

Ermittlung der Positioniergenauigkeit

Ursachen von Positionierfehlern

Positionierfehler werden hauptsächlich durch die Steigungsgenauigkeit, die axiale Steifigkeit oder das Axialspiel des Kugelgewindetribs verursacht. Andere wichtige Ursachen sind thermischer Versatz durch Wärmeentwicklung sowie die Einfederung des Führungssystems während des Betriebs.

Ermittlung der Steigungsgenauigkeit

Aus den Genauigkeitsklassen für Kugelgewindetribe ist die korrekte Genauigkeitsklasse gemäß der erforderlichen Positioniergenauigkeit auszuwählen (siehe Tab. 1 auf **A15-12**). Anwendungstypische Beispiele für erforderliche Genauigkeitsklassen finden Sie auch in Tab. 23 auf **A15-48**.

Ermittlung des Axialspiels

Während das Axialspiel die Positioniergenauigkeit bei der Bewegung in eine Richtung nicht beeinflusst, verursacht es aber das sogenannte Umkehrspiel bei Laständerungen oder bei der Umkehrung der Bewegungsrichtung. Daher ist es unbedingt notwendig, aus Tab. 10 und Tab. 13 auf **A15-19** ein Axialspiel auszuwählen, das dem notwendigen Umkehrspiel entspricht.

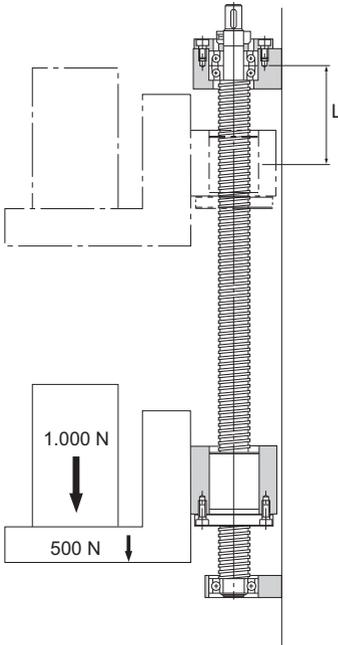
Tab. 23 Beispiele für die Auswahl der Genauigkeitsklassen entsprechend der Anwendung

Anwendungen		Achse	Toleranzklassen							
			C0	C1	C2	C3	C5	C7	C8	C10
NC-Werkzeugmaschinen	Drehmaschine	X		●	●	●	●			
		Z				●	●			
	Bearbeitungszentrum	XY			●	●	●			
		Z			●	●	●			
	Bohrmaschine	XY				●	●			
		Z					●	●		
	Koordinaten-Bohrmaschine	XY	●	●						
		Z	●	●						
	Oberflächenschleifmaschine	X				●	●			
		Y		●	●	●	●			
		Z		●	●	●	●			
	Zylinderschleifmaschine	X	●	●	●					
		Z		●	●	●				
	Elektro-Erodiermaschine	XY	●	●	●					
		Z		●	●	●	●			
	Funkenerosionsmaschine	XY	●	●	●					
		Z	●	●	●	●				
		UV		●	●	●				
Lochstanze	XY				●	●	●			
Laserschneidmaschine	X				●	●	●			
	Z				●	●	●			
Holzbearbeitungsmaschine						●	●	●	●	
Standard- und Sondermaschine					●	●	●	●	●	
Industrieroboter	Kartesischer Roboter	Montage				●	●	●	●	
		Andere					●	●	●	
	Portalroboter	Montage					●	●	●	
		Andere						●	●	
Zylindrischer Koordinatenroboter					●	●	●			
Ausrüstungen zur Halbleiterproduktion	Belichtungssysteme		●	●						
	Chemische Bearbeitungsanlagen				●	●	●	●	●	
	Drahtverbinder			●	●					
	Testmaschine		●	●	●	●				
	Leiterplatten-Bohrmaschine			●	●	●	●	●		
	Bestückungsautomat			●	●	●	●	●		
	3D-Messmaschine		●	●	●					
Bildbearbeitungssystem		●	●	●						
Spritzgießmaschine							●	●	●	
Bürogerät						●	●	●	●	

Axiale Steifigkeit von Kugelgewindetrieben

Im Vergleich zu anderen Vorschubsystemen ist die axiale Steifigkeit eines Kugelgewindetriebs abhängig von der Position der Mutter innerhalb des Hubweges. Bei größeren Axialbelastungen beeinflusst die axiale Steifigkeit der Gewindespindel direkt die Positioniergenauigkeit. Daher muss die Axialsteifigkeit entsprechend ausgelegt sein. (A15-43 bis A15-46).

Beispiel: Positionierabweichung aufgrund der axialen Steifigkeit der Spindel bei einer vertikalen Transporteinrichtung



[Bedingungen]

Werkstückgewicht: 1.000 N; Tischgewicht: 500 N

Verwendeter Kugelgewindetrieb: Typ BNF2512-2,5 (Kerndurchmesser der Gewindespindel $d_c = 21,9$ mm)

Hubweg: 600 mm ($L = 100$ mm bis 700 mm)

Endenlagerung: fest - los

[Betrachtung]

Die axiale Steifigkeit zwischen $L = 100$ mm und $L = 700$ mm ist allein abhängig von der axialen Steifigkeit der Gewindespindel.

Daher ist die Positionierabweichung aufgrund der axialen Steifigkeit des Vorschubsystems gleich der Differenz der axialen Einfederung der Spindel zwischen $L = 100$ mm und $L = 700$ mm.

[Axiale Steifigkeit der Gewindespindel (siehe A 15-43 und A 15-44)]

$$K_s = \frac{A \times E}{1.000 \cdot L} = \frac{376,5 \times 2,06 \times 10^5}{1.000 \times L} = \frac{77,6 \times 10^3}{L}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d c^2 = \frac{\pi}{4} \times 21,9^2 = 376,5 \text{ mm}^2$$

$$E = 2,06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

(1) Bei $L = 100 \text{ mm}$

$$K_{s1} = \frac{77,6 \times 10^3}{100} = 776 \text{ N/}\mu\text{m}$$

(2) Bei $L = 700 \text{ mm}$

$$K_{s2} = \frac{77,6 \times 10^3}{700} = 111 \text{ N/}\mu\text{m}$$

[Axiale Einfederung aufgrund der axialen Steifigkeit der Gewindespindel]

(1) Bei $L = 100 \text{ mm}$

$$\delta_1 = \frac{F a}{K_{s1}} = \frac{1000 + 500}{776} = 1,9 \text{ }\mu\text{m}$$

(2) Bei $L = 700 \text{ mm}$

$$\delta_2 = \frac{F a}{K_{s2}} = \frac{1000 + 500}{111} = 13,5 \text{ }\mu\text{m}$$

[Positionierabweichung aufgrund der axialen Steifigkeit des Vorschubsystems]

$$\begin{aligned} \text{Positioniergenauigkeit} &= \delta_1 - \delta_2 = 1,9 - 13,5 \\ &= -11,6 \text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

Bei der gegebenen axialen Steifigkeit des Vorschubsystems ergibt sich demzufolge eine Positionierabweichung von $11,6 \text{ }\mu\text{m}$.

Thermische Nachgiebigkeit bei Wärmeentwicklung

Erhöht sich die Temperatur der Gewindespindel während des Betriebs, dehnt sich die Spindel aus und die Positioniergenauigkeit nimmt ab. Die Ausdehnung und Verkürzung der Gewindespindel kann mit folgender Formel (42) bestimmt werden:

$$\Delta l = \rho \times \Delta t \times l \quad \dots\dots(42)$$

Δl	: Ausdehnung/Verkürzung der Gewindespindel in axialer Richtung	(mm)
ρ	: Längenausdehnungskoeffizient	($12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Δt	: Temperaturänderung der Gewindespindel	($^{\circ}\text{C}$)
l	: Effektive Gewindelänge	(mm)

Danach verlängert sich die Gewindespindel bei 1°C Temperaturerhöhung um $12 \mu\text{m}$ auf 1 m Länge. Je höher die Drehzahl, umso größer die Wärmeentwicklung und damit auch die Positionierabweichung. Wird hohe Präzision verlangt, müssen daher Maßnahmen gegen die Wärmeentwicklung unternommen werden.

[Maßnahmen gegen Wärmeentwicklung]

● Minimierung der Wärmeentwicklung

- Die Vorspannung des Kugelgewindetriebs und der Stützlager ist möglichst gering zu halten.
- Die Spindelsteigung so groß wie möglich auswählen, und die Drehzahl vermindern.
- Geeigneten Schmierstoff einsetzen. (Siehe Schmierzubehör auf **A24-2**.)
- Kühlung des Gewindespindelumfangs durch Luft oder ein Schmiermittel.

● Vermeidung der Wärmeentwicklung

- Negativen Soll-Zielpunkt für die Steigung des Kugelgewindetriebs auswählen. Normalerweise wird ein negativer Soll-Zielpunkt der Steigung gewählt, in der Annahme, dass die Wärmeentwicklung 2°C bis 5°C beträgt.
($-0,02 \text{ mm}$ bis $-0,06 \text{ mm/m}$)
- Es empfiehlt sich die Endenlagerung fest - fest. (Siehe Abb. 10 auf **A15-29**.)

Einfederung während des Betriebs

Die Steigungsgenauigkeit ist gleich der Positioniergenauigkeit an der Längsachse des Kugelgewindetriebs. Normalerweise wird aber eine Genauigkeit für bestimmte Positionen verlangt, die in horizontaler oder vertikaler Richtung zur Längsachse des Gewindetriebs liegen. Daher beeinflusst die Einfederung während des Betriebs die Positioniergenauigkeit.

Die Einfederung in vertikaler Richtung zum Kugelgewindetrieb (das Kippen) oder in horizontaler Richtung (das Gieren) üben den größten Einfluss auf die Positioniergenauigkeit aus.

Daher muss unter dem Aspekt der Einfederung während des Betriebs (Genauigkeit bezüglich Kippen, Gieren usw.) die Distanz zwischen der Längsachse des Gewindetriebs und der Position, für die die Positioniergenauigkeit entscheidend ist, berücksichtigt werden.

Positionierabweichungen aufgrund von Kippen und Gieren können mit folgender Formel (43) ermittelt werden:

$$A = \ell \times \sin\theta \dots\dots(43)$$

A: Positioniergenauigkeit durch Kippen (oder Gieren) (mm)

ℓ : Vertikaler oder horizontaler Abstand zur Längsachse des Kugelgewindetriebs (mm) (siehe Abb. 16)

θ : Winkelversatz (°)

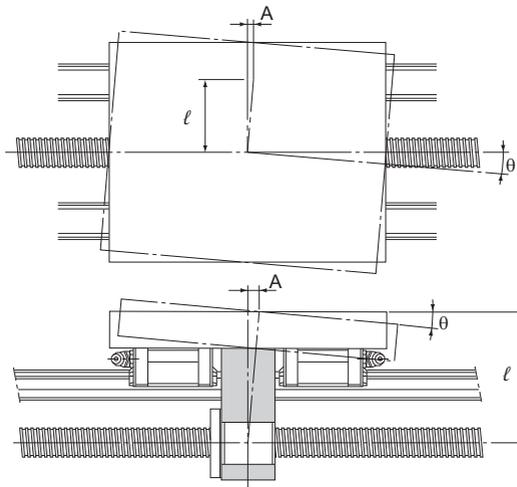


Abb. 16