

Foto: BMW AG

VERKÜRZTE PROZESSKETTE ZUR FERTIGUNG VON KURBELWELLEN

Auswuchten ade!

Rainer Haase, Markus Kästner und
Rüdiger Gillhaus, Hannover

Die wirtschaftliche Fertigung von Kurbelwellen wird beispielsweise durch das Reduzieren von Fertigungsschritten erhöht. Die Schritte müssen innerhalb der Prozesskette verbessert, zusammengefasst und substituiert werden. Optische Messtechnik soll die Geometrie der präzisionsgeschmiedeten Kurbelwelle prozessintegriert erfassen.

Die Automobilindustrie fordert wirtschaftlichere Fertigungsverfahren und kürzere Durchlaufzeiten. Zugleich wird eine verbesserte technologische Bauteilqualität angestrebt; steigende Leistungsübertragung sowie reduziertes Gewicht sind dabei nur zwei wichtige Gesichtspunkte.

An der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover begegnen Forscher diesen Forderungen in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförder-

ten Sonderforschungsbereich: Sie entwickeln und realisieren eine geschlossene Prozesskette zum Herstellen präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile.

Charakteristik des Präzisionsschmiedens

Um beim konventionellen Schmieden mit einem offenen Schmiedegesenk (Gratspalt) eine vollständige Formfüllung zu gewährleisten, wird ein Masseüberschuss

kalkuliert. Dieser bildet den Schmiedegrat und wird nach dem Entgraten recycelt.

Dagegen ermöglicht beim Präzisionsschmieden ein geschlossenes Schmiedegesenk eine gratfreie und endkonturnahe Formgebung. Durch einen konventionellen Masseüberschuss würde das geschlossene Schmiedegesenk jedoch zerstört. Daher ist ein geringer Masseunterschuss zu kalkulieren.

Der Prozess des Präzisionsschmiedens muss demzufolge so geführt werden, dass

die aus diesem Masseunterschuss resultierende unvollständige Formfüllung nicht an den Funktionsflächen (Haupt- und Hublagersitze) auftritt. Die unvollständige Formfüllung ist damit auf definierte Bereiche am Umfang der Kurbelwangen beschränkt.

Weiterhin stellt sich auch beim Präzisionsschmieden ein schmiedetypischer Faserverlauf (Bild 1) ein. Dieser der Bauteilkontur folgende, ununterbrochene und damit beanspruchungsgerechte Faserverlauf wirkt sich zusammen mit einem ausgeprägten Feinkorn positiv auf die dynamischen Festigkeitseigenschaften (z. B. Dauerfestigkeit) aus [1, 2].

Konventionelle industrielle Prozessketten zur Herstellung von Kurbelwellen sind „heute“ durch viele Prozessschritte gekennzeichnet (Bild 2). An der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover entwickeln Forscher ein Verfahren, um „morgen“ die Anzahl der Prozessschritte zu reduzieren.

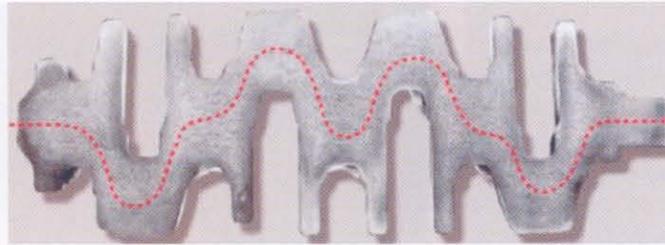


Bild 1. Faserverlauf (rot gekennzeichnet) einer geschmiedeten Kurbelwelle [3]

Während der unmittelbar an das Präzisionsschmieden angeschlossenen integrierten Wärmebehandlung wird die im Schmiedeteil verbleibende Restwärme gezielt genutzt. Durch eine intelligente Temperaturführung können sowohl Härte als auch Duktilität der Werkstücke den Anforderungen entsprechend eingestellt werden. Dadurch entfallen ein erneutes Erwärmen und Härten (Bild 2), das spart Energie und senkt die Kosten.

Eine geschlossene Prozesskette unter Nutzung des Präzisionsschmiedens mit integrierter Wärmebehandlung erprob-

ten die Forscher bereits erfolgreich am Beispiel präzisionsgeschmiedeter Zahnräder.

Technologische Anforderungen

Thermische und mechanische Belastungen während des Präzisionsschmiedens verlagern die Teilwerkzeuge zueinander. Darüber hinaus verschleißt das Schmiedegesenk unregelmäßig, und es treten kaum zu vermeidende Wärme- und Härteverzüge während des Präzisionsschmiedens und der anschließenden integrierten Wärmebehandlung auf. Diese Effekte führen neben Maß- und Form- insbesondere zu Lageabweichungen von Funktionsflächen zueinander [4].

Bei präzisionsgeschmiedeten gedrunge- nen Zahnrädern korrigiert bereits ein Feinpositioniersystem die Lageabweichung (Exzenter) von Bohrung und Verzahnung. Die prozessintegrierte Messeinrichtung wurde am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover entwickelt [5].

Bei Kurbelwellen werden die Lageabweichungen vornehmlich auf eine Referenzachse bezogen, die während der Fertigungsprozesse durch die Zentrierbohrungen an den Wellenenden gebildet wird. Die Lageabweichungen äußern sich damit in Form von Exzenter und Taumel. Um die Endbearbeitung der Kurbelwelle (Haupt- und Hublagersitze) sicherzustellen, ist eine Korrektur von Exzenter und Taumel unumgänglich. Diese wird durch eine geeignete integrierte Feinpositionierung während des Schleifens der Haupt- und Hublagersitze der Kurbelwelle durchgeführt. Dabei können geometrische oder volumetrische Aspekte berücksichtigt werden.

Geometrische Korrektur

Bei der erforderlichen Korrektur von Exzenter und Taumel sind geometrische Aspekte zu beachten, welche die Endbearbeitung der präzisionsgeschmie-

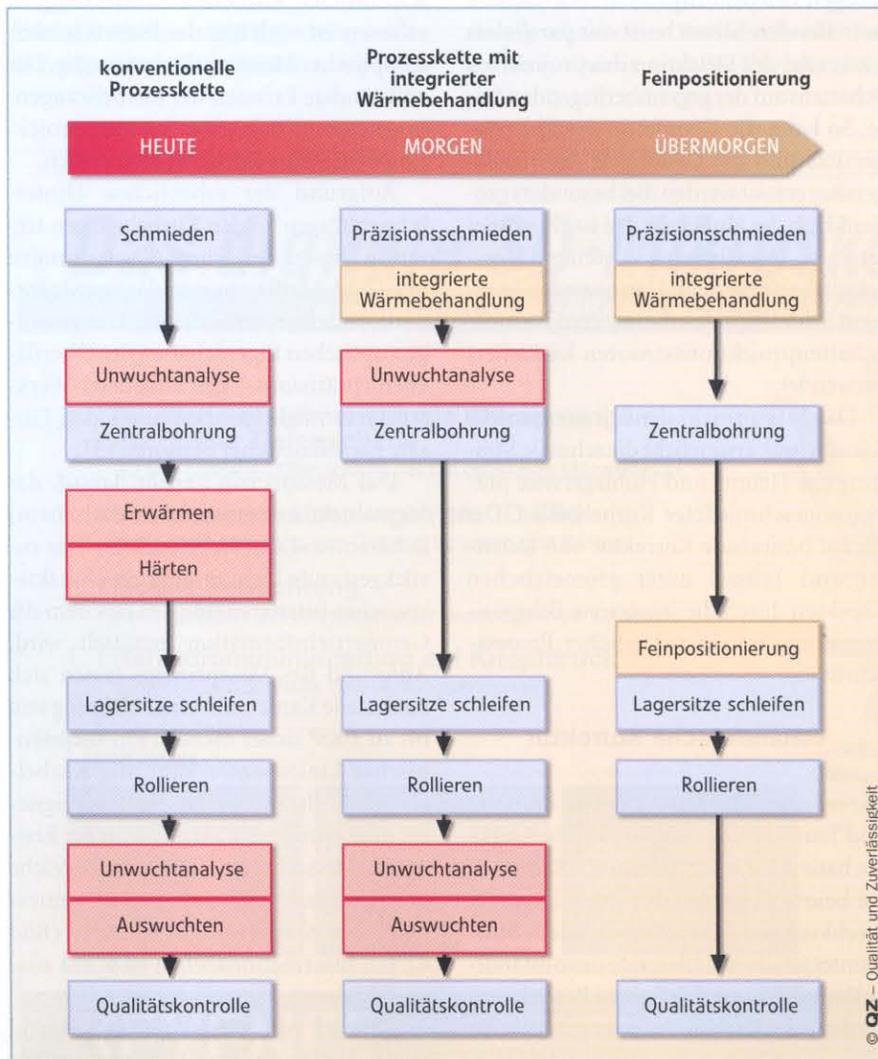


Bild 2. Entwicklung der Prozessketten zur Herstellung von Kurbelwellen [4]

Literatur

- 1 Bach, F.-W.; et al.: Integrierte Prozessketten, eine Notwendigkeit zum Präzisionsschmieden. *utfsience* (2003) 2, S. 1-8
- 2 Bach, F.-W.; et al.: Die Prozesskette Präzisionsschmieden. *phi Produktionstechnik Hannover informiert* 6 (2005) 4, PZH-Verlag
- 3 Kämpfer, S.: Schmiedetechnik gibt Sicherheit. *VDI Nachrichten*, Nr. 14, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 28, 8.4.2005
- 4 Haase, R.; Kästner, M.; Immel, J.; Seewig, J.; Reithmeier, E.; Denkena, B.: Kürzere Prozessketten durch Feinpositioniersysteme – Ein innovativer Lösungsansatz zur Substitution des Auswuchtens von Kurbelwellen. *wt Werkstattstechnik online* 96 (2006) 5, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 252-256
- 5 Haase, R.: Einrichtung zur schnellen Messung optisch kooperativer Zahnräder. Dissertation, Institut für Mess- und Regelungstechnik, Fakultät für Maschinenbau, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Shaker Verlag 2006

Autoren

Dr.-Ing. Rainer Haase, geb. 1978, arbeitete von 2003 bis 2006 in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

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.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rüdiger Gillhaus, geb. 1977, arbeitet seit 2006 in der Arbeitsgruppe Fertigungsmess- und Prüftechnik am Institut für Mess- und Regelungstechnik der Leibniz Universität Hannover.

Kontakt

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Rüdiger Gillhaus
 ruediger.gillhaus@imr.uni-hannover.de

deten Kurbelwelle (Haupt- und Hublagersitze) sicherstellen. Hierzu sind Messungen an den Haupt- und Hublagersitzen der Kurbelwelle ausreichend.

Um prozessintegriert die relevanten Geometrien vollständig zu erfassen, ist der

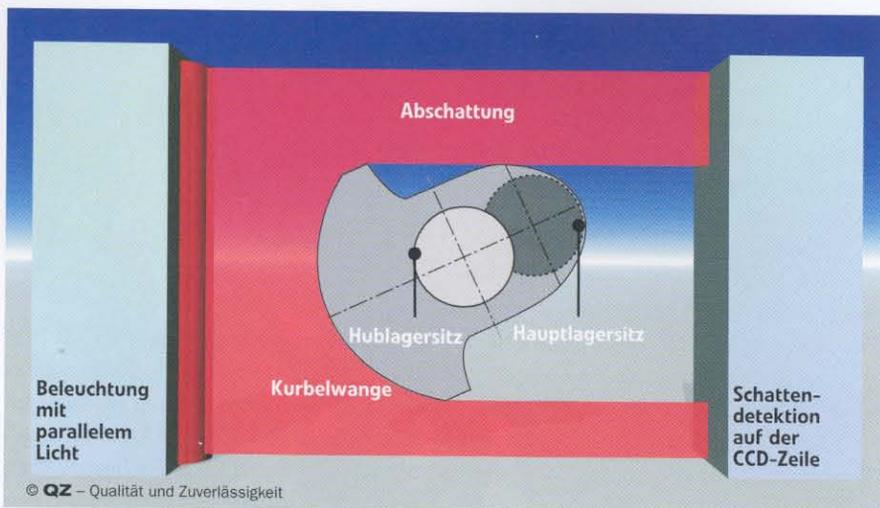


Bild 3. Kurbelwangenmessung mittels eines Schattenprojektionssensors

Einsatz schneller optischer Messtechnik erforderlich. Insbesondere zur Qualitätssicherung endbearbeiteter (geschliffener) Kurbelwellen haben sich Schattenprojektionssysteme etabliert.

Das Messprinzip beruht auf der einseitigen Beleuchtung des Messobjekts im betreffenden Messschnitt mit parallelem Licht und der Detektion des projizierten Schattens auf der gegenüberliegenden Seite. So kann die Geometrie der Hauptlagersitze und die Geometrie der Hublagersitze erfasst werden. Bei besonders großem Hub der Hublagersitze ist ein großer lateraler Messbereich (breiter Messschnitt) erforderlich. Dann werden in einem Schattenprojektionssystem mehrere Schattenprojektionssensoren kaskadiert verwendet.

Das Messprinzip der Schattenprojektionstechnik ermöglicht die schnelle Messung der Haupt- und Hublagersitze präzisionsgeschmiedeter Kurbelwellen. Die darauf basierende Korrektur von Exzenter und Taumel unter geometrischen Aspekten durch die integrierte Feinpositionierung ist ein zusätzlicher Prozessschritt.

Volumetrische Korrektur

Die erforderliche Korrektur von Exzenter und Taumel unter volumetrischen Aspekten basiert auf wuchtrelevanten Kriterien. Da beim Präzisionsschmieden in einem geschlossenen Gesenk die aus dem Masseunterschuss resultierende unvollständige Formfüllung auf definierte Bereiche am Umfang der Kurbelwangen beschränkt ist, trägt deren Geometrie zum individuell ausgeprägten Wuchtverhalten der Kur-

belwellen bei. Damit sind Messungen an sämtlichen wuchtrelevanten Geometrien (Hublagersitze, Kurbelwangen) der Kurbelwelle erforderlich.

Um prozessintegriert die wuchtrelevanten Geometrien der präzisionsgeschmiedeten Kurbelwelle vollständig zu erfassen, ist auch hier der Einsatz schneller optischer Messtechnik notwendig. Das vollständige Erfassen der Kurbelwangen-geometrie mittels eines Schattenprojektionssensors ist jedoch nicht möglich.

Aufgrund der erheblichen Hinterschneidungen an den Kurbelwangen treten in diesen Bereichen Abschattungen auf (Bild 3), die ein unzulässiges Informationsdefizit verursachen. Die günstigen optischen Eigenschaften der Oberflächen (präzisions-) geschmiedeter Werkstücke ermöglichen besonders den Einsatz konoskopischer Sensoren [5].

Das Messprinzip beruht darauf, das Messobjekt mit (monochromatischem) kohärentem Licht zu beleuchten. Das zurückgestreute Licht erzeugt ein charakteristisches Interferenzmuster, aus dem die Geometrieinformation ermittelt wird. Aufgrund des Messprinzips lassen sich auch steile Kanten mit einer Neigung von bis zu $\pm 85^\circ$ sicher messen. Ein konoskopischer Liniensensor kann die Kurbelwangen vollständig erfassen. Bei geeigneter Ausrichtung der Messlinie in der Ebene des Messschnitts werden die Bereiche der Hinterschneidungen bereits gemessen, bevor Abschattungen auftreten (Bild 4). Ein Informationsdefizit ist somit ausgeschlossen.

Anhand von Messschnitten, sowohl durch die Haupt- und Hublagersitze als auch durch die Kurbelwangen der präzi-

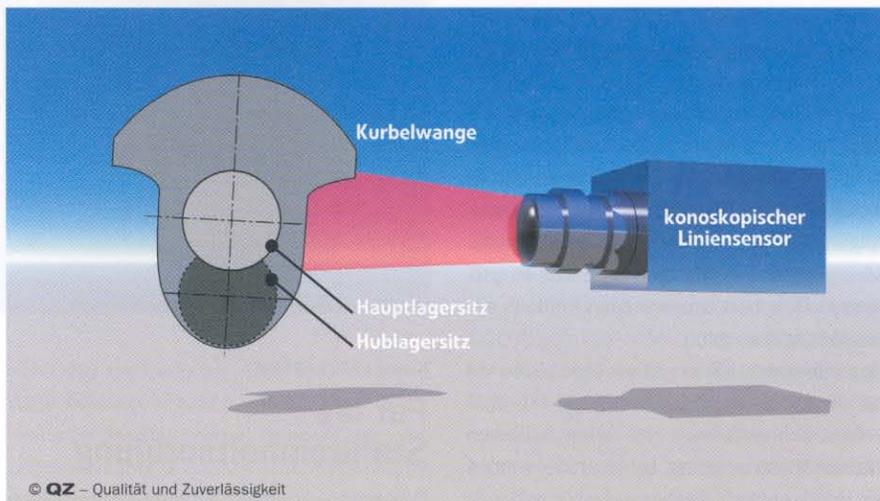


Bild 4. Kurbelwangenmessung mittels eines konoskopischen Liniensensors

sionsgeschmiedeten Kurbelwelle, kann nun deren Wuchtverhalten ermittelt werden. Damit ist erstmals eine Korrektur von Exzenter und Taumel unter volumetrischen Aspekten während des Schleifens der Lagersitze möglich. So wird „übermorgen“ die Anzahl der Prozessschritte reduziert, da die integrierte Feinpositionierung unter volumetrischen Aspekten

den iterativen Prozess der Unwuchtanalyse und des Auswuchtens substituiert.

In diesem Zusammenhang kann es sich als fertigungstechnisch und insbesondere ökonomisch günstiger erweisen, das Bearbeitungsaufmaß (Schleifzugabe) an den Haupt- und Hublagersitzen der präzisionsgeschmiedeten Kurbelwelle leicht zu erhöhen. Damit wird die Korrektur des

Vorteile des Verfahrens

Das Herstellen von Kurbelwellen mittels Präzisionsschmieden wirkt sich positiv auf deren dynamische Festigkeitseigenschaften aus. Durch die unmittelbar folgende integrierte Wärmebehandlung wird die Prozesskette ein erstes Mal verkürzt. Die bei Schmiedeprozessen und Wärmebehandlungen unvermeidbaren Lageabweichungen (Exzenter und Taumel) lassen sich durch eine integrierte Feinpositionierung korrigieren. Dabei werden statt rein geometrischer erstmals volumetrische Aspekte berücksichtigt, der iterative Prozess der Unwuchtanalyse und des Auswuchtens wird substituiert. Dadurch verkürzt sich die Prozesskette ein zweites Mal.

QM-Infocenter.de ▶ QZ102393

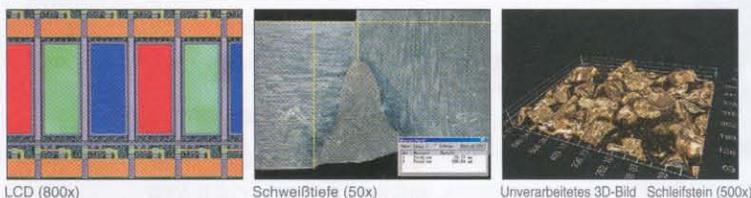
Wuchtverhaltens in einem ausreichend großen Bereich ermöglicht, während zugleich die Endbearbeitung der Haupt- und Hublagersitze gewährleistet ist. □

Das digitale 3D-Mikroskop

ermöglicht vergrößerte Betrachtungen und detaillierte Analysen

- I Deutliche dreidimensionale Betrachtungen mit großer Tiefenschärfe**
20 Mal größere Tiefenschärfe als bei optischen Mikroskopen.
- I Verschiedene Messungen am 3D-Bild**
Einfachste Messung von Distanz, Volumen und Winkel.
- I Mobile Betrachtung**
Kein Zerlegen, Zerschneiden oder Bearbeiten von Objekten.
- I Reflektionsminimierung auf Knopfdruck**
Einfache und schnelle Beleuchtungsänderung.

ANWENDUNG



Digitales Mikroskop VHX-500

PRODUKTNEUHEIT

KEYENCE

Zentrale für Deutschland KEYENCE DEUTSCHLAND GmbH
Corporate Office Siemensstrasse 1 63263 Neu-Isenburg
Tel: 06102-36 89-0 Fax: 06102-36 89-100

www.digitalmikroskop.de