

o. Prof. Dr.-Ing. G. Spur
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik TU Berlin

Stellverhalten einer pneumatischen Korrekturereinrichtung für die Werkzeugzustellung

Dr.-Ing. U. Heisel

1. Allgemeines

Die Genauigkeit spanend gefertigter Werkstücke hängt davon ab, wie genau die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück ausgeführt wird. Treten infolge von Störbewegungen Abweichungen von der idealen Relativbewegung auf, bilden sich diese auf dem Werkstück als Maß-, Form- und Lagefehler ab. Störbewegungen werden im Fertigungssystem Werkzeugmaschine durch

- statische Verformungen,
- dynamische Verformungen,
- thermische Verformungen,
- Verschleiß und
- geometrische Fehler

nervorgerufen [1]. Der am gefertigten Werkstück auftretende Fehler darf die durch die vorgegebene Toleranz festgelegten Grenzen nicht übersteigen, um Ausschuß oder Nacharbeit zu vermeiden. Wenn die Ursachen für Störbewegungen beim Fertigungsablauf nicht verhindert werden können, muß für den Ausgleich der entstehenden Fehler gesorgt werden.

2. Funktionsweise der Stelleinrichtung

In der industriellen Fertigung werden zum Ausgleich von Störeinflüssen selbsttätige Korrektursysteme eingesetzt, deren Aufbau und Funktionsweise wesentlich von der Konzeption der Werkzeugmaschine, der Art der Steuerung und der Fertigungsaufgabe abhängig sind [2, 3].

Für konventionelle, d. h. handbediente und mechanisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, die im allgemeinen nicht über Einrichtungen für die selbsttätige Maßkor-

rektur verfügen, aber auch für numerisch gesteuerte Maschinen ist es gegebenenfalls erforderlich, zusätzlich geeignete Stelleinrichtungen zu installieren. Das Prinzip einer universell einsetzbaren Stelleinrichtung für die Maßkorrektur ist in Bild 1 dargestellt.

Die Ansteuerung dieses Systems erfolgt pneumatisch-hydraulisch. Die Funktionsweise basiert wie bei einer Reihe weiterer Stelleinrichtungen mit anderer Ansteuerung darauf, daß das Werkzeug oder der Werkzeughalter als steife Feder ausgeführt ist. Zum Zwecke der Kompensation wird entgegengesetzt zur Störbewegung zugestellt.

Maßgebend für das Stell- und Betriebsverhalten federelastischer Stelleinrichtungen ist die Steifigkeit des Stellelements sowie des Stellantriebs. Für das in Bild 1 dargestellte Stellelement, das als Parallelfedergelenk anzusehen ist, gilt

$$c = b \left(\frac{h}{l}\right)^3 \cdot E,$$

wobei c die Steifigkeit einer Feder, b die Breite, h die Dicke sowie l die Länge (Höhe) der Feder und E der Elastizitätsmodul ist. Der Stellweg Δs ist direkt proportional der Kraft F , die zur Verformung des Stellelements aufgebracht werden muß. Somit ergibt sich der Stellweg zu

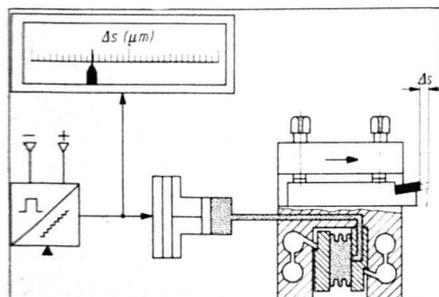
$$\Delta s = \frac{F}{2c}.$$

3. Stellverhalten

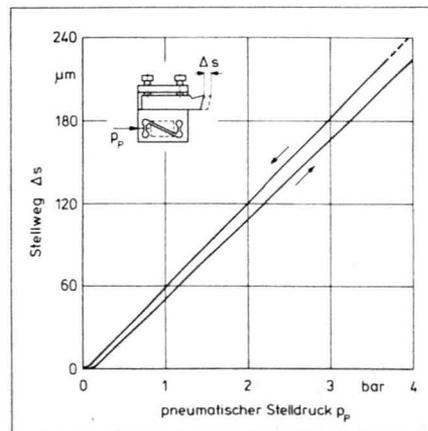
Die Kennlinie der pneumatisch-hydraulischen Stelleinrichtung nach Bild 1 weist im Bereich niedriger Stelldrücke Nichtlinearitäten auf, die mit Verlusten, insbesondere Reibverlusten, im Ansteuersystem erklärt werden können (Bild 2). Diese bewirken ferner eine Hysterese. Sie kann sich jedoch nur dann nachteilig auswirken, wenn der auszugleichende Störvektor unstetig ist oder eine Richtungs-umkehr in seinem zeitlichen Verlauf aufweist.

Thermische Verformungen der Werkzeugmaschine und Verschleiß am Werkzeug haben einen zeitlichen Verlauf, der im wesentlichen stetig ist. Wiederholte Fertigungsabläufe in kurzen Zeitintervallen erlauben ein sukzessives Betätigen der Stelleinrichtung jeweils vor dem letzten Schnitt. Große Bearbeitungszeiten, die z. B. beim Fertigdrehen einer langen Welle auftreten, machen die kontinuierliche Werkzeugzustellung erforderlich, um Riefen auf der Oberfläche der Werkstücke zu vermeiden. Die Reproduzierbarkeit der zu realisierenden Zustellung ist dabei zu beachten (Bild 3).

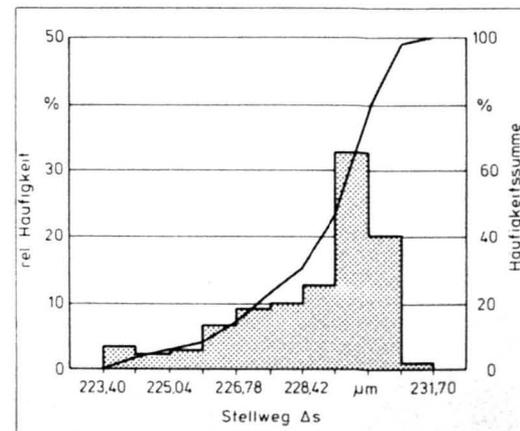
Bei Betätigung der Stelleinrichtung muß die Haftreibung im Druckwandler des Ansteuersystems überwunden werden. Für verschiedene Stelldruckänderungsgeschwindigkeiten ergibt sich eine proportionale Stellgeschwindigkeit (Bild 4). Die Regressionsgerade verläuft dabei nicht durch den Koordinatenursprung. Aus dem



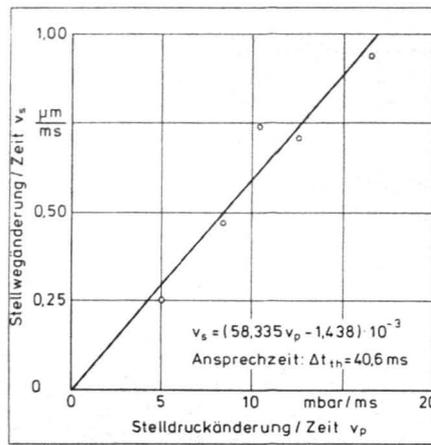
1 Schema einer pneumatisch-hydraulischen Stelleinrichtung für die Maßkorrektur



2 Kennlinie einer pneumatisch-hydraulischen Stelleinrichtung



3 Reproduzierbarkeit der maximalen Auslenkung



4 Stellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Stelldruckänderungsgeschwindigkeit

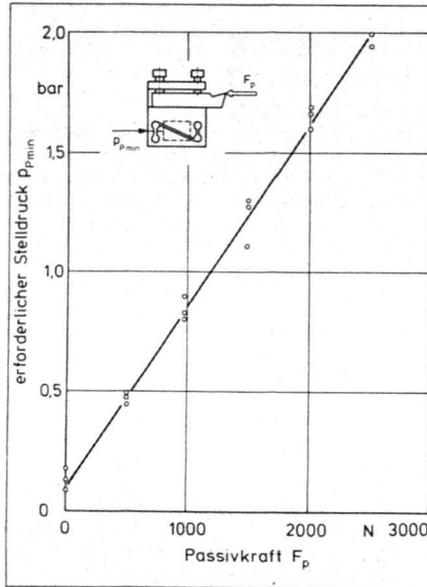
Verhältnis der Nullstelle zum Ordinaten-schnittpunkt errechnet sich im untersuchten Fall die theoretische Ansprechzeit der Stelleinrichtung zu $t_{th} = 40,6$ ms. Dies stimmt für unterschiedliche Stelldruckänderungsgeschwindigkeiten mit dem experimentell ermittelten Wert von etwa 45 ms überein.

Im Betrieb unterliegt die Stelleinrichtung den am Werkzeug wirksamen Zerspankraftkomponenten. Dabei muß insbesondere die durch die Komponente in Stellrichtung verursachte Auslenkung bei Betätigung der Stelleinrichtung überwunden werden. Bild 5 zeigt an einem Beispiel den für die Betätigung mindestens erforderlichen Stelldruck in Abhängigkeit von einer wirksamen Kraftkomponente.

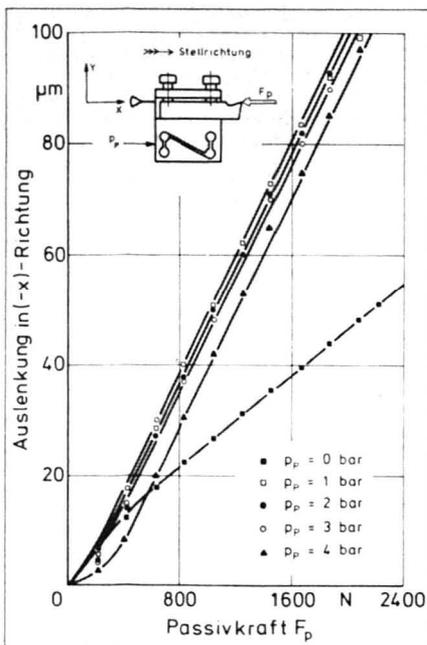
In den Bildern 6 bis 8 ist die Nachgiebigkeit der untersuchten Stelleinrichtung mit dem Stelldruck als Parameter dargestellt. Lediglich im drucklosen Ausgangszustand ist der Einfluß des pneumatischen Ansteuersystems auf die gesamte Nachgiebigkeit ohne Bedeutung. Im ausgelegten Zustand wirkt sich auch die Nachgiebigkeit des pneumatischen Systems aus. Der sich ergebende Parameter ist jedoch von untergeordneter Bedeutung, wenn das Korrektursystem in der vom Hersteller vorgeschriebenen Weise mit handelsüblichen Druckschläuchen installiert wird.

4. Zusammenfassung

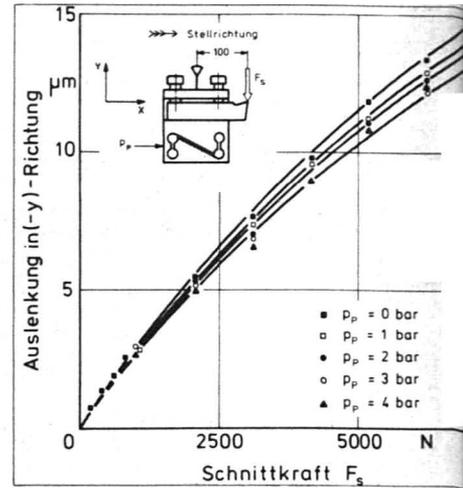
Die am Werkstück auftretenden Abweichungen von der Soll-Geometrie können mit Hilfe universell einsetzbarer Korrektur-einrichtungen ausgeglichen werden. Die Funktionsweise der Korrektur-einrichtungen basiert darauf, daß das Werkzeug oder der Werkzeughalter als steifes Federsystem ausgebildet ist und in Richtung der Werkzeugzustellung elastisch verformt werden kann. Die für die Verformung erforderliche Kraft wird pneumatisch-hydraulisch erzeugt. Die Druck-Weg-Abhängigkeit ist linear. Die aus der drucklosen Ausgangslage mit gleichem Stelldruck erzeugte Auslenkung ist in engen Grenzen reproduzierbar. Das Ansprechverhalten der Stelleinrichtung ist von der Druckänderungsgeschwindigkeit unabhängig. Gegenüber den am Werkzeug wirkenden Zerspankraftkomponenten ist die Stelleinrichtung nachgiebig. Die durch eine in Stellrichtung wirkende Kraftkomponente erzeugte Auslenkung muß bei Betätigung der Stelleinrichtung überwunden werden.



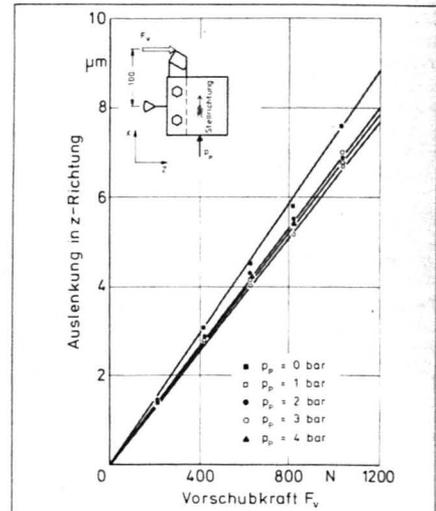
5 Erforderlicher Stelldruck zur Überwindung der Auslenkung einer pneumatisch-hydraulischen Stelleinrichtung gegen eine Kraft



6 Nachgiebigkeit in Richtung der X-Koordinate einer pneumatisch-hydraulischen Stelleinrichtung



7 Nachgiebigkeit in Richtung der Y-Koordinate



8 Nachgiebigkeit in Richtung der Z-Koordinate

Die Steifigkeit des pneumatischen Systems ist gegenüber der Steifigkeit der Stelleinrichtung von untergeordneter Bedeutung. Die Nachgiebigkeit der Stelleinrichtung ist in der drucklosen Ausgangslage am geringsten.

Schrifttum

1. Spur, G.: Optimierung des Fertigungssystems Werkzeugmaschine. München, Wien: Hanser Verlag 1972.
2. Dannemann, W.; Eysel, D.: Pneumatische Sonderwerkzeuge für die spanende Fertigung. Maschinenmarkt 79 (1973) H. 16, S. 317-319.
3. Schütz, W.: Vor- und Fertigbearbeitung von Lkw-Pleuelstangen. Werkstatt und Betrieb 111 (1978) H. 3, S. 147-149.
4. Masing, W.: Der beherrschte Fertigungsprozeß. wt-Z. ind. Fert. 67 (1977) H. 5, S. 269-272.
5. Bruins, D. H.; Dräger, H.-H.: Werkzeuge und Werkzeugmaschinen für die spanende Metallbearbeitung. Teil 1. München, Wien: Hanser Verlag 1975.