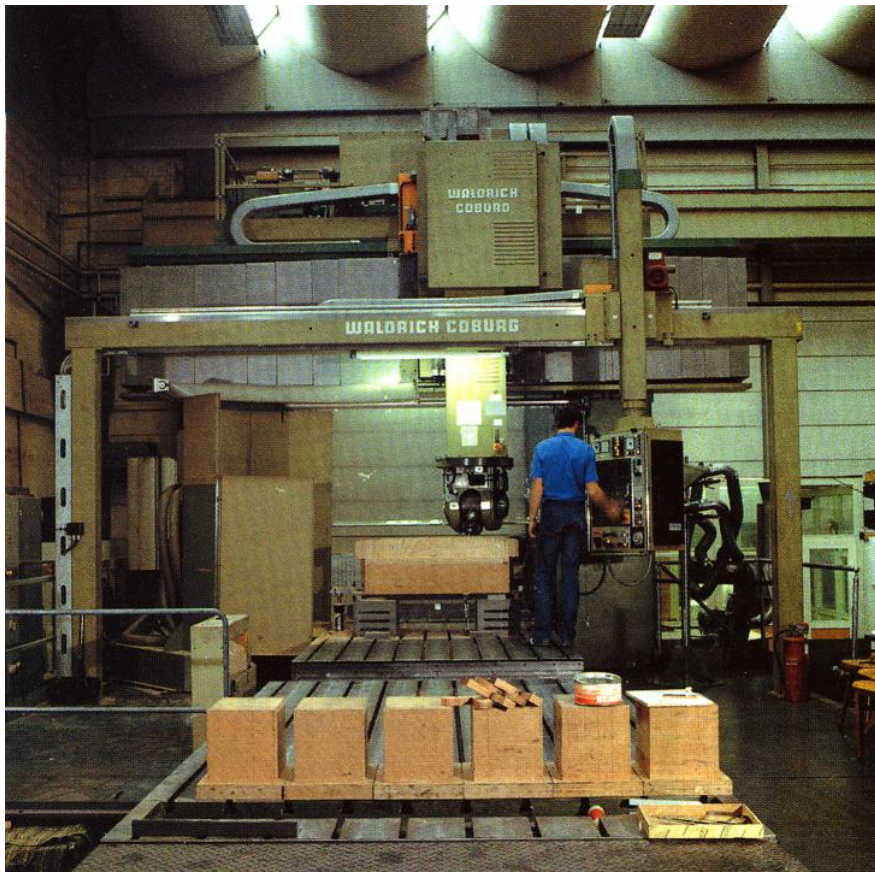


KONTROLLE

Sonderdruck aus 4/97



Der richtige Dreh

Der richtige Dreh

Dr.-Ing. E. Hofbauer, F. Haydn

Um eine gleichbleibend hohe Fertigungsqualität zu erreichen, ist es notwendig, Werkzeugmaschinen in ihrer Positioniergenauigkeit zu kennen, zu überwachen und gegebenenfalls in ihren Abweichungen zu korrigieren. Dabei spielen neben den linearen Verfahrsachsen auch die Dreh- und Schwenkachsen eine wesentliche Rolle.

Vor allem bei Freiformflächen beeinflussen diese die Werkstückgeometrie sowie die Qualität der Oberflächengüte. Die Vermessung der Dreh- und Schwenkachsen erfolgt auf einfache, zuverlässige und präzise Weise mit einem elektronischen Autokollimator in Verbindung mit einem Winkelnorm (Flächenkreisteilung). Der Einsatz von PC/Laptop zur Signalverarbeitung erlaubt die sofortige und automatische numerische sowie grafische Ergebnisdokumentation und die Ermittlung von Korrekturdaten für die Kompensation der Maschinensteuerung.

Aufgaben- und Problemstellung

Für die Überprüfung von linearen Verfahrsachsen (in der Regel X, Y und Z) auf ihre Positioniergenauigkeit (DIN/ISO 230 ff bzw. VDI/DGQ 3441) sind Verfahren und Messgeräte wie handelsübliche Laserinterferometer, inkrementale Vergleichslängemesssysteme u.a. bekannt. Hochgenaue Linearachsen reichen jedoch für die Anforderungen, die heutzutage beispielsweise im Automobilbau an

Werkstückgeometrie und Stückkosten gestellt werden, bei weitem nicht aus. Es sind zusätzlich leistungsfähige Dreh- bzw. Rotationsachsen erforderlich, um Radien und Freiformflächen rationell, zuverlässig und genau zu fertigen. Im Hause BMW werden die großvolumigen, CNC-gesteuerten 5-Achsen - Werkzeugmaschinen (Abb. 1) in einem festgelegten Zyklus überwacht. Die Verfahrsachsen werden mit

dem Laserinterferometer, die Drehachsen mit einem 12-Flächenpolygon und einem elektronischen Autokollimator überprüft und nach VDI/DGQ 3441 ausgewertet. Die Positionsunsicherheit P wird dokumentiert, mit den vorhandenen oder erforderlichen Maschinentoleranzen verglichen und entsprechende Maßnahmen wie Korrekturen über die Steuerung o.a. eingeleitet. Bei dem derzeitigen Stand der Technik und der Steuerungssoftware ist es ohne weiteres möglich, Abweichungen in der Positionierung und die Umkehrspanne rechnerisch zu kompensieren.

Anforderungen und Toleranzen an Schwenk und Drehachsen

Die erforderliche Positioniergenauigkeit (Winkelgenauigkeit) der Dreh- und Schwenkachsen ist zunächst abhängig von den Anforderungen an Werkstückgeometrie und Güte der Oberflächen. Die Anforderungen an die Positionsunsicherheit liegt im vorliegenden Fall in der Regel zwischen 5 Wsec. und 20 Wsec., abhängig von Maschinentyp und -größe und liegt damit in der Regel bei der ursprüng-

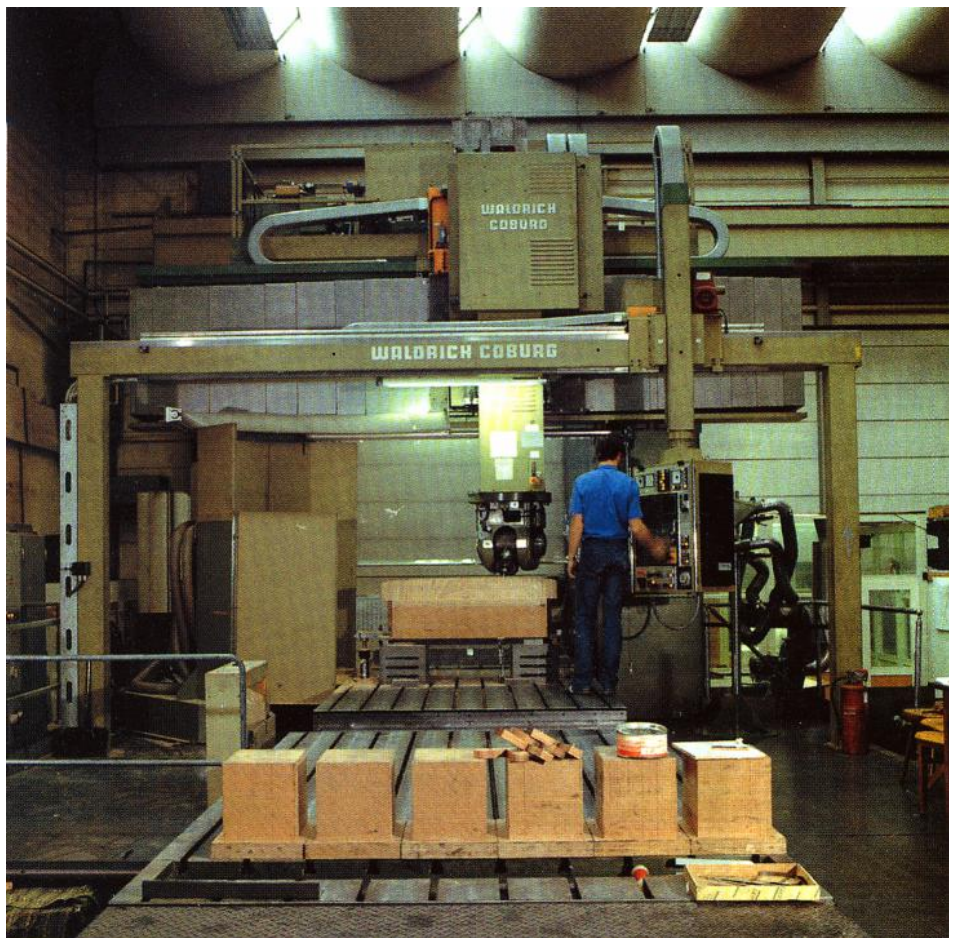


Abb. 1 CMC gesteuerte, 5-achsige Bearbeitungsmaschine Fa. Waldrich-Coburg; Steuerung ATEC

Verfahrwege: X-Achse 6000 mm, Y-Achse: 2000 mm, Z-Achse: 1000 mm
Drehachsen: C-Achse 360 Grad endlos, A-Achse +/- 95 Grad

lichen, spezifizierten Maschinengenauigkeit. Die Positionsunsicherheit nach VDI/DGQ 3441 beinhaltet die absolute Positionsabweichung P_a , die Reproduzierbarkeit (Positionsstreuung PS) und das Umkehrspiel U .

Mögliche Messverfahren

Zur Vermessung von Vollkreisteilungen und deren Unterteilungen eignen sich unter anderem folgende Hilfsmittel und Verfahren:

- Kugelteilscheiben bzw. Kugelplatten [1]
- Strichkreisteilung oder inkrementale Kreisteilung (Impulsteilung) [1]
- Winkelnormale (Flächenkreisteilungen) mit Autokollimator

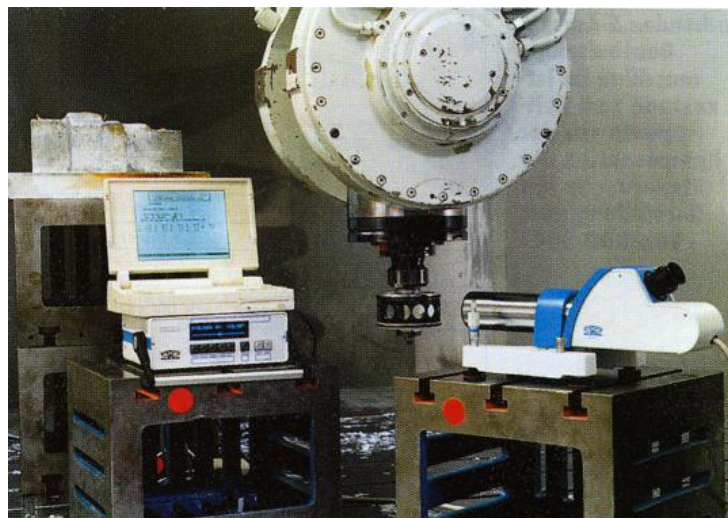
Kugelplatten sind überall dort einsetzbar, wo mit Koordinatenmessgeräten gearbeitet und das Werkstück auf die Messmaschine aufgenommen werden kann. Bei großvolumigen Maschinen ist dies in der Regel nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich. Strichkreisteilungen oder inkrementale Kreisteilungen (Index-Rundtische) erfordern eine extrem hohe Zentriergenauigkeit der Achsen von Kreisteilung und Prüfling im μm -Bereich bzw. eine aufwendige Kupplung für die kräfte- und torsionsfreie Verbindung der beiden Achsen. Als ideales und leicht anwendbares Messverfahren für Werkzeugmaschinen hat sich die Messung mit Winkelnormal und elektronischem Autokollimator (im weiteren ELCOMAT genannt) herauskristallisiert.

Als Winkelnormal wird ein sogenanntes Polygonprisma verwendet, dessen optisch wirksame Flächen mit hoher Genauigkeit poliert und verspiegelt werden. Polygonprismen sind in unterschiedlicher Anzahl von Spiegelflächen (4 Flächen bis 72 Flächen) und damit unterschiedlicher Winkelteilung (5° bis 90°) erhältlich. In der Regel werden 12-Flächenpolygone mit 30° -Teilung verwendet. Die Genauigkeit der Winkelabweichungen benachbarter Flächen bzw. der Summenteilungsfehler - oder auch reduzierter Richtungsfehler genannt - ist abhängig von der Güte des Polygons und von der Anwendung. Da die Genauigkeit des verwendeten Prüfmittels (Polygon zusammen mit Elcomat) um Faktor 5 bis 10 höher sein sollte als die Anforderung an den Prüfling, ist bei einer nahezu vernachlässigbaren Genauigkeit des Elcomat von $0.1''$ eine Polygongenauigkeit von $0,5$ Wsec. bzw. 2 Wsec. erforderlich. Standardmäßig werden vom Hersteller des verwendeten Polygons zwei Klassen angeboten:

Polygonbezeichnung	Summenteilungsfehler bzw. reduzierte Richtungsabweichung	Winkelabweichung benachbarter Flächen
12 Flächen $< 2''$	kleiner $2''$	kleiner $1''$
12 Flächen $< 5''$	kleiner $5''$	kleiner $3''$

Abb. 2

Einfach zu handhabender Aufbau für die Vermessung der Positionsunsicherheit an Drehachsen: In der Werkzeugspindel aufgenommenes Polygon, ELCOMAT zur einfachen Messwerterfassung und Laptop zur rechnergestützten Auswertung



Diese Polygonprismen werden mit einem Zertifikat ausgeliefert, das die exakten Winkelabweichungen benachbarter Flächen und den Summenteilungsfehler bzw. die jeweilige reduzierte Richtungsabweichung mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,3''$ ($1-\alpha = 95\%$) mit Rückführbarkeit auf nationales Normal protokolliert. Zur absoluten Kompensation der systematischen Abweichungen können die Istabweichungen des Polygons damit auch noch rechnerisch korrigiert werden.

Ein bewährtes Messprinzip

Das Kernstück des Messverfahrens ist ein hochauflösendes Winkelmesssystem, das nach dem Autokollimationsprinzip arbeitet [2, 3]. Das Polygon dient als Winkelverkörperung und wird in entsprechenden Schritten (Winkelteilung des Polygons) vom Prüfling positioniert. Die Senkrechstellung der Spiegelflächen zur optischen Achse des Elcomat wird überprüft bzw. die Abweichung davon gemessen. Als Ergebnis liefert das Gerät eine Winkelabweichung in Winkelsekunden (Wsec.). Die Winkelmessdaten des Elcomat werden über RS 232-Schnittstelle einem PC oder Laptop zugeführt. Über die Messsoftware werden innerhalb von Sekundenbruchteilen die Abweichungen errechnet, die Positionsunsicherheit nach VDI/DGQ 3441 (Deutschland) oder anderen bekannten Verfahren wie beispielsweise ISO 230 ff. (international) und NMTBA (USA) bestimmt und grafisch dargestellt. Die Messunsicherheit der Messanordnung liegt im vorliegenden Fall bei $0,3$ Wsec und ist bedingt durch Messunsicherheit

des ELCOMAT und Messunsicherheit des Polygons. Zusätzliche systematische Fehler der Messanordnung werden durch geeignete Maßnahmen [4] auf ein zu vernachlässigendes Mindestmaß reduziert.

Einfacher und schneller Messvorgang

Im Gegensatz zu Index-Rundtischen und Strichkreisteilungen ist die Zentrierung und die Kopplung von Winkelnormal bzw. Flächenkreisteilung und Drehachse unkritisch und mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich ausreichend. Das Polygon wird zunächst auf einer Welle montiert und in der Werkzeugspindel aufgenommen. Der ELCOMAT wird auf dem Stativ oder auf einem stabilen Unterbau aufgebaut (Abb. 2), innerhalb von wenigen Minuten ausgerichtet bzw. justiert [4] und das Messprogramm am Rechner gestartet. Über die CNC-Steuerung werden nun die in der Norm vorgeschriebenen Zyklen (bidirektional, d.h. in positiver und negativer Anfahrtrichtung) gefahren, und die Messwerte für jede einzelne Winkelposition automatisch übernommen (getriggert).

Auswertevorgang und rechnerische Kompensation

Nach den 3 Messzyklen werden die gewonnenen Daten automatisch ausgewertet und numerisch dargestellt. Die Kompensationsdaten des Polygons sind in unserem vorliegenden Fall bereits vor der Messung in einem Korrekturfile abgelegt und werden automatisch vom Programm

Abb. 3

Ergebnis der Positionsunsicherheit der untersuchenden 5-Achsen-Bearbeitungsmaschine im Istzustand zum Zeitpunkt vor der Kompensation der Steuerung in der Darstellung nach VDI/DGQ 344

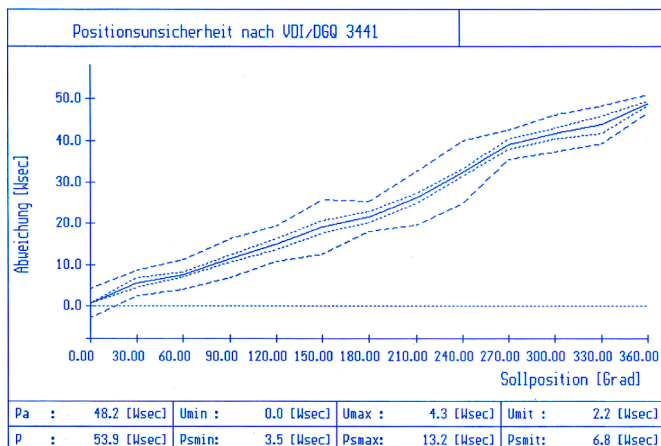
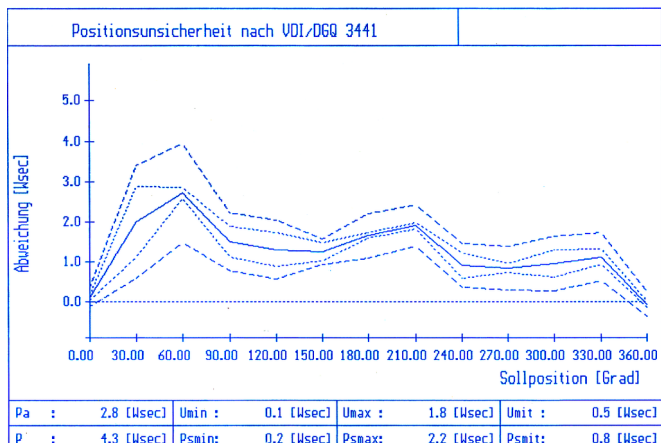


Abb. 4

Grafik der Positionsunsicherheit mit numerischen Angaben nach rechnerischer, linearer Korrektur und Optimierung des Umkehrspiels



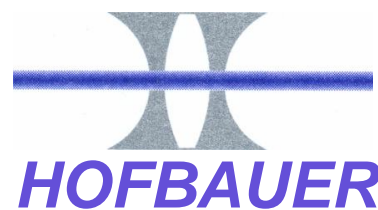
in der Auswertung berücksichtigt. Abb. 3 zeigt das Ergebnis der Messung nach VDI/DGQ 3441. Es zeigt sich eine Positionsabweichung P_a von 48,2 Winkelsekunden (Wsec.) und eine gesamte Positionsunsicherheit P von 53,9 Wsec. Das Umkehrspiel liegt im Bereich von $U_{min} = 0$ bis $U_{max} = 4,3$ Wsec und im Mittel bei $U_{mit} = 2,2$ Wsec. Die Positionsstreuung PS , also der Wert für die 6-fache Standardabweichung aus den einzelnen Messungen an den jeweiligen Positionen, beträgt maximal 13,2 Wsec (P_{smax}) und im Mittel 6,8 Wsec (P_{smitt}). Die gewonnenen Daten werden nun für die Maschinensteuerung aufbereitet und die Kompensation durchgeführt. Wie die Grafik deutlich zeigt, liegt in erster Linie ein starker, linearer Steigungsfehler vor, der durch Getriebeübersetzung bzw. Steuerung der Schrittmotoren hervorgerufen wird. Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Kompensation am Beispiel der großvolumigen, 5-achsigen Werkzeugmaschine. Es wurde der Steigungsfehler kompensiert und das Umkehr-Spiel auf ein Mindestmaß reduziert. Die Positionsabweichung wird von 48,2 auf 2,8 Wsec. gesenkt, das maximale Umkehrspiel U_{max} auf 1,8 Wsec. reduziert und die Positionsunsicherheit mit 4,3 Wsec. innerhalb der erforderlichen Toleranz eingestellt.

Ergebnis und Zusammenfassung

Mit Hilfe eines elektronischen Autokollimators, eines Polygonspiegels als Winkelverkörperung und einer vorhandenen Software kann die Positionsabweichung und damit die Positionsunsicherheit an der Drehachse (C-Achse) einer 5-Achsen-Bearbeitungsmaschine rasch überprüft und mit Hilfe der Steuerung sogar noch kompensiert werden. Die Ergebnisse einer Messung mit rechnerischer Kompensation zeigen eine Verbesserung der Positionsunsicherheit von 53,9 auf 4,3 Wsec d.h. um mehr als Faktor 10. Das Umkehrspiel konnte von 4,3 auf 1,8 Wsec. optimiert und die Positionsstreuung von 13,2 auf 2,2 Wsec. reduziert werden. Damit sind die Werte wieder innerhalb der geforderten Toleranz und die Maschine kann wieder für die Produktion freigegeben werden.

Literatur:

- [1] Wäldele F.: Kalibrieren von Drehtischen mit Koordinatenmessgeräten; Industrielle Winkelmesstechnik TAE Lehrgang Nr. 9515/41168, 1987
- [2] Hofbauer E., Röttger K., Kellner R.: Kurzer Prozess mit Ebenheit, F & M 104, 1996
- [3] Duis Wilhelm: Höchst präzise Winkelmessung mit Hilfe der Autokollimation, Jahrbuch für Optik und Feinmechanik, 1990
- [4] Hofbauer Engelbert: Schulungsunterlagen. Positionsunsicherheit an Drehachsen - Messunsicherheit und deren Minimierung, 1995



☎ (089) 89 66 90 88
 Fax (089) 89 66 90 89
 Mobil (0172) 8 20 64 83

OPTIK MESS- UND PRÜFTECHNIK
 VERTRIEB · BERATUNG · TRAINING

Petzetstrasse 8
 D-81245 München
 E-mail info@hofbauer-optik.de
<http://www.hofbauer-optik.de>