

Automatische Werkzeugverschleiß- und -bruchüberwachung beim Bohren und Fräsen

Von Dr.-Ing. U. Heisel, Berlin

NC-Technik

DK 621.914.4.014

1 Einleitung

Die Automatisierung des Fertigungsablaufs erfordert auch die Substitution der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit durch entsprechende Funktionen technischer Systeme. Hierzu sind Überwachensensoren erforderlich, deren Signale steuerungstechnisch so ausgewertet werden können, daß mögliche Prozeßstörungen rasch erkennbar und ggf. ausgleichbar bzw. Folgeschäden an Werkstück und Bearbeitungsmaschine vermeidbar sind.

Häufige Schäden entstehen in der Zerspantechnik durch Werkzeugbruch infolge von kurzzeitiger Werkzeugüberlastung oder von langzeitigen Verschleißerscheinungen über die zulässigen Standgrenzen hinaus. Charakteristische Merkmale für das Eintreten dieser Ereignisse sind signifikante Änderungen der Zerspankraftverhältnisse. Zur Überwachung der Zerspankräfte in der industriellen Fertigung werden äquivalente Meßgrößen erfaßt und ausgewertet.

2 Meßprinzipien

2.1 Allgemeines

Eine Übersicht der Zuordnung von Meßgrößen der Prozeßüberwachung zu unterschiedlichen Meßprinzipien und -orten wurde von Müller-Gerbes und Scharf [1] gegeben. Dort wird von einer vergleichenden Untersuchung berichtet, die ein elektrisches Überwachsystem (Motorstrommessung) einem hydraulischen System gegenüberstellt. Das hydraulische Überwachsystem erfaßt die Axialkraftkomponenten beim Bohren, so daß über einen voreingestellten Höchstwert im hydraulischen System der Vorschubantrieb einer Bohrmaschine unterbrochen werden kann, bevor es zu einem Werkzeugbruch oder Maschinenschaden kommt.

Eine ähnliche Vorgehensweise gestattet das in Bild 1 gezeigte Sensorsystem. Durch die Wirkung axialer Kräfte, die vom Werkzeug und dessen Aufnahme auf die Spindellagerung einer Werkzeugmaschine übertragen werden, verformt sich ein mit Dehnungsmeßstreifen bestücktes Element, das die Wälzlager aufnimmt. Das mit Hilfe der in einer Brücke geschalteten Meßstreifen erzeugbare elektrische Signal ist ein

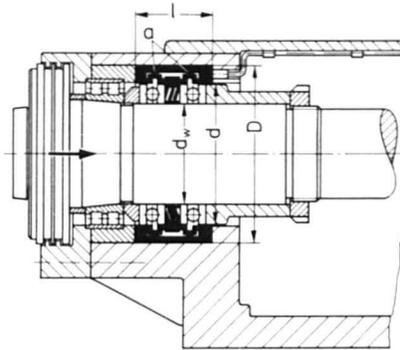


Bild 1. Sensorsystem zum Messen von Axialkraftkomponenten
a Dehnungsmeßstreifen, d Innendurchmesser und D Außendurchmesser des Dehnungsmeßstreifen-Elements, d_w Innendurchmesser der Wälzlager, C Länge (Breite) des Dehnungsmeßstreifen-Elements

Maß für die axialen Kraftänderungen und somit steuerungstechnisch verwertbar. Ein besonderer Vorteil dieses Systems ist die hohe Meßempfindlichkeit und -auflösung, die auch das Überwachen kleiner Werkzeuge bzw. kleiner Kräfte in Richtung der axialen Komponente zuläßt. Das Sensorsystem erfordert jedoch konstruktive Anpaßmaßnahmen an den Umbauteilen für die Spindellagerung und führt darüber hinaus zu Änderungen der Steifigkeit des Lagersystems.

Eine ähnliche Meßmethode – die Anwendung von Kraftmeßlagern – vermeidet diese Nachteile und erlaubt ferner, bis zu drei voneinander getrennte Kraftkomponenten selbst für kleine Werkzeuge, wie beispielsweise einen Bohrer 3 mm Dmr., zu erfassen [2, 3]. Das System kann daher für die Prozeßüberwachung von Zerspanvorgängen über das Bohren hinaus, also auch für das Fräsen, Drehen oder Schleifen, angewandt werden. Es zeichnet sich damit in besonderer Weise durch eine außerordentliche Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten aus, ohne daß besondere Vorkehrungen für die Installation getroffen bzw. Steifigkeitsänderungen in Kauf genommen werden müssen.

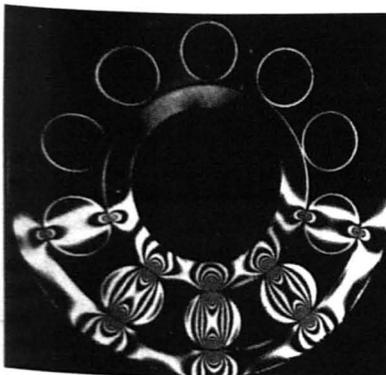


Bild 2. Spannungsoptische Aufnahme eines vorgespannten Wälzlagers
(Werkfoto: SKF Kugellagerfabriken GmbH, Schweinfurt)

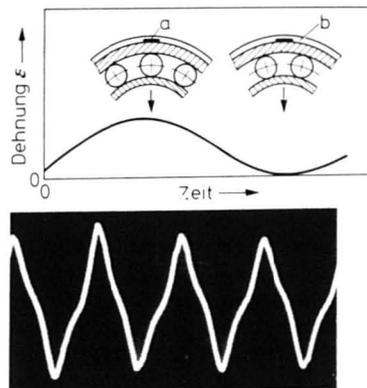


Bild 3. Prinzipdarstellung (oben) und Oszillogramm (unten) des Brückenausgangssignals eines Kraftmeßlagers
a Dehnungsmeßstreifen, b Nut (Werkzeichnung: Promess GmbH, Berlin)



Bild 4. Schräg angestelltes Rillenkugellager als Kraftmeßlager präpariert
(Werkfoto: Fritz Werner Werkzeugmaschinen, DIAG, Berlin)

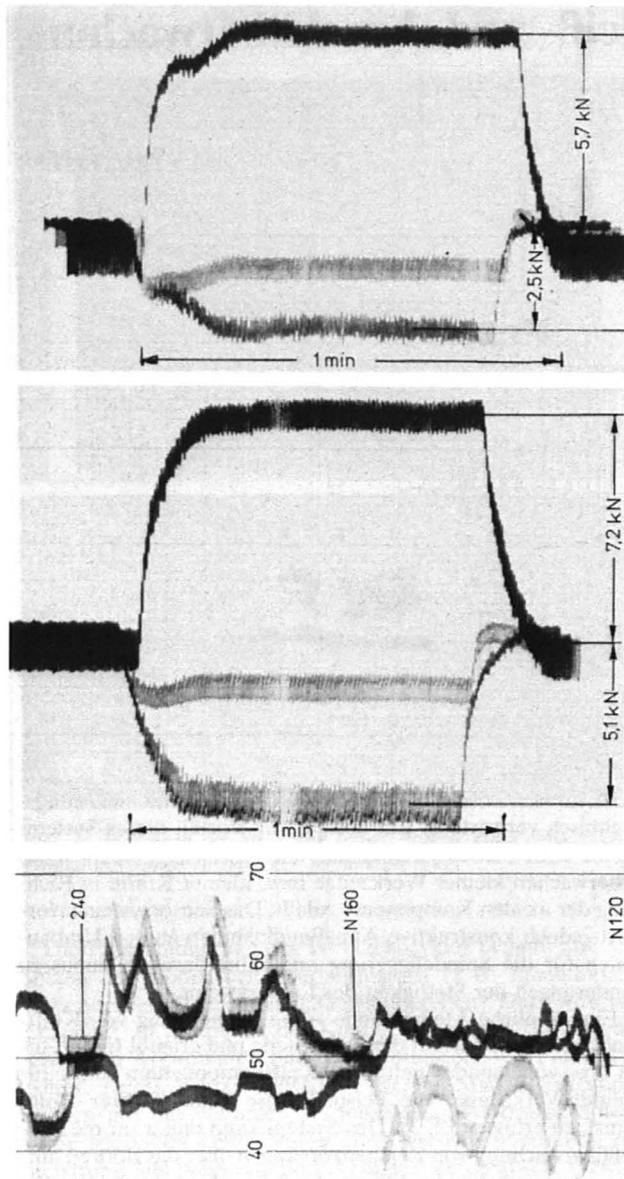


Bild 5. Kraftkomponenten beim Fräsen (oben eines scharfen Fräasers, Mitte eines stumpfen Fräasers, unten beim Stirnfräsen eines Getriebekastens)

(Werkfoto: Fritz Werner Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin)

2.2 Funktionsweise des Kraftmeßlagers

Als Kraftmeßlager werden Standard-Wälzlager bezeichnet, die für Kraftmessungen präpariert sind [4 bis 6]. Die Kraftmessung wird durch Dehnungsmeßstreifen ermöglicht, die in eine nachträglich im Außenring eingeschliffene Nut geklebt sind. Die Funktionsweise beruht darauf, daß durch Überrollen der Wälzkörper in den Lagerungen Verformungen verursacht werden. Bild 2 zeigt die spannungsoptische Aufnahme eines vorgespannten Wälzlagers, die besonders deutlich die Verformungszonen im Kontaktbereich der Wälzkörper erkennen läßt. Die Verformung überträgt sich auf die Meßgitter der im Nutgrund applizierten Dehnungsmeßstreifen und erzeugt eine Widerstandsänderung, die mit einer Brückenschaltung ausgewertet wird.

Bei laufenden Kraftmeßlagern entsteht am Brückenausgang eine Wechselspannung (Bild 3), deren Amplitude proportional zur angreifenden Kraft ist. Die Frequenz ändert sich mit der Drehzahl der Spindel. Das Meßsignal ist ein Maß für die auf das Lager einwirkenden äußeren und inneren Kräfte.

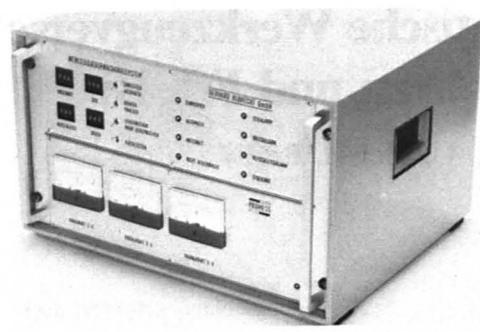


Bild 6. Auswertelektronik eines Werkzeugüberwachsystems für das Bohren und Fräsen

(Werkfoto: Fritz Werner Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin)

Innere Lagerkräfte, wie Vorspannungskräfte, Fliehkräfte und hydrodynamische Kräfte, wirken auf die Meßstellen in gleicher Richtung. Durch Differenzbildung der Signale zweier gegenüberliegender Meßstellen werden Gleichanteile kompensiert. Als Resultierende entsteht eine Ausgangsspannung, die sich linear mit der äußeren Kraft ändert [7, 8].

3 Prozeßüberwachung beim Bohren und Fräsen

Der Einsatz von Kraftmeßlagern zur Prozeßüberwachung im automatischen Fertigungsablauf ist seit mehreren Jahren Gegenstand verschiedener Untersuchungen. So wird von Sprato [9] über ein mikroprozessorgesteuertes Überwachsystem für die Bohrbearbeitung berichtet. Die dort geschilderte Auswerteschaltung verarbeitet den Mittelwert des Axialkraftanstiegs als Folge des Hauptschneidenverschleißes an Bohrwerkzeugen so, daß das Erreichen der Verschleißgrenze und Werkzeugbruch erkannt und daraus entsprechende steuerungstechnische Maßnahmen abgeleitet werden können. Kriterium für die Grenzwertdefinition ist ein zum Anfangswert mit scharfem Werkzeug festgelegter prozentualer Faktor, der in der genannten Veröffentlichung für das Bohren mit HSS-Wendelbohrern 10 mm Dmr. in Stahl St 50 bei $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ und $s = 0,19 \text{ mm}$ mit 60% angegeben wird. Dieser Faktor muß für unterschiedliche Zerspanparameter zum Bestimmen der Belastungsgrenzen experimentell ermittelt und tabellarisch festgehalten werden. Systematische Untersuchungen für das Bohren liegen verschiedentlich vor [10 bis 12]. Vergleichbare neuere Untersuchungen für das Fräsen sind dagegen bisher noch nicht bekannt geworden.

Für ein universell einsetzbares Werkzeugüberwachsystem müssen daher besonders in diesem Bereich weitere Erfahrungen gesammelt werden. Von ersten derartigen Bestrebungen wird von Lechler [13] am Beispiel der Entwicklung eines mikroprozessorgesteuerten Werkzeugüberwachsystems für Bearbeitungszentren berichtet.

Mit dem in Bild 4 gezeigten Kraftmeßlager, das in einem Bearbeitungszentrum, Typ WERNER TC 1 eingebaut ist, wurden verschiedene Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Verschleiß und Änderung der Zerspankraftkomponenten durchgeführt. Bild 5 zeigt oben und in der Mitte stellvertretend für viele Untersuchungen, die Zerspankräfte beim Bearbeiten eines Werkstücks mit scharfem und mit stumpfem Fräser. Unten gibt dieses Bild den Verlauf der Kraftkomponenten während der Bearbeitung eines Getriebekastens mit einem Stirnfräser wieder.

Die Kraftmeßsignale werden mit einer mikroprozessorgesteuerten Auswerteeinheit (Bild 6) zur Prozeßüberwachung verarbeitet. Die Vorgehensweise besteht darin, daß die Anfangswerte mit scharfen Werkzeugen im Einrichtbetrieb gespeichert und als Sollwerte unter Berücksichtigung vorwählba-

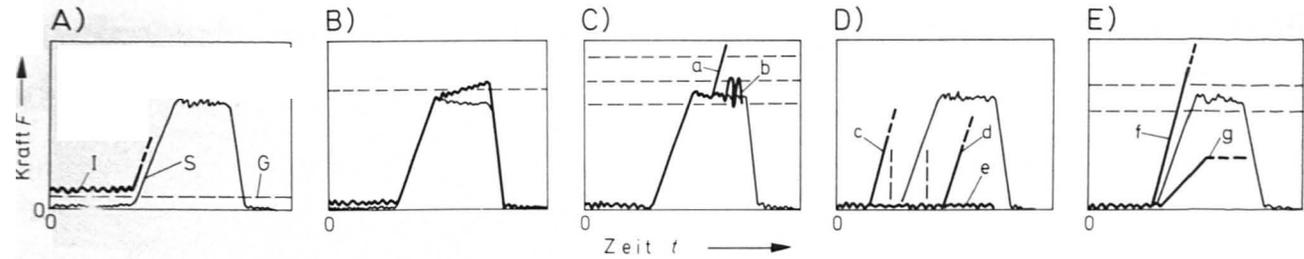


Bild 7. Funktionen des in Bild 6 gezeigten Werkzeugüberwachungssystems

A) Kraft- und Drehfrequenzüberwachung der Spindellagerung, B) Werkzeugverschleißüberwachung, C) Werkzeugbrucherkennung, D- und E) Anschnittüberwachung

a Werkzeugbruch, b Schneidenausbruch, c Werkzeug zu lang bzw. Durchmesser zu groß oder Vorschubgeschwindigkeit zu groß, d Werkzeug zu kurz bzw. Durchmesser zu klein oder Vorschubgeschwindigkeit zu niedrig, e kein Werkzeug vorhanden oder Vorschubstart fehlt, f Kraftanstieg zu groß, g Kraftanstieg zu klein, G Grenzwert, I Istwert, S Sollwert

rer Grenzwerte während der gesamten Bearbeitung mit den jeweiligen Istwerten verglichen werden. Damit kann, wie in Bild 7 schematisch dargestellt, zwischen Werkzeugverschleiß, -bruch und Schneidenausbruch unterschieden werden. Ferner ist neben einer integrierten Lagerüberwachung auch die Kontrolle des Anschnitts möglich, so daß falsche Werkzeuge oder veränderte Schnittbedingungen unmittelbar nach dem Auftreten des Werkzeugs auf dem Werkstück erkannt werden können.

Mit Ausnahme des über einen längeren Zeitraum ablaufenden Werkzeugverschleißes wird die Maschine bei Eintreten der genannten Störfälle jeweils sofort stillgesetzt. Der Störfall wird am Überwachgerät akustisch signalisiert und angezeigt. Im Verschleißfalle wird die Maschine erst nach Ende des Schnitts stillgesetzt, wodurch unerwünschte Rückzugsriefen vermieden werden sollen. Dies wird dadurch erreicht, daß hierbei die Kraftsignale nicht unmittelbar verglichen werden, sondern das Integral der Kräfte über der Schnittzeit betrachtet wird. Damit ist eine Überschreitung der Standzeitgrenze erst am Schnittende erkennbar.

Verschlossene oder gebrochene Werkzeuge können nach dem Stillsetzen der Maschine automatisch ausgetauscht werden. In beiden Fällen werden Ersatzwerkzeuge gesucht und in die Arbeitsspindel eingewechselt. Zum Vermeiden eines erneuten Einwechsels der für die unmittelbare Wiederverwendung unbrauchbar gewordenen Werkzeuge werden die modifizierten Werkzeugkennwerte in der Steuerung abgelegt, nachdem die alten gelöscht worden sind.

Steht nicht genügend Speicherkapazität für Ersatzwerkzeuge im Werkzeugmagazin zur Verfügung, müssen Prioritäten gesetzt werden. Auch können bestimmte Bearbeitungszyklen unüberwacht bleiben. Dafür wird man sich zweckmäßig dann entscheiden, wenn beispielsweise Schruppbearbeitungen an Gußwerkstücken mit unterschiedlichem Aufmaß vorzunehmen sind und ein häufiges Ansprechen des Zeitalarms infolge zeitlich und in ihrer Anstiegscharakteristik sehr differierender Anschnitte vermieden werden soll.

Ferner läßt sich das vorgestellte System in einer weiterentwickelten Version für die adaptive Regelung des Zerspanprozesses, wie beispielsweise zum Verhindern von Rattererscheinungen, durch gezieltes Ändern der Vorschub- und Schnittgeschwindigkeitswerte anwenden. Damit steht für die automatische Werkzeugüberwachung ein Gerät zur Verfügung, das hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten und besonders der Anforderungen der automatisierten Fertigung eine praxisgerechte Entwicklung ist.

4 Zusammenfassung

Die Automatisierung des Fertigungsablaufs bedingt Einrichtungen zur Werkzeugüberwachung. Als Kenngröße für den Prozeßzustand dienen Meßwerte, die den Zerspankraftkomponenten proportional sind. Sie können mit Hilfe von Kraftmeßlagern erfaßt und steuerungstechnisch ausgewertet werden. Vorteilhaft dabei ist, daß keine konstruktive Änderung der Lagerumbauteile erforderlich ist und keine Verringerung der Lagersteifigkeit in Kauf genommen werden muß. Erkannt werden können Werkzeugverschleiß, Werkzeugbruch und Schneidenausbruch sowie Anschnittstörungen selbst für kleine Werkzeuge, wie beispielsweise einen Bohrer 3 mm Dmr. Die Störfälle führen über eine mikroprozessorgesteuerte Auswerteelektronik zum Stillsetzen der Maschine. Untersuchungen für das Bohren und Fräsen wurden unter Praxisbedingungen an einem Bearbeitungszentrum durchgeführt.

Literatur

- Müller-Gerbes, H.; Scharf, A.: Hydraulische Überwachung für Kurzbohrer mit Hartmetall-Wendelschneidplatten beim Bohren bis ins Volle. *Werkst. u. Betr.* 113 (1980) 10, S. 679-681
- Lechler, G.: Kraftmeßspindel und Kraftmeßlager - ein neues Meßsystem zur Prozeßsteuerung. *Ind.-Anz.* 102 (1980) 34, S. 18-19
- Lechler, G.: Automatisierung mit überwachten Werkzeugen. *Der Konstrukteur.* (1981) 1 u. 2, S. 30-32
- Fraser, D.: Das Kraftmeßlager, ein Hilfsmittel zum Erkennen betriebs- und verfahrenbedingter Kräfte in Maschinen. *Wälzlager-technische Sonderschriften (WTS) Nr. 740720 der SKF Kugellagerfabriken GmbH, Schweinfurt*
- Kaiser, G.: Messen von Laufgenauigkeit und Lagervorspannung an wälzgelagerten Werkzeugmaschinen. *wt-Z. ind. Fertigung* 61 (1971) 12, S. 747-750
- Münich, H.: Wälzlagerforschung im Dienste der Walztechnik. *Wälzlager-technische Mitteilungen Nr. 82 der SKF Kugellagerfabriken GmbH, Schweinfurt*
- Lechler, G.: Untersuchungen der thermischen Eigenschaften von Hauptspindellagerungen und Geradführungen an Werkzeugmaschinen. *Produktionstechnik Berlin*, Bd. 2. Carl Hanser Verlag, München u. Wien 1978
- Kraftmeßeinrichtung. Deutsche Patentanmeldungen: P 2746937.0 und P 2911479.2-52; Anmelder: G. Lechler
- Sprato, E.: Automatisierte Werkzeugüberwachung bei der Bohrbearbeitung. *Ind.-Anz.* 103 (1981) 5, S. 30-31
- Ernst, P.: Indirekte Verschleißmessung beim Bohren mit Wendelbohrern. *Ind.-Anz.* 98 (1976) 28, S. 465-466
- Sack, W.: Prozeßüberwachung des Bohrvorgangs durch Vorschubkraftmessung. *Dissertation TH Darmstadt Darmstadt, 1978*
- Masuha, J. R.: Torsionssteifigkeit und Bohrverhalten von Spiralbohrern mit Sonderprofilen. *Produktionstechnik Berlin*, Bd. 16. Carl Hanser Verlag, München u. Wien 1980
- Lechler, G.: Werkzeugüberwachung mit dem Kraftmeßlager. *Schweizer Masch. Mkt.* (1980) 5, S. 40-41