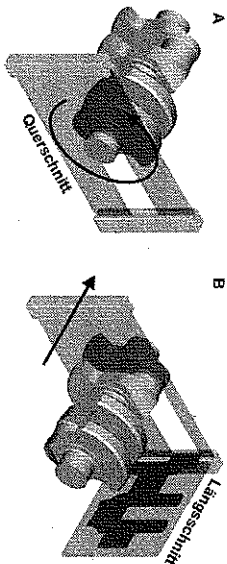


Bild 2: Aufnahme von Längs- und Querschnitten mittels Schattenprojektion

Für die berührungslose und optische Messung von Konturen der Kurbelwelle wird das auf dem Schattenprojektionsverfahren basierende Wellenmesssystem Hommel-Etamic AMW923V eingesetzt. Mit dem Messsystem können Wellen mit einem Durchmesser von 0,2 mm bis 230 mm und einer Länge von bis zu 900 mm gemessen werden. Die Auflösung für Durchmessermessungen und Längenmessungen beträgt jeweils 0,5 µm. Die Winkelauflösung der Rotationsachse beträgt 0,0018°.

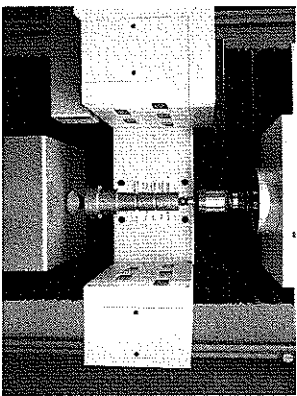


Bild 3: Schattenprojektionsensorreiheit des Wellenmesssystems Hommel-Etamic AMW923V

Streifenprojektionssensor

Für eine schnelle und flächenhafte Erfassung der Funktionsflächen mit hoher Punktdichte bietet sich die digitale Streifenprojektion als optisches Triangulationsverfahren an. Mit Hilfe dieser Messtechnik ist es möglich, ein vollständiges Geometriemodell des zu messenden

Objekts, bestehend aus mehreren Millionen Messpunkten, innerhalb von wenigen Minuten zu erstellen.

Bei der Streifenprojektion als optisches 3D-Messverfahren werden die Vorteile von Triangulationstechnik und der Echtzeit-Interferometrie vereint, so dass auch große Objekte mit einer sogenannten optisch rauhen Oberfläche schnell und sehr genau gemessen werden können. Erreicht wird dies dadurch, dass im Gegensatz zur herkömmlichen Triangulationstechnik, die auf der Projektion eines einzelnen Lichtpunkts oder eines Lichtschnitts beruht, bei der Streifenprojektion eine Sequenz äquidistanter Streifenmuster mit nahezu \cos^2 -förmiger Intensitätsverteilung auf die zu messende Oberfläche projiziert wird. Beobachtet bzw. aufgenommen werden diese Streifenmuster mittels einer schräg zur Projektionsrichtung angeordneten Aufnahmekamera. Der 3D-Messereffekt ergibt sich dann aus der Auslenkung der projizierten parallelen Streifenmuster an der gekrümmten Objektfläche, wie sie aufgrund der Triangulation aus den Positionen der Aufnahmekamera gesehen werden. Da die projizierten Streifenmuster, wie bereits erwähnt, eine nahezu \cos^2 -förmige Intensitätsverteilung besitzen, können sie als Interferogramme aufgefasst und unter Verwendung von Algorithmen zur Phasenanalyse, wie sie in der Echtzeitinterferometrie zur Anwendung kommen, ausgewertet werden. Somit können bei dieser so genannten phasemessenden Streifenprojektionstechnik erheblich höhere Profilauflösungen und Messgenauigkeiten erreicht werden, als dies mit den herkömmlichen Triangulationsverfahren möglich ist [5].

Zur optischen und flächenhaften Erfassung der Lagerstuhlgeometrie wird ein Streifenprojektionssystem der Fa. GFМ eingesetzt, durch das eine Erfassung von ca. $2 \cdot 10^6$ Messpunkten in einer Belichtungssequenz innerhalb von ca. 6 s ermöglicht wird. Das Messsystem verfügt über einen lichtstärken DMD-Projektor (DMD - Digital Micromirror Device) zur strukturierten Beleuchtung des Messobjekts mit 1024×768 Mikrospiegeln. Das Messvolumen des Streifenprojektionssystems beträgt 45 mm x 35 mm x 18 mm. Die vertikale Auflösung beträgt 4 µm, die laterale Auflösung 30 µm.

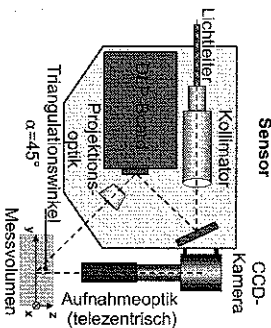


Bild 4: Schematischer Aufbau des Streifenprojektionssensors

Konoskopischer Sensor

Beim konoskopischen Sensor wird ein durch eine Laserdiode erzeugter Strahl mittels eines Strahlteilers und eines Linsensystems auf die Oberfläche des Messobjekts fokussiert. Von dieser wird das Licht zurückgestreut und trifft nach erneutem Durchlaufen des Linsensystems und weiterer optischer Komponenten in einem von der Entfernung zum Messobjekt abhängigen Winkel auf einen doppelbrechenden Kristall. Dieser besitzt unterschiedliche Brechungsindizes für unterschiedliche Polarisationsrichtungen des Lichts. Je nach Polarisationsrichtung wird der einfallende Strahl durch den doppelbrechenden Kristall in einen ordentlichen und außerordentlichen Strahl gebrochen. Die beiden Strahlen weisen aufgrund der Doppelbrechung einen vom Einfallswinkel und somit von der Entfernung zum Messobjekt abhängigen Gangunterschied auf. Werden die beiden Strahlen nun zur Interferenz gebracht, bildet sich eine von diesem Gangunterschied abhängige Interferenzfigur aus konzentrischen Ringen aus, welches auf einen CCD-Sensor abgebildet wird. Je näher sich das Messobjekt am Sensor befindet, desto größer wird der Abstand zwischen den Ringen des Interferenzmusters. Wird der Abstand erhöht, liegen die Ringe des Interferenzmusters näher aneinander. Mit Hilfe einer Fouriertransformation wird die Frequenz der periodischen Ringstruktur auf dem CCD-Sensor analysiert. Über eine Weglängenkalibrierung kann nun jeder Frequenz der Ringstruktur ein Wert für den Abstand vom Messobjekt zum Detektor zugeordnet werden. Die technischen Spezifikationen und weitere Details sind in [6], [7] und [8] beschrieben.

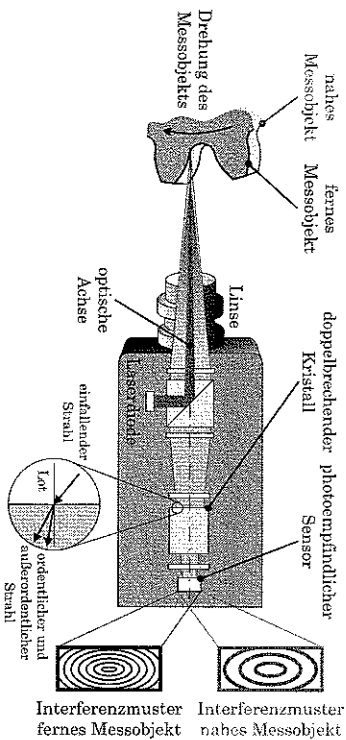


Bild 5: Funktionsweise des konoskopischen Sensors

Der konoskopische Sensor arbeitet mit einer Frequenz von 850 Hz und kann in einem Temperaturbereich von 18-35 °C eingesetzt werden. Weitere technische Spezifikationen sind von dem eingesetzten Linsensystem abhängig. Beispielsweise weist ein Linsensystem von 50

mm Fokusslänge eine erweiterte Standardmessunsicherheit von 6 µm, eine Wiederholbarkeit von 1 µm und einen Messbereich von 8 mm auf. Der Arbeitsabstand von 42 mm kann durch den Einsatz von Extended-Linsensystemen bei dieser Fokusslänge auf 85 mm erweitert werden.

3.2 Aufbau des optischen Multisensorsystems

Das Wellenmesssystem Hommel-Etamic AMV923V bildet die Basis des optischen Multisensorsystems. Zum Aufbau des Multisensorsystems müssen sowohl der Streifenprojektionssensor als auch der konoskopische Sensor in das Wellenmesssystem integriert werden. Im Hinblick auf eine Nachführung des Streifenprojektionssensors zur flächenhaften Erfassung der Hublager und zur Positionierung des konoskopischen Sensors zur Aufnahme der Hinterschnittbereiche der Kurbelwangen ist zudem die Integration eines hochgenauen dreiachsiggen Positioniersystems notwendig. Bei der Integration der Sensorik und des Achssystems ist konstruktiv darauf zu achten, dass es durch die aufgrund der Bewegung des Achssystems auftretenden Kräfte während der Messung nicht zu Verkipfungen der einzelnen Sensoren gegeneinander kommt. Der Aufbau des Multisensorsystems ist in Abbildung 6 gezeigt.

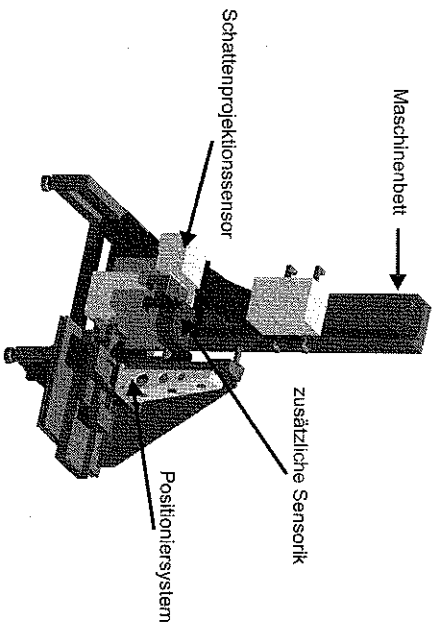


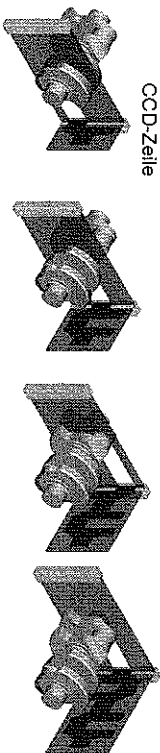
Bild 6: Aufbau des optischen Multisensorsystems durch Integration zusätzlicher Sensorik (Streifenprojektionssensor, konoskopischer Sensor) in das Wellenmesssystem Hommel-Etamic AMV 923V

3.3 Geometrieerfassung mittels Multisensortechnik

Erfassung einer Einhüllenden der Kurbelwelle

Zur Bestimmung von Form-, Maß- und Lageparametern der Geometrielemente präzisionsgeschmiedeter Kurbelwellen ist eine möglichst genaue Kenntnis der Werkstückgeometrie erforderlich. Eine annähernd vollständige Erfassung der Geometrie von Kurbelwellen, mit Ausnahme der Hinterschmittbereiche an den Kurbelwangen, kann schnell und mit hoher Genauigkeit mit der Schattenprojektionstechnik durchgeführt werden. Zur Geometrieerfassung von präzisionsgeschmiedeten Kurbelwellen ist es notwendig eine große Anzahl an Werkstückkonturen ($\sim 10^3$) des Messobjekts in unterschiedlichen definierten Winkelpositionen entlang der Rotationsachse der Kurbelwelle, also in Längsrichtung aufzunehmen.

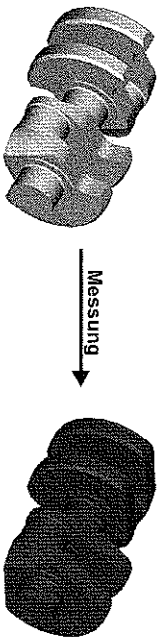
CCD-Zeile



LED-Zeile

Bild 7: Erfassung der Werkstückkontur entlang der Bauteilachse mittels Schattenprojektion

Aus der großen Zahl von Werkstückkonturen kann eine Einhüllende des Messobjekts re-kombiniert werden. Durch die auf diese Weise gewonnenen Geometrieinformationen können wichtige Parameter wie Rund- und Gesamtlauflauf, sowie Konzentrizität und Exzentrizität der Lagerstize von Kurbelwellen bestimmt werden. Zudem ist eine Prüfung der Rundheit bzw. der Zylindrizität der Lagerstize sowie die Bestimmung des Hubs der Hublager und die Prüfung der Parallelität der Zylinderachsen der Hublager zur Drehachse der Kurbelwelle möglich.



Messobjekt (Schattenprojektion) Einhüllende

Bild 8: Erfassung einer Einhüllenden des Messobjekts mittels Schattenprojektion

Zur schnellen Bestimmung von Form und Maß ausgewählter Geometrielemente präzisionsgeschmiedeter Kurbelwellen kann die Werkstückkontur zunächst in wenigen definierten

Winkelpositionen mit dem Schattenprojektionssystem erfasst werden. Auf diese Weise können sehr schnell Maße wie Lagerstizdurchmesser und Lagerstizbreite erfasst werden. Zudem wird eine Prüfung der Rechtwinkligkeit zwischen Kurbelwangen und Drehachse ermöglicht.

Erfassung der Funktionsflächen

Auf den Funktionsflächen, also den Haupt- und Hublagerstizen präzisionsgeschmiedeter Kurbelwellen, bilden sich durch den Schmeldeprozess individuelle und zufällig verteilte Geometriefehler aus. Im Hinblick auf die Endbearbeitbarkeit der Lagerstize muss sichergestellt sein, dass auf der gesamten Funktionsfläche ein ausreichendes Aufmaß für die spanende Endbearbeitung vorhanden ist. Um dies zu prüfen, ist es notwendig die vollständigen Funktionsflächen mit hoher Punktdichte flächenhaft zu erfassen. Aufgrund ihrer diffus streuenden Oberflächen eignen sich präzisionsgeschmiedete Bauteile besonders für den Einsatz der Streifenprojektionstechnik. Zur lückenlosen Erfassung der Hauptlagerstize sind, je nach Messvolumen des Streifenprojektionssensors, mehrere Messungen in unterschiedlichen äquidistanten Winkelpositionen, die durch eine motorische Rotationsachse eingestellt werden können, notwendig. Hierbei ist darauf zu achten, dass sich die einzelnen Messdatensätze leicht überlagern. Zur vollständigen Erfassung der Hublager von Kurbelwellen ist eine hochgenaue Nachführung des Streifenprojektionssensors in Abhängigkeit von der Winkelposition notwendig.

Erfassung der Hinterschmittbereiche an den Kurbelwangen

Die Kurbelwangen sowohl präzisionsgeschmiedeter als auch konventionell hergestellter Kurbelwellen weisen häufig Hinterschneidungen oder stolle Übergänge nahe 90° auf. Diese Bereiche können mit Hilfe des Schattenprojektionsverfahrens nicht gemessen werden. Um trotz alledem eine komplette Erfassung der Kurbelwellengeometrie zu erhalten, wird zusätzlich ein konoskopischer Punktsensor integriert. Dieser weist hinsichtlich seiner Spezifikation eine schon außerordentliche Messmöglichkeit steller Kanten auf (85°), die jedoch nicht ausreicht. Aus diesem Grund wird für die vollständige Erfassung einer Kurbelwange eine Messstrategie entwickelt, bei der der konoskopischen Sensor auf einer hochpräzisen Linearachse verfahren wird. Durch die hiermit hervorgerufene Lageveränderung des Sensors im Bezug auf die Bauteilachse wird eine Erfassung der Hinterschneidungen ermöglicht. Abbildung 9 verdeutlicht das Prinzip.

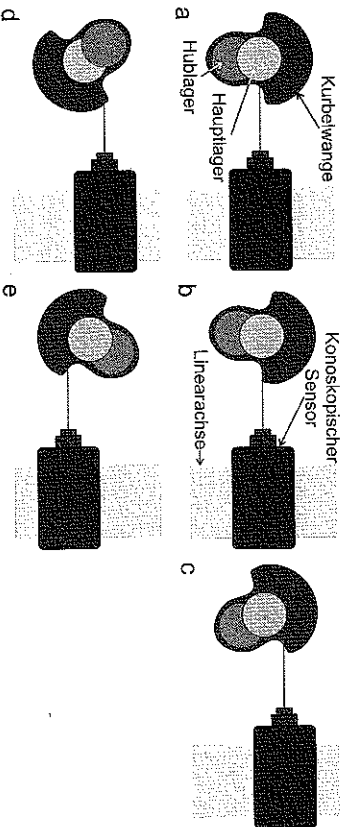


Abbildung 9: Erfassung der Hinterschnittbereiche an den Kurbelwangen mit Hilfe eines konoskopischen Sensors

Bild 9a zeigt die konventionelle Messposition, bei der die Ausrichtung der optischen Achse des Sensors rechtwinklig zur Rotationsachse liegt. In dieser Messposition ist es jedoch unmöglich Hinterschnittungen zu erfassen, was in 9b demonstriert wird. Durch das Verfahren des Sensors mittels der Linearachse um die Strecke s wird eine Messposition oberhalb der Ausgangsposition erreicht, bei der die in 9b dargestellte Hinterschnittung ohne Probleme aufgenommen wird (9c). Wird die Kurbelwelle durch die Rotationsachse weitergedreht kann in der oberen Sensorlage die zweite gegenüberliegende Hinterschnittung, wie auch in der Ausgangslage, nicht erfasst werden (9d), und somit ist eine dritte Messposition anzufahren. Abbildung 9e zeigt die Erfassung der zweiten Hinterschnittung.

Um die Kurbelwange nun vollständig messen zu können, sind drei Messungen mit Hilfe eines konoskopischen Sensors durchzuführen. Die jeweiligen Daten dieser Einzelmessungen müssen in einem weiteren Schritt fusioniert werden. Hierbei ist es wichtig, dass nur Teilbereiche der Messungen genutzt werden können, da jeweils ungültige Datenpunkte vorhanden sind. Mit Hilfe der Winkelinformation über die Rotationsachse können die nutzbaren Messpunkte extrahiert und in einem weiteren Schritt zu einem Datensatz zusammengefasst werden, der einen kompletten Schnitt einer Kurbelwange beinhaltet.

4. Ausblick

Für den Einsatz des vorgestellten Multisensorsystems ist die Erarbeitung neuer Mess- und Auswertemethoden erforderlich. Die mit Hilfe der unterschiedlichen Sensoren gewonnenen Messdaten müssen für eine umfassende Geometrieprüfung der Kurbelwellen, sowie für eine aussagekräftige Darstellung der Abweichungen, durch Definition eines gemeinsamen Werk-

stückkoordinatensystems zueinander in Beziehung gesetzt und kombiniert werden. Diese Datenfusion bildet einerseits die Grundlage zur Detektion, Charakterisierung und Darstellung zufälliger und systematischer Geometrieabweichungen, und bildet andererseits die Basis zur Durchführung von volumetrischen Untersuchungen, bei denen mit Hilfe der Geometrieinformationen die Masseverteilung des Messobjekts errechnet werden soll. Durch die Kenntnis der Masseverteilung kann die Bestimmung der Unwucht des Bauteils, welche insbesondere bei der Fertigung von Kurbelwellen einen hohen Stellenwert einnimmt, ermöglicht werden. Auf Basis der detektierten prozessbedingten Geometrieabweichungen und der Ergebnisse der volumetrischen Untersuchungen sollen Korrekturparameter erstellt und an die vorangehenden Fertigungsschritte weitergegeben werden.

5. Literatur

- [1] phi – Produktionstechnik Hannover informiert, 4 (2005)
- [2] Meiß, K.; Kästner, M.; Böttner, T.; Seewig, J.: Use of Fringe Projection in the Testing of Precision-Forged Gearwheels, 8th International Symposium on Measurement and Quality Control in Production, 12.-15.10.2004, Erlangen, VDI-Berichte 1860, 427-436, (2004)
- [3] Christoph, R.; Neumann, H. J.: Multisensor-Koordinatenmesstechnik – produktionsnahe Maß-, Form-, und Lagebestimmung, Verlag Moderne Industrie, (2003)
- [4] Müller, S.; Reinsch, S.; Specker, A.; Telkamp, K.: Bi-directional Forging of Long Flashless Pieces TMS (The Minerals, Metals Materials Society) 2007, 136th Annual Meeting & Exhibition, 26. Februar 2007, Orlando, Florida, USA
- [5] Kästner, M.; Seewig, J.; Frankowski, G.; Reithmeier, E.: Optical 3D Digitization and Coordinate Measurement of Parts by Means of DLP Based Projected Fringe Measuring Technology, Coordinate Metrology Systems Conference (CMSC), 19. Juli 2007, Reno, Nevada, USA
- [6] NN: ConoProbe - True 3D Free-Form Absolute Measurement with μ m Resolution. OPTIMET Optical Metrology
- [7] NN: ConoProbe OEM Manual - Version 2.1. OPTIMET Manual P/N 3J06001. OPTIMET Optical Metrology
- [8] NN: OPTIMET - Non-Contact Dimensional Measurement. Standard Version 2. OPTIMET Optical Metrology, 2001