

Funktions- und prüfgerechte Bezugsэлеmente

Veröffentlicht unter dem Titel „Toleranzeintragung und Messstrategie“ in Kontrolle, Leinfelden-Echterdingen, Heft 5/1997, S. 18-19

Die Anforderungen an die geometrische Gestalt von Einzelteilen werden immer höher. Die Qualitätsplanung, d.h. die Planung der Qualitätsforderung, leistet heute den wichtigsten Beitrag zur Sicherstellung der Qualität der Einzelteile. Die klassische Arbeitsteilung, bei der der Konstrukteur allein die Prüfmerkmale und Toleranzen festlegt, gehört der Vergangenheit an. Vielmehr hat sich hier weitgehend die Teamarbeit durchgesetzt, die Entwickler, Fertigungsplaner und Messtechniker an einem Tisch vereint.

Die Qualitätsplanung muss folgende Aspekte berücksichtigen:

Funktion: Beschreibung der funktionellen Anforderungen

Fertigung: Kritische Merkmale zur Ableitung von Korrekturwerten

Prüfung: Prüfbarer Toleranzen unter Berücksichtigung der Messunsicherheit

Die optimale Lösung erhält man, wenn allen Anforderungen gleichermaßen Rechnung getragen wird. Insbesondere die Messtechnik kann einen wichtigen Beitrag zur Qualitätsplanung erbringen, indem unter Berücksichtigung der Fortpflanzungsgesetze der Messabweichungen prüfbarer Toleranzen festgelegt und überzogene Forderungen ("Angsttoleranzen") vermieden werden.

Das Bild 1 zeigt die Einbausituation für ein typisches Maschinenbauteil. Der Lagerflansch wird an ein Gehäuse angeschraubt und dabei in einer Bohrung zentriert. Er nimmt in seiner Lagerbohrung ein Wellenende auf.

Das Bild 2 gibt eine übliche Zeichnungseintragung wieder. Der Zentrierbund ist als Bezugsэлеment festgelegt, die Anlagefläche soll dazu senkrecht und die Lagerbohrung koaxial sein.

Bild 1:
Einbausituation des Lagerflanschs

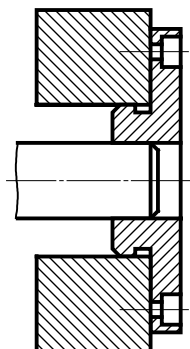
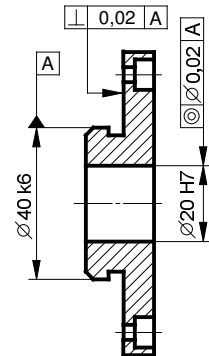
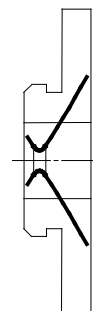


Bild 2:
Lagerflansch mit üblicher Bemaßung



Bei der zeichnungsgerechten Messung der Rechtwinkligkeit und der Koaxialität treten jedoch Probleme auf. Die Ursache liegt jedoch oft nicht in den Abweichungen der Fertigung, sondern in der Messung selbst. Der Zentrierbund ist gegenüber der Länge der Bohrung und erst recht gegenüber dem Außendurchmesser der Anlagefläche sehr kurz. Bei der Bestimmung der Achse nach dieser kurzen Basis wird die Unsicherheit des Achsenwinkels sehr groß, wie durch den Vertrauensbereich im Bild 3 angedeutet wird. Die gemessenen Abweichungen sind einfach ein Ausdruck der großen Messunsicherheit. Eine Analyse der Funktionsanforderungen führt zur Lösung des Problems.

Bild 3:
Vertrauensbereich der durch den Zentrierbund bestimmten Achse



Die Lage des montierten Flansches wird nicht von dem Zentrierbund allein, sondern vor allem auch von der Anlagefläche bestimmt. Sie legt durch die Kraftwirkung der Verschraubung die Richtung im Raum fest, der Bund dient lediglich zur Zentrierung. Wird beim Messen genauso ausgerichtet, ergibt sich der im Bild 4 dargestellte Vertrauensbereich der Achse. Die Koaxialität kann ohne Probleme gemessen werden.

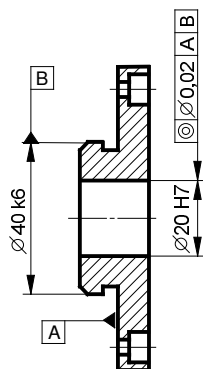
Bild 4:
Vertrauensbereich
der durch die
Anlagefläche und
den Zentrierbund
bestimmten Achse



Eine eventuelle Rechtwinkligkeitsabweichung des Zentrierbundes zur Anlagefläche beeinträchtigt wegen des Spieles bzw. geringen Übermaßes in der Gehäusebohrung die Anlage des montierten Flansches nicht. Bei der Fertigung wird zunächst die Anlagefläche bearbeitet, dann der Bund und die Bohrung. Bei der Bearbeitung aller drei Formelemente in einer Aufspannung als Futterdrehteil sind überhaupt keine relevanten Lageabweichungen zu erwarten.

Das Bild 5 zeigt die optimale Toleranzeintragung. Die Anlagefläche wird als primärer Bezugsgelegt, der Zentrierbund als sekundärer. Beide Bezüge bilden ein Bezugssystem, zu dem die Bohrung koaxial sein soll.

Bild 5:
Funktions-, fertigungs-
und prüfgerechtes
Bezugssystem mit
Lagetoleranz



Die prüfbare Koaxialitätstoleranz für diesen speziellen Fall beträgt 0,02 mm. Sie ist ebenso wie die Durchmesser ohne Schwierigkeiten z.B. mit einem Koordinatenmessgerät messbar, wie im folgenden gezeigt wird. Die Messunsicherheit U soll nach der Goldenen Regel der Messtechnik ein Fünftel der Toleranz T nicht übersteigen.

Der Zentrierbund wird als Kreis gemessen, ebenso die Bohrung jeweils links und rechts. Die Unsicherheit der Durchmesser kann einfach abgeschätzt werden, wenn die Messpunkte jeweils etwa gleichabständig auf dem ganzen Umfang angeordnet sind. Dazu wird entsprechend der Anzahl n der Messpunkte der Faktor U_D/s aus der Tabelle 1 mit der Standardabweichung s aus der jeweiligen Messung multipliziert.

Wird die Bohrung mit $n=8$ Punkten und $s=2 \mu\text{m}$ gemessen, beträgt die Unsicherheit $U_{D1}=3,6 \mu\text{m}$, und die Goldene Regel ist für die Toleranz $T=21$

Tabelle 1:
Unsicherheit des Ausgleichskreis-Durchmessers
 U_D/s für gleichabständige Messpunkte am Umfang

n	4	8	16	32	64	125	250
U_D/s	12,7	1,8	1,1	0,7	0,5	0,35	0,25

μm eingehalten. Dasselbe gilt bei $n=8$ für eine Standardabweichung von $s=1,5 \mu\text{m}$ am Zentrierbund ($U_{D2}=2,7 \mu\text{m}$, Toleranz 16 μm).

Die Unsicherheit der Koaxialitätsabweichung lässt sich einfach nach Gleichung (1) berechnen. Sie beträgt im Beispiel 3,2 μm und ist ebenfalls kleiner als der Grenzwert nach der Goldenen Regel.

$$U = \sqrt{\frac{U_{D1}^2 + U_{D2}^2}{2}} \quad (1)$$

Die Abweichungen des Messgerätes und der Temperatureinfluss sind bei den kleinen Abmessungen des Flansches in der Regel vernachlässigbar.

Voraussetzung für die obige Unsicherheitsschätzung ist das genügend genaue Einmessen des Tasters. Wurde dazu ein Einstellring als Kreis gemessen, kann die Unsicherheit des Tasterdurchmessers mit den Werten aus Tabelle 1 abgeschätzt werden. Sie ist zur Unsicherheit des entsprechenden Durchmessers quadratisch zu addieren.

Das beschriebene Vorgehen erfordert sowohl eine sorgfältige Analyse der verschiedenen Anforderungen an das Einzelteil als auch die Beherrschung der Regeln zur Eintragung von Bezugssystemen und Lagetoleranzen in Zeichnungen. Orientierungswerte für eine ganze Reihe von Funktionsfällen gestatten schließlich die Festlegung solcher Zahlenwerte für Lagetoleranzen, die ohne Probleme messbar sind.

Zu dem Themenkomplex werden folgende Schulungen angeboten:

- Funktions-, fertigungs- und prüfgerechte Lagetoleranzen (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
Sonnenplatz 13, 44137 Dortmund
Telefon 0231 136010
michael.hernla@t-online.de
www.dr-hernla.de