



Technische Information

Bearbeitungsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen

Produktivität und Genauigkeit sind entscheidende Wettbewerbsaspekte von Werkzeugmaschinen. Schnelle Wechsel der Einsatzbedingungen von Werkzeugmaschinen erschweren jedoch Produktivitäts- und Genauigkeitssteigerungen erheblich. So müssen in der Teilefertigung immer kleinere Losgrößen wirtschaftlich und genau gefertigt werden. In der Luft- und Raumfahrt ist höchste Zerspanleistung beim Schruppen gefordert, während im anschließenden Schlichtprozess mit sehr hoher Genauigkeit gefräst werden muss. Beim Fräsen hochwertiger Formen sind große Zerspanraten beim Schruppen und eine makellose Oberflächenqualität als Schlichtergebnis erforderlich. Gleichzeitig werden aber höchste Bahnvorschübe benötigt, um die notwendigen feinen Bahnabstände mit vertretbaren Bearbeitungszeiten fertigen zu können.

Im Hinblick auf stark wechselnde Einsatzbedingungen in der Fertigung gewinnt die thermische Genauigkeit von Werkzeugmaschinen immer mehr an Bedeutung. Besonders bei kleinen Fertigungslosen und damit ständig wechselnden Maschinenaufträgen kann kein thermisch stabiler Zustand erreicht werden. Gleichzeitig gewinnt aber die Genauigkeit des ersten Werkstücks eine große Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von Fertigungsaufträgen. Ständige Wechsel zwischen Bohren, Schruppen und Schlichten verstärken die Schwankungen im thermischen Zustand einer Werkzeugmaschine. Während der Schruppbearbeitung steigt die Frätleistung auf Werte oberhalb von 80 % an, beim Schlichten werden Werte unterhalb von 10 % erreicht. Die zunehmenden Beschleunigungen und Vorschubgeschwindigkeiten sind verantwortlich für die Erwärmung der Kugelumlaufspindeln in den linearen Vorschubantrieben. Daher spielt die Positionserfassung in den Vorschubantrieben eine zentrale Rolle bei der Stabilisierung des thermischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen.

Thermische Stabilität von Werkzeugmaschinen

Lösungen zur Vermeidung thermisch bedingter Maßabweichungen an Werkstücken rücken stärker denn je in den Fokus des Werkzeugmaschinenbaus. Aktive Kühlungen, symmetrisch aufgebaute Maschinenstrukturen und Temperaturmessungen sind heute bereits gängige Maßnahmen.

Eine wesentliche Quelle thermischer Verlagerungen sind die Vorschubachsen auf Basis von Kugelgewindespindeln. Abhängig von den Vorschubgeschwindigkeiten und -kräften können sich die Temperaturverteilungen auf den Kugelgewindespindeln sehr schnell ändern. Die dabei entstehenden Längenänderungen (typisch: 100 $\mu\text{m}/\text{m}$ innerhalb von 20 min) können auf Werkzeugmaschinen ohne Längenmessgeräte zu signifikanten Fehlern am Werkstück führen.

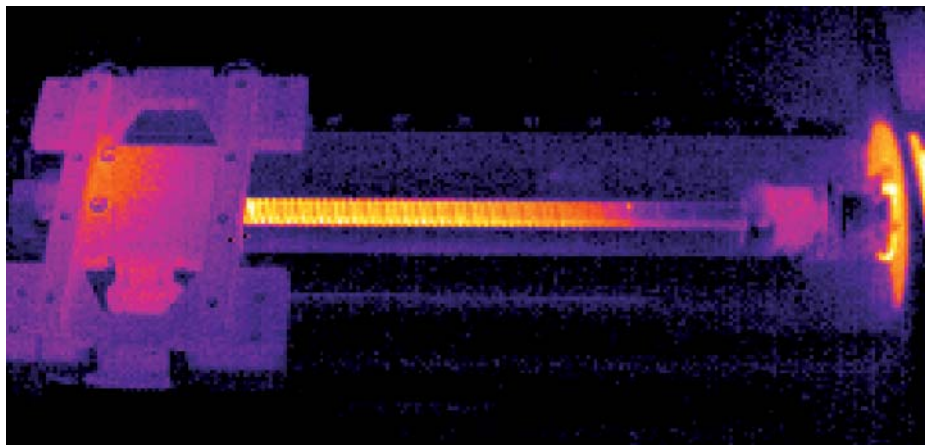


Abbildung 1 Erwärmung eines Kugelgewindetriebes beim Abzeilen mit einem mittleren Vorschub von 10 m/min. Die Thermografie-Aufnahme zeigt Temperaturen von 25 °C bis 40 °C.

Positionserfassung an Vorschubantrieben

Die Position einer NC-Vorschubachse lässt sich grundsätzlich über die Kugelgewindespindel in Verbindung mit einem Drehgeber oder über ein Längenmessgerät erfassen. Wird die Antriebsposition anhand der Steigung des Kugelgewindetriebs in Verbindung mit einem Drehgeber ermittelt (Abbildung 2 oben), so übt der Kugelgewindetrieb eine Doppelfunktion aus: Als Antriebssystem muss er große Kräfte übertragen, in der Eigenschaft als positionsbestimmende Komponente aber werden hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Spindelsteigung erwartet. Die Positionsregelschleife umfasst jedoch lediglich den Drehgeber. Da verschleiß- und temperaturbedingte Veränderungen in der Antriebsmechanik nicht kompensiert werden können, spricht man in diesem Fall von einem Betrieb im Semiclosed Loop. Positionsfehler der Antriebe werden unausweichlich und können die Werkstückqualität erheblich beeinflussen.

Wird ein Längenmessgerät zur Erfassung der Schlittenposition verwendet (Abbildung 2 unten), so umfasst die Positionsregelschleife die komplette Vorschubmechanik. Man spricht deshalb von einem Betrieb im Closed Loop. Spiel und Ungenauigkeiten in den Übertragungselementen der Maschine haben keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Positionserfassung. Die Genauigkeit der Messung hängt praktisch nur von der Präzision und dem Einbauort des Längenmessgerätes ab.

Diese grundlegende Betrachtung für Linearachsen gilt gleichermaßen für Rundachsen. Auch hier lässt sich die Position über die Getriebeuntersetzung in Verbindung mit einem Drehgeber am Motor oder über ein hochgenaues Winkelmessgerät an der Maschinenachse erfassen. Bei der Verwendung von Winkelmessgeräten werden deutlich höhere Genauigkeiten und Reproduzierbarkeiten erzielt.

Zusatzmaßnahmen im Semiclosed Loop

Kugelgewindespindeln werden gelegentlich hohl gebohrt und von innen gekühlt, um eine Erwärmung der Spindeln und der umliegenden Gestellbauteile zu verhindern. Im Semiclosed Loop hängt die Positioniergenauigkeit bedingt durch die Temperaturdehnung des Gewindetriebs von der schnellveränderlichen Temperatur des Kühlmediums ab. Bereits mit einer Temperaturerhöhung von 1 Kelvin ergeben sich auf

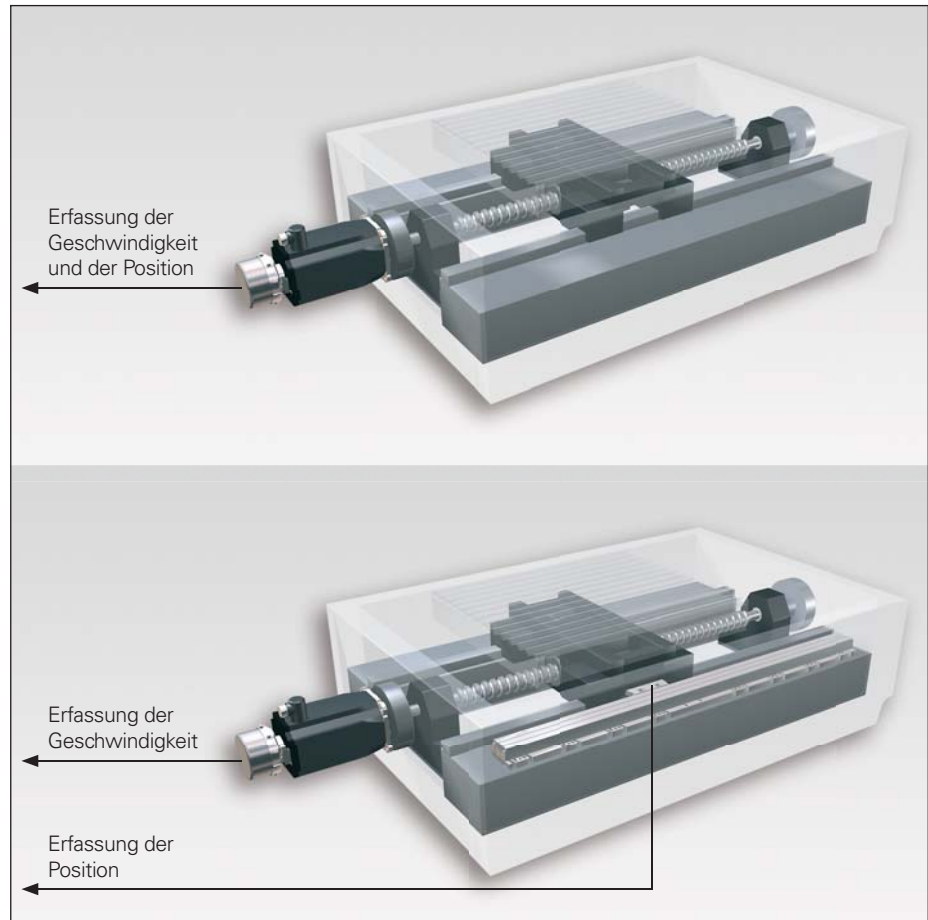


Abbildung 2 Positionserfassung im Semiclosed Loop (oben) und im Closed Loop (unten)

einem Verfahrbereich von 1 m Positionierfehler bis 10 μm . Mit der Forderung nach Temperaturschwankungen deutlich unterhalb von 1 Kelvin sind übliche Kühlmechanismen jedoch schnell überfordert.

Bei Antrieben im Semiclosed Loop wird vereinzelt die Temperaturdehnung der Kugelgewindetriebe über ein Modell in der Steuerung angenähert. Da das Temperaturprofil im Betrieb nur schwer messbar ist und darüber hinaus von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängt (Verschleißzustand der Kugelumlaufmutter, Vorschub, Bearbeitungskräfte, genutzter Verfahrbereich etc.), können mit diesem Verfahren erhebliche Restfehler bis zu 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ auftreten.

Zur Versteifung der Antriebsmechanik werden Kugelgewindetriebe gelegentlich an beiden Enden mit Festlagern versehen. Die

Dehnung infolge lokaler Erwärmung lässt sich jedoch auch bei sehr steifer Auslegung der Lager nicht verhindern. Die entstehenden Kräfte sind erheblich. Sie verformen auch steifste Lageranordnungen und können sogar Gestellbauteile verbiegen. Durch mechanische Verspannungen ändert sich zudem das Reibungsverhalten des Antriebs, was sich nachteilig auf die Bahngenauigkeit der Maschine auswirkt. Aufgrund der genannten Einschränkungen sind die vorgestellten Zusatzmaßnahmen in Bezug auf die erreichbare Antriebsgenauigkeit nicht mit dem Closed Loop Betrieb über Längenmessgeräte vergleichbar. Darüber hinaus können die Auswirkungen von verschleißbedingten Änderungen der Vorspannung oder elastischen Deformationen der Antriebsmechanik mit den Zusatzmaßnahmen zum Semiclosed Loop nicht kompensiert werden.

