

Funktionsgerechte Koaxialitätstoleranzen an Bohrungen

Überarbeitete Fassung des Artikels „Koordinatenmessgeräte in der Praxis“
in Kontrolle, Leinfelden-Echterdingen, Heft 5/1993, S. 50-52

Koordinatenmessgeräte haben in den letzten Jahren eine weite Verbreitung in der fertigungsintegrierten Qualitätsprüfung gefunden. Ihr Einsatz bleibt jedoch nicht ohne Probleme. Häufig zeigt sich, dass die vorliegenden Zeichnungen für konventionelle Messungen zugeschnitten sind und einer Überarbeitung bedürfen. Für die Messstrategie, z.B. die Zahl und Anordnung der Antastpunkte, gibt es bisher nur wenige, recht allgemeine Regeln. Ein häufiger Anwendungsfall für Koordinatenmessgeräte ist die Messung von Koaxialitätsabweichungen nach DIN EN ISO 1101 in Getriebegehäusen oder ähnlichen Werkstücken. Das Bild 1 zeigt eine normgerechte Zeichnungseintragung.

Mit konventionellen Mitteln wurde dieses Merkmal mittels eines Prüfdornes (auch: Fluchtdorn) geprüft, der entweder direkt durch beide Bohrungen

die Welle jedoch in beiden Bohrungen gleichberechtigt aufgenommen. Ihre Lage wird nicht nur durch die linke, sondern auch durch die rechte Bohrung bestimmt. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich zwischen Welle und Bohrung noch ein Lager, z.B. Wälzlager oder Gleitlagerbuchse befindet. Die Prüfung mit dem Fluchtdorn entspricht genau dieser beschriebenen Funktion, während die Zeichnungseintragung eine andere Funktion beschreibt. Die Abweichungen bei der Messung mit dem Koordinatenmessgerät treten aber eben deshalb auf, weil hier entsprechend der Zeichnung ausgewertet wird. Die Lösung des Problems liegt also nicht in der Genauigkeit des Koordinatenmessgerätes, sondern in der Vorgabe des Prüfmerkmals. Es ist eine funktionsgerechte Zeichnungseintragung erforderlich. Das Bild 2 zeigt eine solche Möglichkeit.

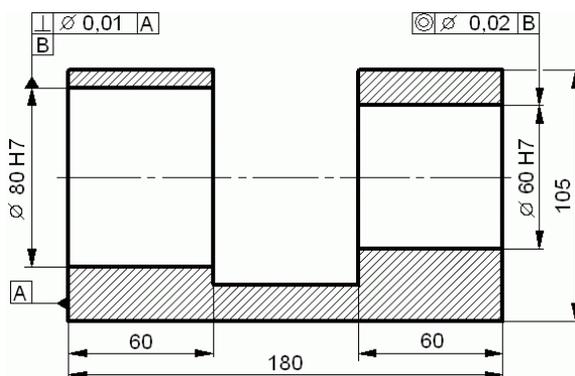


Bild 1: Koaxialitätstoleranz zur Achse einer Bohrung

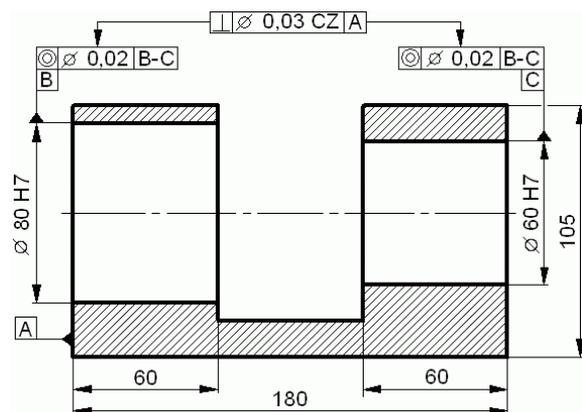


Bild 2: Koaxialitätstoleranz zur gemeinsamen Achse

gesteckt oder – bei unterschiedlichen Durchmessern – auch in gestuften Buchsen aufgenommen wurde. Wenn der Fluchtdorn ohne zu klemmen durch beide Bohrungen ging, war das Teil in Ordnung.

Mit dem Einsatz von Koordinatenmessgeräten traten unerwartete Probleme auf. Es wurden zum Teil große Abweichungen in den Messergebnissen festgestellt, die sich nicht mit den Ergebnissen der bewährten Prüfmethode deckten. Trotz der gemessenen Abweichungen ließen sich die Teile ohne weiteres verwenden. Eine Erklärung kann durch eine Analyse des funktionellen Zusammenhangs und der Messunsicherheit gegeben werden.

Die Zeichnungseintragung im Bild 1 legt die linke Bohrung als Bezugsachse für die Messung der Lageabweichung fest. Beim Zusammenbau wird

Es wird die Koaxialitätsabweichung zur gemeinsamen Achse eingetragen. In der Funktion wird diese gemeinsame Achse durch die Welle verkörpert, bei der Prüfung mit dem Fluchtdorn durch denselben. Bei der Messung mit dem Koordinatenmessgerät sind zunächst die Achsen der beiden Bohrungen und dann die gemeinsame Achse zu berechnen. Letztere verläuft durch die beiden Bohrungsmitten. Die gesuchte Koaxialitätsabweichung ergibt sich aus der Winkeldifferenz zwischen einer einzelnen und der gemeinsamen Achse, umgerechnet auf die Bohrungslänge.

Den Zusammenhang zeigt das Bild 3. Zusätzlich ist – was meist außer acht gelassen wird – auch die Lage der gemeinsamen Achse am Werkstück zu tolerieren. Im Bild 2 ist die entsprechende Toleranzeintragung enthalten.

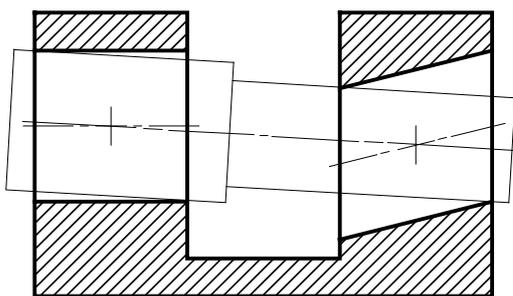


Bild 3: Koaxialitätsabweichungen zur gemeinsamen Achse durch die Mittelpunkte der beiden Bohrungen (DIN EN ISO 5459)

Neben der Betrachtung der Funktion kann auch die Abschätzung der Messunsicherheit zur Feststellung solcher Fehlerschwerpunkte nützlich sein. Jedem Messergebnis kann eine Unsicherheit zugeordnet werden.

Werden aus angetasteten Formelementen (z.B. Zylinder oder Kreise) weitere Formelemente (z.B. Achsen) oder andere Ergebnisse (z.B. Koaxialitätsabweichungen) berechnet, so pflanzen sich die Unsicherheiten ebenfalls fort. Die Größe der Unsicherheit kann dargestellt werden und ist ein Maß für die mögliche Messabweichung. Für das Beispiel aus Bild 1 ist der Unsicherheitsbereich der Bezugsachse im Bild 4 eingezeichnet. Mit wachsender Entfernung der Stelle, an der die Koaxialitätsabweichung der rechten Bohrung nach Bild 1 gemessen werden soll, wird der Unsicherheitsbereich proportional breiter und damit die Messabweichung größer. Die oben beschriebenen unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Prüfverfahren sind also in erster Linie auf die Messunsicherheit zurückzuführen.

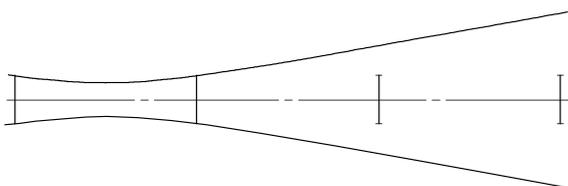


Bild 4: Unsicherheitsbereiche der Kreismittelpunkte und der Bezugsachse nach Bild 1

Für jedes einzelne Prüfmerkmal ist die zulässige Messunsicherheit einzuhalten. Damit kann über das Fortpflanzungsgesetz der Messabweichungen ein Zusammenhang zwischen den Toleranzen der einzelnen Prüfmerkmale hergestellt werden. Für die Koaxialität ist er im Bild 5 angegeben.

Die prüfbare Koaxialitätstoleranz T ist proportional zur Toleranz des Durchmessers T_D der Bohrung, die die Bezugsachse festlegt, und dem Abstand l der beiden Bohrungen. Mit dieser einfachen Näherungsformel kann schon an Hand der Zeichnung

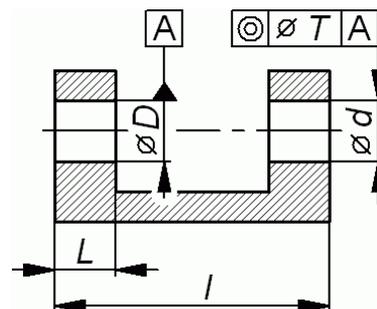


Bild 5: Prüfbare Koaxialitätstoleranz T und Bezeichnungen

geprüft werden, ob sich die Prüfmerkmale mit den angegebenen Toleranzen messen lassen. Ist das nicht der Fall, so können in der Regel andere, funktionsgerechte Zeichnungseintragungen gefunden werden, die auch die Messung mit einer genügend kleinen Messunsicherheit gestatten.

Für das Beispiel aus dem Bild 1 beträgt die prüfbare Koaxialitätstoleranz bei einer Durchmesser-toleranz der linken Bohrung $T_D=30 \mu\text{m}$ und den angegebenen Längen $T=90 \mu\text{m}$. Sie ist deutlich größer als die im Bild 1 eingetragenen $20 \mu\text{m}$ – wobei die Zeichnungseintragung aber auch gar nicht der Funktion der Bohrungen entspricht.

Bei der Messung selbst ist dann nur noch die Einhaltung der Messunsicherheit an den angetasteten Formelementen zu prüfen. Hier haben vor allem die Anzahl n der Messpunkte und die Standardabweichung s an den berechneten Formelementen einen wesentlichen Einfluss. Zum Beispiel ergibt sich die Unsicherheit u_D für einen mit 8 Punkten gemessenen Kreisdurchmesser einfach aus der Gleichung $u_D=1,8 s$. Ist die Standardabweichung am Ausgleichskreis $2 \mu\text{m}$, so beträgt die Unsicherheit des Durchmessers $3,6 \mu\text{m}$ und die prüfbare Durchmesser-toleranz nach der Goldenen Regel der Messtechnik $18 \mu\text{m}$.

Zu dem Thema werden folgende Schulungen angeboten:

- Funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Lage-toleranzen (für Konstrukteure)
- Lagetoleranzen und Bezugssysteme (für Fertigungstechniker und Messtechniker)
- Messstrategie bei Koordinatenmessungen (für Messtechniker)

In praktischen Übungen wird die Vorgehensweise trainiert. Die Teilnehmer werden befähigt, Zeichnungen zu analysieren und funktionsgerechte Zeichnungseintragungen zu erarbeiten bzw. optimale Messstrategien anzuwenden.

Dr.-Ing. Michael Hernla, Telefon 0231 136010
Sonnenplatz 13, 44137 Dortmund
michael.hernla@t-online.de www.dr-hernla.de