

MAGNETOELASTISCHE KRAFTMESSKÖPFE FÜR ADAPTIVE REGLER VON DREHMASCHINEN

Von

K. FOCK

Lehrstuhl für Prozeßregelung, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 25. Juli, 1976

Vorgelegt von Prof. Dr. A. FRIGYES

Einleitung

Der Kostenaufwand eines durch Spanabhebung gefertigten Werkstückes wird grundsätzlich durch die Spanabhebungskosten bestimmt. Da diese Kosten in erster Annäherung dem Zeitaufwand proportional sind, hat die Verminderung desselben auch die Abnahme der Kosten zur Folge.

Diese Tatsache bestimmte in jüngster Zeit die Entwicklung und verhältnismäßig große Verbreitung der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen verschiedenen Automatisierungsniveaus. Durch die immer hochgradigere Dienste leistenden numerisch gesteuerten Systeme (NC Systeme) ist der Nebenzeitanteil der Herstellungszeit der Werkstücke stark zurückgegangen, was die Anwendung und Weiterentwicklung solcher Systeme begründet.

Über die Reduzierung der Nebenzeiten hinaus bleibt nur die Minderung der Hauptzeit der Spanabhebung als Möglichkeit:

Bei Vorbereitung der für die herkömmlichen und NC-Werkzeugmaschinen ausgearbeiteten technologischen Pläne hat der Fachmann die Abhebungsdaten so zu wählen, daß sie innerhalb einer Werkstückserie für ein jedes Stück eine „sichere“ Bearbeitung ermöglichen. Diese Sicherheit kann das Optimum der Bearbeitungszeit und der Kosten theoretisch nicht ergeben, und zwar wegen folgender Ursachen:

Unter Beachtung der Maßstreuung des Rohlings ist es erwünscht, den Einschneidepunkt des Werkzeuges so festzustellen, daß er in jedem Falle außerhalb des Streubereichs liegt, um einen Werkzeugbruch zu vermeiden. Ebendeshalb wird sich das Werkzeug während eines beträchtlichen Anteils der Annäherung zum Werkstück nicht im Schnellvorschub sondern im Arbeitsvorschub befinden.

Aus der Inhomogenität der Oberfläche und des Stoffes der Werkstücke folgt, daß die (genaue) Bestimmung der Daten der Schnittgeschwindigkeit, des Vorschubs, der Schnitttiefe und der Schnitteinteilung durch die Anforderung der erwähnten „sicheren“ Bearbeitung motiviert wird.

Die Lösung dieser Probleme bzw. die Vorbereitung eines an das jeweils zu bearbeitende Stück angepaßten technologischen Planes war mit den bisher angewendeten Methoden nicht möglich.

Zur Verwirklichung einer solchen Technologie sollte man nämlich zahlreiche, die Spanabhebung bestimmende Kennwerte ständig verfolgen und messen, und von ihren Änderungen abhängig zur Erreichung der zur wirtschaftlichen Bearbeitung notwendigen Verhältnisse eingreifen. Ein Regelungssystem ist also erforderlich.

Die Arbeit eines solchen Systems setzt die Kenntnis der Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten derjenigen Kennwerte voraus, die den Spanabhebungsprozess bestimmen. All dies ist aber bis heute noch nicht eindeutig geklärt. Die Ausführung eines das Optimum des Spanabhebungsprozesses ermöglichenden Systems beansprucht großen Kostenaufwand, der durch die erreichbaren Ersparungen nicht immer kompensiert werden kann.

Aufgrund dieser bestimmenden Faktoren wurde ein solches Regelungssystem entwickelt, das durch die sogenannte „Teiloptimierung“ nach dem voraus bestimmten Grenzwert einer einzigen Bearbeitungscharakteristik den Prozeß der Bearbeitung regelt.

Die Entwicklungsbemühungen der nahen Vergangenheit wurden vor allem auf das Gebiet solcher Grenzwertregelungen konzentriert; auch hier mit besonderer Rücksicht auf das Drehen. Unter den Gründen dieser Entwicklungsarbeit ist nicht nur der Kostenfaktor wesentlich, sondern auch die Tatsache, daß die in der Strategie angewendeten Annäherungen die Realität am treuesten in der Bearbeitung mit der Drehmaschine decken.

Die Aufgabe besteht aus folgenden wesentlichen Schritten:

1. *Auswählen der Bearbeitungscharakteristik:*

Beim Drehen können sie folgende sein:

- die auf das Werkzeug wirkende Kraft,
- die auf dem Werkzeug auftretende Zerspanungswärme,
- der Werkzeugverschleiß,
- die aus der Schnittkraft sich ergebende Deformation.

2. *Messung des gewählten Bearbeitungskennwertes, Herstellung des Kontrollsignals für den Regler.*

Aus Gründen der Ausführbarkeit, der Arbeitssicherheit und der Wirtschaftlichkeit ist es zweckmäßig, die auf das Werkzeug wirkende Kraft zu messen. Die folgenden Meßmethoden sind möglich:

Mittelbare Methode:

- Messung der Werkzeugdeformation durch Dehnungsmeßstreifen
- Folgerung aus der Leistung des Hauptgetriebes auf die Schnittkraft.

Unmittelbare Methode:

- Messung der Kraft durch den unter das Schneidplättchen gelegten Kraftmesser.
- Messung der Schnittkraft durch einen piezoelektrischen oder magnetoelastischen Kraftmesser, der an irgendwelchem Punkt der Einspannungseinheit gelegt wird.

Für die Revolverdrehmaschine ERI 400—AC der Csepel Werkzeugmaschinenfabrik sowie für die Achsendrehmaschine EV—630 der Werkzeugmaschinenwerke bot sich aus technischen und wirtschaftlichen Gründen die letztere Methode mit einem magnetoelastischen Kraftmesser als am meisten geeignet an.

3. Wahl des entsprechenden Steuerungs- und Regelungssystems

Aufgrund vorheriger günstiger Erfahrungen haben wir die obenerwähnten Unternehmen für die Weiterentwicklung der Steuereinheit NC—800 der Firma BOSCH (Masing) entschieden.

Die Aufgabe des Instituts für Prozeßregelung an der Technischen Universität Budapest war es, den zur Messung der Schnittkraft dienenden Kraftmesser und seinen Meßkreis zu entwickeln.

Der magnetoelastische Kraftmesser

Unter Beachtung der erwähnten Anforderungen war das Ziel, eine Kraftmeßzelle zu entwickeln, die bei äußerst kleiner Höhe für die Kraftmesser ähnlichen Typs eine ungewöhnlich große spezifische Belastung, dauerhaft hohe Temperaturen, dynamische Kraftwirkungen, Schwingungen, statische und dynamische Überlastungen gut erträgt, leicht eingebaut wird, für Störungen wenig empfindlich und billig ist, und dabei über günstige kurze und langfristige Stabilität und große Empfindlichkeit verfügt.

Aufgrund von Daten aus der Literatur sowie eigener Erfahrungen erschien es zweckmäßig, anstatt der lamellierten und geklebten Ausführung einen Meßkopf aus Massivmaterial zu verfertigen.

Die einfache Ausführung und der Einbau des Meßkopfes mit geschlossenem magnetischem Kreis und Selbstinduktivitätsänderung ist im fertiggebauten Zustande in Abb. 1 zu sehen. Seine Meßgrenze ist 2,5 Mp.

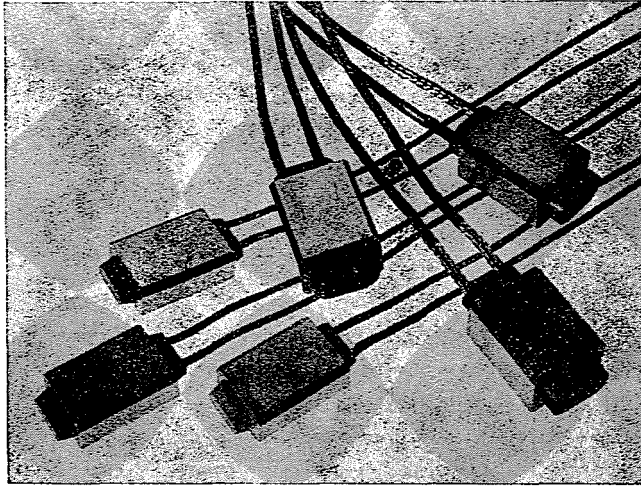


Fig. 1. Magnetoelastische Kraftmeßelemente

Als Werkstoff des Meßumformers wurde die Eisen und Kobalt enthaltende Legierung Permendur wegen ihrer hochgradigen elastischen Linearität, großen spezifischen mechanischen Belastbarkeit, hohen Sättigungsinduktion, günstigen Eigenschaften in Temperaturabhängigkeit und guten Bearbeitbarkeit gewählt.

Mit seinen geringen Abmessungen läßt sich der Meßumformer in das Kraftübertragungssystem leicht einbauen.

Das Schema der Abb. 2 zeigt den Einbau in die Maschine ERI-400-ACC. Aus der Skizze ist zu sehen, daß die horizontale Komponente der auf der schrägen Auflagerebene auftretenden Kraft auf die Meßelemente übertragen

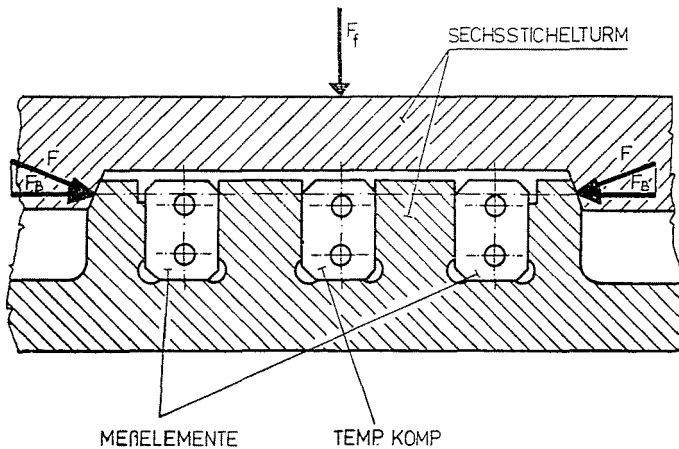


Fig. 2. Einbau der Kraftmeßelemente in die Maschine

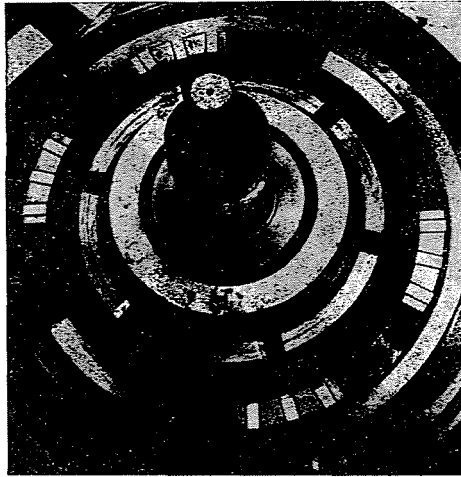


Fig. 3. Der feste Teil des Revolverkopfes mit den Kraftmeßelementen

wird. Die geometrischen Dimensionen des eingespannten Teils sichern, daß 90% der horizontalen Kraftkomponente auf die Meßzelle wirkt.

Der feste Teil des Revolverkopfes mit 6 Werkzeugen ist in Abb. 3 veranschaulicht.

Die Ausgangsspannung der angewendeten und in Abb. 4 dargestellten unabgeglichenen Brückenschaltung ändert sich proportional der auf die Zellen wirkenden Kraft. Durch diese Brückenschaltung wurde es möglich, mehrere Meßumformer identischer Temperatur mit einem einzigen temperaturkompensierenden Element zu verbinden.

Es erübrigt sich, an der Meßstelle ergänzende Stromkreiselemente unterzubringen, die Erdung kann an der Meßstelle gelöst werden, die Impedanz der Meßumformer ist in jedem Fall kleiner als 10 Ohm, wodurch eine hochgradige Unempfindlichkeit für Störungen sichergestellt wird.

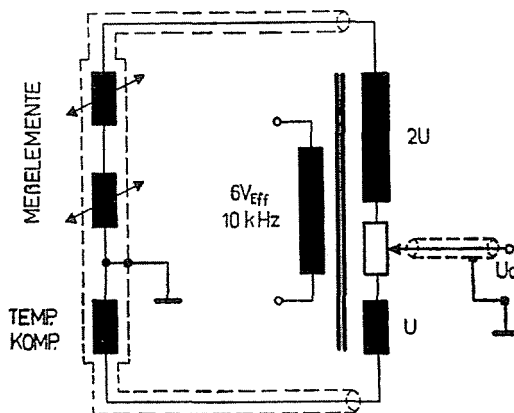


Fig. 4. Unabgeglichene Brückenschaltung

Rolle der magnetoelastischen Kraftmesser in dem Regelungssystem

Die obenerwähnten Regler versehen folgende Aufgaben:

- Sie halten die Schnittleistung auf einem konstanten Wert, wodurch die Lebensdauer des Werkzeuges länger wird,
- die Schnittleistung wird auf dem Nominalwert gehalten und dadurch die Maschine besser ausgenutzt,
- das Hauptgetriebe bzw. die Maschine wird vor Überlastung geschützt,
- beim „Leerlauf“ wird die Maschine auf dem maximalen (programmierten) Vorschub geschaltet.

Bei Bearbeitung mit der Drehmaschine ist die Nutzleistung (P) gleich dem Produkt der Hauptschnittkraft F_f und der Schnittgeschwindigkeit v :

$$P = F_f \cdot v \dots \dots \dots (1)$$

Die Hauptschnittkraft F_f läßt sich annähernd durch folgenden Zusammenhang feststellen:

$$F_f = k \cdot a \cdot s \dots \dots \dots (2)$$

wo: k = spezifischer Zerspanungswiderstand,

a = Schnitttiefe,

s = Vorschub je Umlauf.

Aus den zwei obigen Gleichungen kann festgestellt werden, daß bei gegebener Schnitttiefe die maximale Schnittleistung bei dem maximal zulässigen Wert der Hauptschnittkraft erreicht wird. Gleichung (2) weist darauf hin, daß bei der Bearbeitung eines gegebenen Stückes (wobei k und a gegeben und konstant sind) die Hauptschnittkraft durch den Vorschub beeinflußt werden kann.

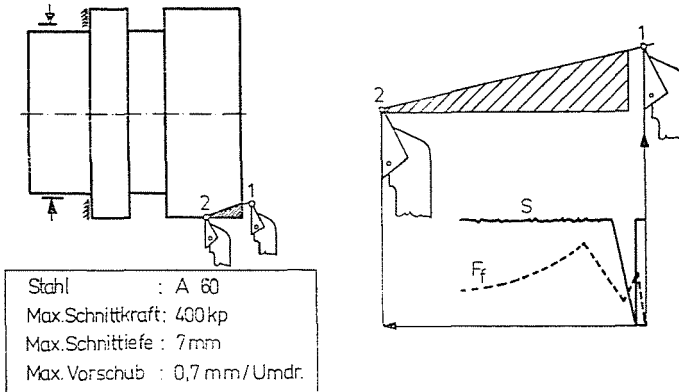
Zur Erreichung des gesetzten Zieles hatte man also einen Regelkreis zu bauen, der mittels Messung der Hauptschnittkraft den Wert des Vorschubes regelt, um maximale Leistung der Maschine zu erhalten.

Die folgenden Betriebsarten sind verwirklicht worden:

a) *Kontinuierliche Spanabhebung*: $F_f < 1,1 F_{f \max}$. Der Wert der im vorherigen Umlauf gemessenen maximalen Hauptschnittkraft wird mit dem Momentanwert F_f verglichen und der Vorschub geregelt. Die Integral-Zeitkonstante hängt von der Umlaufgeschwindigkeit des Hauptspindels ab.

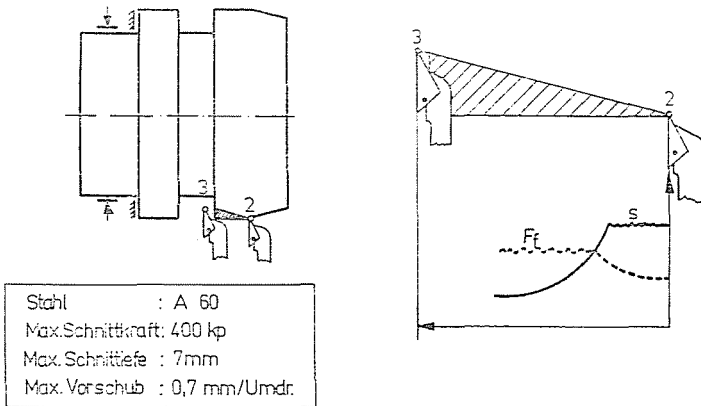
b) *Intermittente Bearbeitung*: $F_f > 1,1 F_{f \max}$. Wenn F_f 110% des programmierten Wertes überschreitet, wird der Vorschub unabhängig von dem Umlauf des Hauptspindels mit einer kleinen Zeitkonstante um 25% zurückgeregelt.

c) *Einschneiden* in den Werkstoff. Der Vorschub nimmt automatisch um 25% ab, steigt dann wieder bis 100% an.



Das Werkzeug tritt in den Werkstoff hinein
 Das Werkzeug stellt eine Kegelfläche mit
 abnehmender Schnitttiefe her.

Fig. 5/I. Geregelte Spanabhebung mit abnehmender Schnitttiefe

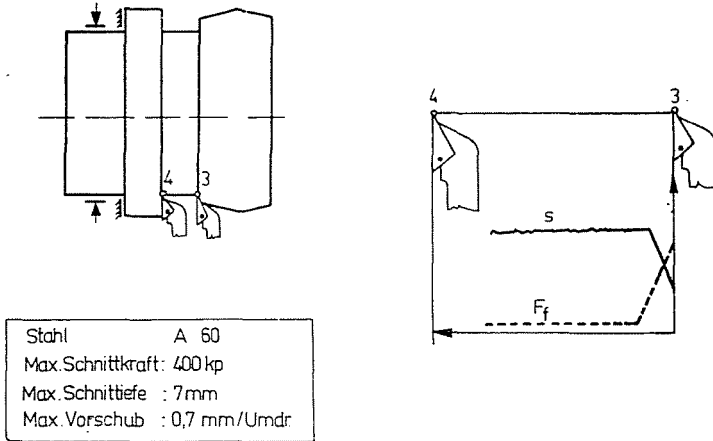


Das Werkzeug tritt in den Werkstoff hinein
 Das Werkzeug erzeugt eine Kegelfläche mit
 zunehmender Schnitttiefe
 Das Werkzeug tritt aus dem Werkstoff in die
 Luft heraus.

Fig. 5/II. Geregelte Spanabhebung mit zunehmender Schnitttiefe

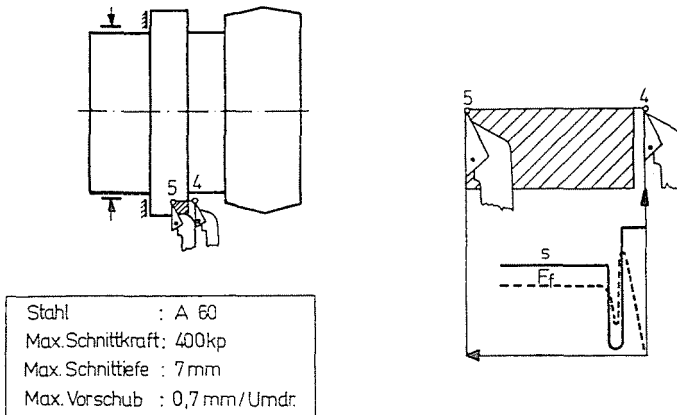
d) *Leerlauf*. Wenn während mindestens eines vollen Umlaufs $F < 10\%$, wird der Vorschub durch den Regler auf 100% geschaltet.

e) *Gefahrlage*: $F_f > 1,5 F_{f,max}$. Sofortiges Abstellen des Vorschubs, dann nach einem Schaltverzug Notausschaltung.



Das Werkzeug schneidet mit einem
 Querschnitt „0“

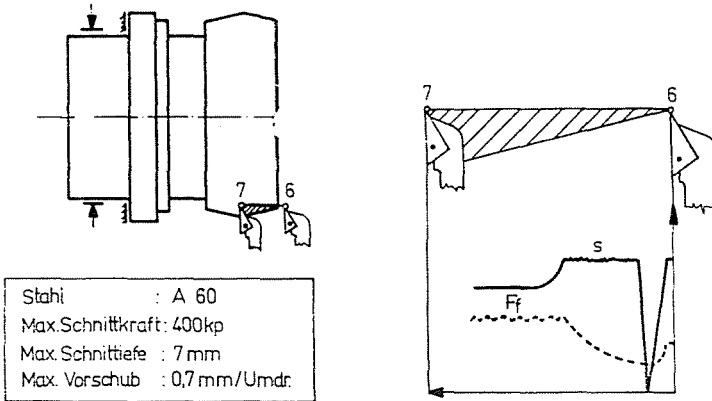
Fig. 5/III. Leerlauf



Das Werkzeug tritt in den Werkstoff hinein
 Das Werkzeug arbeitet mit einem konstanten
 Zerspanungsquerschnitt

Fig. 5/IV. Geregelte Spanabhebung mit konstanter Schnitttiefe

Abb. 5 zeigt die Änderungen des Vorschubs und der Schnittkraft während der spanabhebenden Bearbeitung eines Werkstückes auf der Drehmaschine. Aus den Bildern läßt sich die Arbeit des Regulationssystems gut beobachten.

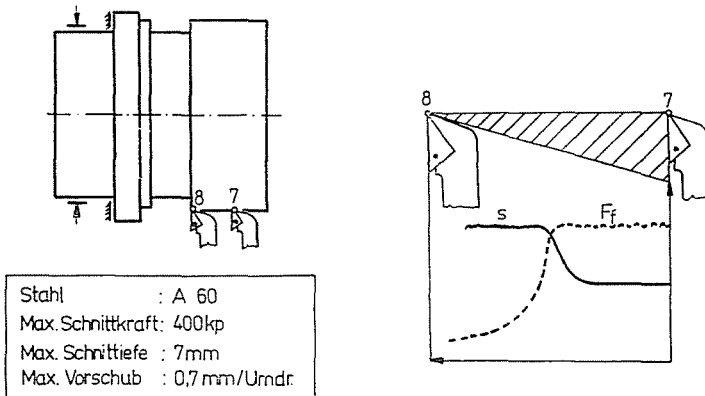


Das Werkzeug tritt in den Werkstoff hinein

Das Werkzeug arbeitet mit zunehmender

Umlaufgeschwindigkeit

Fig. 5/V. Geregelte Spanabhebung mit zunehmender Umlaufgeschwindigkeit



Das Werkzeug zerspannt mit abnehmender Schnitttiefe

Das Werkzeug tritt aus dem Werkstoff in die Luft

heraus

Fig. 5/VI. Geregelte Spanabhebung mit abnehmender Schnitttiefe

Zusammenfassung

Die Arbeit gibt einen Überblick über einen neu entwickelten Typ magnetoelastischer Kraftmeßköpfe und die Anwendung dieser Kraftmeßzellen in adaptiven Reglern von Drehbänken. Die mechanischen, magnetischen, magnetoelastischen und elektrischen Eigenschaften des magnetoelastischen Meßumformers werden dargelegt, mit besonderer Rücksicht auf die speziellen Anforderungen, die aus der Messung der Schnittkraft folgen. Es werden ferner die Anwendungsmöglichkeiten der Regelstrecke als Meßfühler der adaptiven Regler kurz betrachtet.

Literatur

1. DAHLE, O.: The Torductor and the Pressductor — Two Magnetic Stressgages of New Type, *ASEA Research*, 1958, 1, 45.
2. GIMANJUK, M. N.: „Magnyitouprugije datesiki v avtomatyke”, Kiev, USSR.
3. ÁDÁM, A.—BÁRSONY, A.—TÖRÖK, J.: Über ein magnetoelastisches Lagerdruck-Meßgerät, *Wiss. Zeitschrift der T. H. Karl-Marx-Stadt*, 1966, 8, 59.
4. BECKER, R.—DÖRING, W.: 1939, Ferromagnetismus, Berlin, Germany.
5. BOZORTH, R. M.: 1951, Ferromagnetismus, London, England.

Károly Fock, H-1521 Budapest