

Schlußwort

**EINE MICROPROZESSORSTEUERUNG FÜR DAS**

**CENTERLESS - DURCHGANGSSCHLEIFEN**

**DR. HORST NAHR**

**8530 NEUSTADT/AISCH**

**DR. H. NAHR GMBH**

**30.7.1980**

### Entwicklungsziel und Funktionsprinzip.

Das spitzenlose Durchgangsschleifen ist ein Fertigungsverfahren, das hohe Anforderungen an die Fertigungspräzision bei hohem Mengendurchsatz befriedigen kann. Es wird daher in der Massenfertigung überall dort eingesetzt, wo die Formgebung der Werkstücke dieses Verfahren zuläßt. Einige typische Anwendungsfälle sind Außen- und Innenringe von Wälzlagern, zylindrische Achsen und Wellen, Rollkörper von Ketten, sowie die Wälzkörper von Rollen- und Nadellagern.

Die Durchsatzrate ist nur begrenzt durch die maximale Zerspanleistung der Schleifscheibe, die in den letzten Jahren erheblich gesteigert werden konnte. Die Fertigungspräzision hingegen wird von mehreren Faktoren beeinflusst, von denen einige noch betrachtet werden sollen. Sie nimmt aber allgemein mit steigender Durchsatzrate ab.

Das Ziel dieser Entwicklung war, eine Prozeßsteuerung zu entwickeln, die diese gegenläufige Abhängigkeit überwindet, also die gewünschte hohe Fertigungspräzision auch bei den höchsten erzielbaren Durchsatzraten zu erreichen.

Der Material- und Signalfluß ist anhand von Fig. 1 dargestellt. Die Werkstücke werden von der Förderanlage strangförmig aufgereiht und haben beim Eintritt in die Maschine einen mittleren Durchmesser  $D_1$  und eine Durchmesserschwan-  
kung  $\Delta 1$ . Sie verlassen den Schleifspalt mit dem mittleren Maß  $D_2$  und der Schwankung  $\Delta 2$ . Es wird natürlich angestrebt, daß  $D_2$  gleich dem Sollmaß und  $\Delta 2$  gleich 0 ist.

Die Teile durchlaufen dann eine Meßstation, die aus räumlichen Gründen meist erst 0,5 bis 1 m hinter dem Schleifspalt angebracht werden kann, und passieren dann eine Sortierweiche.

Die Signale der Meßstation gelangen in die Steuerung, wo sie digitalisiert werden. Gemäß dem zugrundeliegenden Regelalgorithmus nimmt die Prozeßsteuerung

die Nachführung der Maschine vor, steuert die Sortierweiche und bedient die übrigen Hilfsfunktionen der Maschine.

### Meßstation.

Der Meßwertaufnehmer wandelt die mechanische Größe Weg in eine elektrische Größe (Spannung oder Strom) um. Er muß schnell, genau und unempfindlich gegen Verschmutzung sein. Zwei Verfahren sind anwendbar: Ein tastender Meßgeber mit einer Differentialdrossel als Wegaufnehmer und ein berührungsloser Geber nach dem Prinzip der Induktivitätsänderung durch einen variablen Luftspalt (NADYM-Geber). Die Meßzeitkonstante sollte in der Größenordnung 1 ms liegen, was im Falle des berührungslosen Gebers keine Schwierigkeit darstellt.

Die Meßgenauigkeit ist für die Gesamtgenauigkeit bestimmend und sollte daher deutlich besser als  $\pm 1 \mu$  sein. Störungen durch Schmutz (Schleifkorndurchmesser  $\sim 50 \mu$ ) werden von der Steuerung erkannt und eliminiert. Ist eine Längenmessung erwünscht, so ordnet man 2 Geber seitlich versetzt an und prüft auf Koinzidenz. Es ist ein Software-Modul vorhanden, das fehlertolerant in Bezug auf Einzelmessung ist.

### Maschineneigenschaften.

Von den quasistatischen Eigenschaften einer typischen Centerless-Maschine sind einige für die Steuerung und die Auslegung des Regelalgorithmus wichtig und werden hier kurz diskutiert. Die Rohteile treten mit einem Aufmaß  $D_1 - D_2$  in den Schleifspalt ein. Je nach Durchlaufgeschwindigkeit und Zerspanbedingungen üben sie dabei eine Kraft auf die Scheiben aus.

Diese Kraft ist am größten im Einlaufbereich, wo während der Grobbearbeitung die hauptsächliche Durchmesserabnahme erfolgt. Die Schleifnormalkraft erweitert den Schleifspalt gegen die elastische Gegenkraft der Maschine. Durch das räumliche Nebeneinander von Grob- und Feinbearbeitung teilt sich diese

Maßänderung auch denjenigen Werkstücken mit, die bereits die Feinbearbeitungszone auf der Auslaufseite erreicht haben und nun nicht mehr bis auf das Sollmaß fertigbearbeitet werden. Eine Schwanlung im Aufmaß 1 wird transformiert in eine Schwankung im Fertigmaß 2.

Schwankungen der Durchlaufgeschwindigkeit teilen sich ebenfalls dem Fertigmaß mit. Die Stranggeschwindigkeit einer Centerless-Maschine ist zwar im ungestörten Betrieb sehr gut konstant, in der Praxis treten jedoch immer wieder Strangstörungen auf, etwa in der Fördereinrichtung oder in der Strangführung. Auch das Aus- und Einschalten der Maschine ist in diesem Sinne eine Störung.

Jedes Abrichten der Schleifscheibe hat ebenfalls eine Maßabweichung zur Folge. Außer der trivialen Abweichung durch den geänderten Durchmesser der Scheibe entsteht noch eine allmähliche Maßänderung, da unmittelbar nach dem Abrichten andere Schnittbedingungen vorherrschen als nach längerem Betrieb.

Die übrigen quasistatischen Einflüsse, wie z. B. thermische Drift, sind langsam und werden automatisch von der Regelung kompensiert, während das dynamische Verhalten (Vibration) wegen der hohen Geschwindigkeit von den üblichen Zustellmechanismen nicht erfaßt werden können.

### Regelalgorithmus.

Der Regelalgorithmus, der der Maschinensteuerung zugrunde liegt, muß zwei Dinge besonders berücksichtigen:

Die Signale von der Meßstation sind immer von Störungen überlagert. Die Störungen können einer Abweichung von mehreren  $\mu\text{m}$  entsprechen.

Die Meßstation ist relativ weit hinter dem Schleifspalt angebracht. Vom Auftreten einer Maßabweichung bis zu deren Erfassung in der Meßstation vergeht eine Zeit, die je nach Stranggeschwindigkeit 1 bis 10 sec betragen kann. Diese große Totzeit führt normalerweise zum Auftreten von Regelschwingungen, wenn nicht die Rückführung extrem träge gemacht wird.

Die von der Meßstation kommenden Signale müssen zunächst aufbearbeitet werden. Dies geschieht zum Teil bereits in einem analogen Vorverstärker, hauptsächlich aber durch Softwareunterstützung. Im Falle der Längensignale wurde ein Programm-Modul erstellt, das die Redundanz der Meßstelle (2 Geber für nur 1 Längensignal) zur Fehlerkorrektur ausnützt. Tritt beim Durchgang eines Werkstücks ein Zeitversatz auf, so wird Größe und Vorzeichen zunächst gespeichert. Tritt anschließend wieder ein Teil korrekter Länge zwischen die Tastköpfe, so wird geprüft, ob damit der vorhergehende Zeitversatz bestätigt oder aufgehoben wird. Im einen Fall wird eine Fehlermeldung abgesetzt und die Sortierweiche betätigt, im anderen Falle nicht.

Die Längenmessung ist jedoch nur eine Hilfsfunktion zum Sortieren der Werkstücke. Da beim Schleifprozeß der Durchmesser bearbeitet wird, gilt dieser Größe auch die besondere Aufmerksamkeit. Daher wird eine reaktionsschnelle Durchmessersortierung durchgeführt, die z. B. auch einzelne zu dünne Nadeln erfaßt. Zum anderen wird eine sich einstellende Maßabweichung erfaßt und so rechtzeitig ausgeregelt, daß diese Abweichung im Normalfall innerhalb der Toleranzgrenze liegt.

Dazu baut sich der Rechner in seinem Arbeitsspeicher ein Abbild des realen Stranges auf. Ein Softwaremodul, die "Strangbuchhaltung", trägt die signifikanten Daten jedes Werkstücks ein zusammen mit Hinweisen über eventuelle Korrekturmaßnahmen. Der Rechner hat damit nicht nur die gegenwärtigen Meßdaten zur Verfügung, sondern auch die jüngste Vergangenheit. Er kann daher mittels einer Trendrechnung auf die Zukunft extrapolieren. Räumlich gesehen bedeutet das, daß er sich Informationen beschafft über den Strangbereich, der noch vor der Meßstation liegt, der z. B. gerade geschliffen wird. Er kann daher bei einer drohenden Maßabweichung rechtzeitig gegensteuern. Das ist natürlich nur gültig für stetige Änderungen. Abrupte Maßänderungen, wie sie etwa eine Strangstockung hervorruft, werden gesondert erfaßt und bearbeitet.

Die Programmteile Strangbuchhaltung und Trendrechnung werden beim Durchgang eines jeden Werkstückes bzw. nach jeweils 10 mm Strang abgearbeitet und sind in Assembler geschrieben.

Sie benötigen bei dem Rechner Z80 mit 2 MHz Taktfrequenz eine Rechenzeit von zusammen 3 ms, das entspricht bei einer Stranggeschwindigkeit von 500 mm/s einem Weg von 1,5 mm.

### Aufbau der Steuerung und praktischer Einsatz.

Die Bedientafel (Fig. 2) ist konventionell aufgebaut. Der Rechner tritt im Normalfall nicht in Erscheinung. Das Bedienungspersonal sieht sich daher einer "ganz normalen" Maschinensteuerung gegenüber. Nur wenn die Selbstdiagnoseprogramme aktiviert werden, tritt eine gewisse Kommunikation mit dem Rechner über Tastatur und LED-Anzeige auf.

Die Steuerung ist im Aufbau untergliedert in Zentraleinheit und Versorgungsteil.

In der Zentraleinheit sind alle Baugruppen untergebracht, die für den Funktionsablauf wesentlich sind, also CPU, Speicher, Zähler, Zeitgeber, sowie die analoge Signalaufbereitung und die Analog-Digital-Wandler.

Im Versorgungsteil sind neben der Stromversorgung diejenigen Baugruppen untergebracht, die die Anpassung an die Zielmaschine herstellen. Hier erfolgt auch die galvanische Trennung zwischen Steuerung und Maschine. Alle Signalleitungen, die zur Zentraleinheit führen, sind nochmals sorgfältig gefiltert und die Zentraleinheit ist durch ihren konstruktiven Aufbau gegen elektromagnetische Störungen geschützt.

Dieser Aufwand kommt der Betriebssicherheit unter den gegebenen rauen Umwelteinflüssen zugute. Anbau an die Maschine, Abgleich und Inbetriebnahme sind problemlos in 1 Arbeitstag zu erledigen. Die Steuerungen haben eine hohe Verfügbarkeit und dadurch kann der Gewinn an Fertigungsgenauigkeit und Materialdurchsatz auch wirklich in der Praxis realisiert werden.

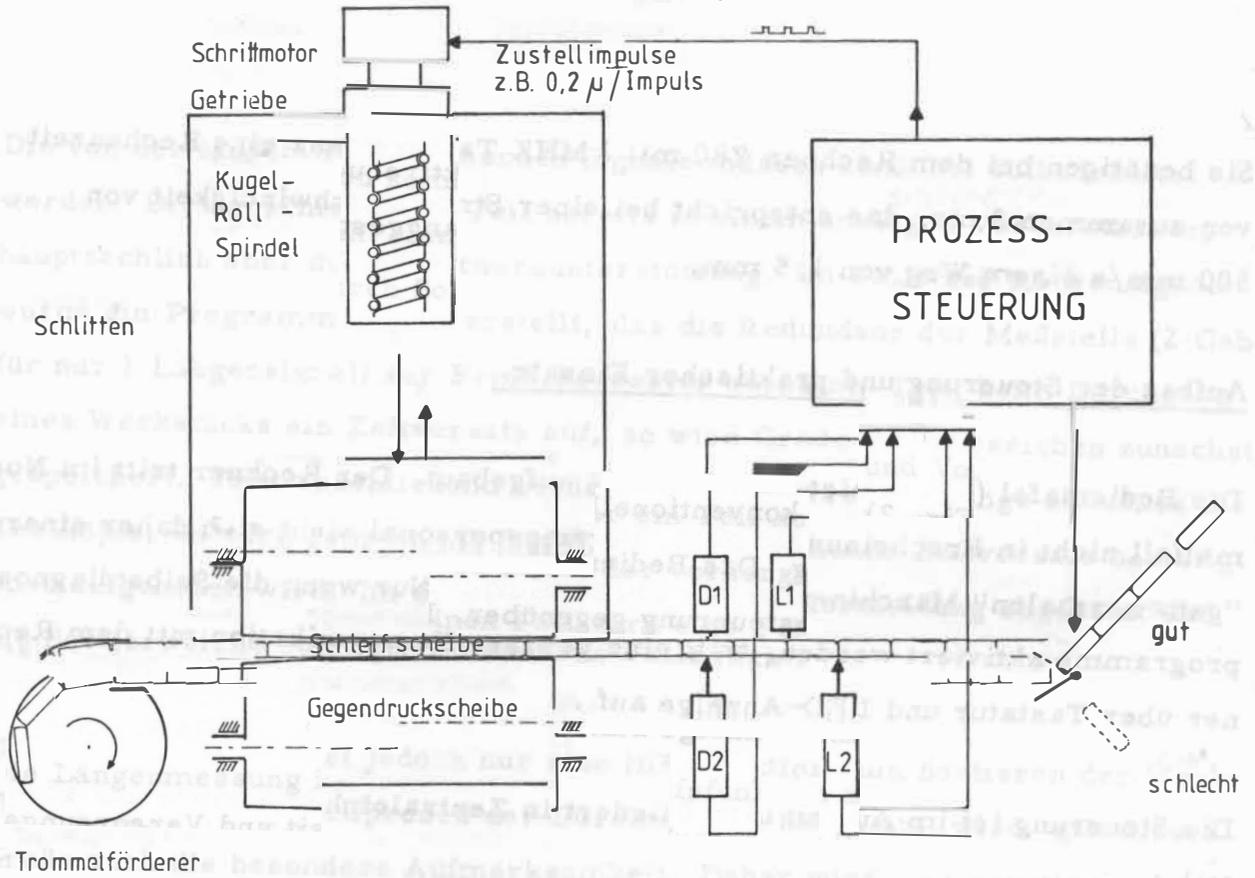


Fig. 1 Material- und Signalfluß an einer Centerless-

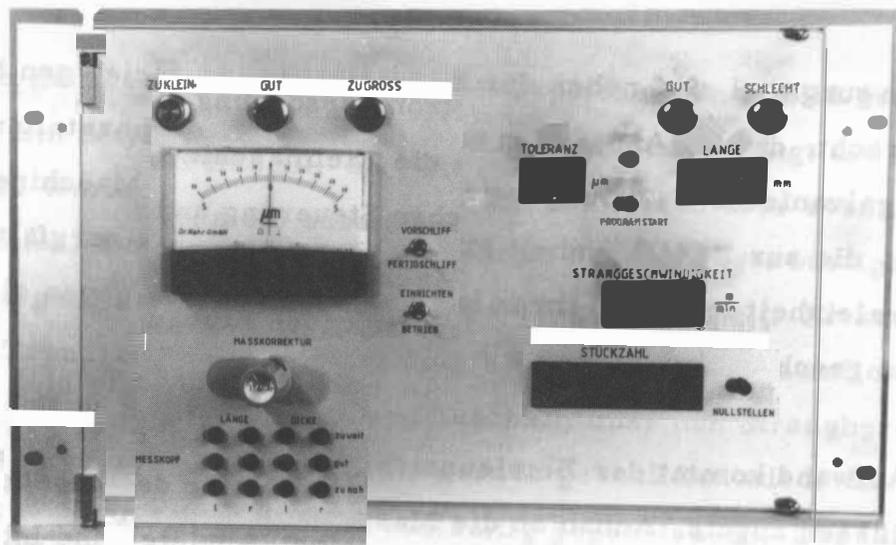


Fig. 2 Bedientafel einer ausgeführten Steuerung. Sie ist konventionell aufgebaut, der Rechner tritt im Normalbetrieb nicht in Erscheinung. Alle für Diagnosezwecke nötigen Bedienelemente sind bei geöffneter Bedientafel zugänglich.