

Maschinenintegrierte Qualitätssicherung bei der Bohr- und Fräsbearbeitung in Flexiblen Fertigungssystemen

Bei fast jedem Fachgespräch über flexible Automatisierungstechnik werden auch die Probleme der Werkstück-, Werkzeug- und Prozeßüberwachung behandelt. Ausgehend von der menschlichen Wahrnehmungsfähigkeit, mit deren Hilfe der Bedienungsmann an der Maschine auf der Grundlage seiner Fachkenntnisse in den Fertigungsprozeß einzugreifen vermag, stellen sich für den Automatikbetrieb verschiedene Aufgabenbereiche. Dazu gehört

einerseits die grundsätzliche Sicherung des ordnungsgemäßen Funktionsablaufs, aber andererseits auch die Sicherung der Qualität und die Verhinderung von Folgeschäden durch Prozeßstörungen. Es sind also auch eine Reihe schwer algorithmierbarer Prozeßparameter im Automatikbetrieb zu überwachen. Für die Lösung dieser Aufgaben sind vor dem Hintergrund der modernen Rechner- und Steuerungstechnik verschiedene Sensorsysteme in Verbin-

dung mit intelligenter Software einzusetzen. Systematischen Betrachtungen zufolge ist es heute üblich, die automatische Überwachung von Werkstücken, Werkzeugen und Prozeßdaten der Zeitphase im Fertigungsablauf zuzuordnen und damit in Überwachungen vor, während oder nach dem Prozeß zu unterscheiden.

DK 621.914/95:658.562

1. Einleitung

Ziel der Prüfung der in einem FFS (FFS: Flexibles Fertigungssystem) gefertigten Werkstücke ist die Sicherstellung vorgegebener Qualitätsmerkmale mit der Maßgabe, kritische Abweichungen möglichst selbsttätig, d.h. ohne manuellen Eingriff korrigieren zu können. Dadurch soll der kontinuierliche Automatikbetrieb eines FFS aufrechterhalten werden. Für die komplexen Bedingungen der Bohr- und Fräsbearbeitung ist aufgrund der Prozeßnähe und der damit verbundenen raschen Reaktionsmöglichkeit besonders die maschinenintegrierte Qualitätssicherung vorteilhaft.

Ist eine selbsttätige Korrektur innerhalb der Maschine nicht möglich, so muß gewährleistet sein, daß Ausschußproduktion z.B. durch automatisches Stillsetzen einer Bearbeitungsmaschine oder Sperren einzelner Werkzeuge vermieden wird. Ursache der festzustellenden Abweichungen von der Sollqualität sind der Verschleiß und die Verformung der Werkzeuge während der Bearbeitung sowie der Wärmegang einzelner Maschinenelemente. NC-Programmfehler und Werkzeugeinstellfehler sind als Ausschußursachen auszuschließen, da üblicherweise der automatischen Produktion eine Einricht- bzw. Probebearbeitung vorausgeht und diese Fehlermöglichkeiten ausschließt. Abweichungen von der Sollgeometrie lassen sich durch Messungen im Arbeitsraum der Maschine oder in einem Prüfbereich ermitteln, der räumlich möglichst nah am Bearbeitungsprozeß liegt.

2. Einsatz von Meßtastern

Typisch für Messungen im Arbeitsraum von Bearbeitungszentren ist der Einsatz von Meßtastern (Bild 1), die wie ein Werkzeug aus dem maschineneigenen Werkzeugmagazin in die Arbeitsspindel eingewechselt werden. Die bekanntesten am Markt verbreiteten Geräte sind überwiegend so ausgeführt, daß jeweils mit zwei Achsen in zwei Richtungen und mit einer dritten Achse in eine Richtung getestet werden kann. Die Taster verfügen über eine Energieversorgung mit Batterie oder aufladbarem Akku und arbeiten überwiegend als Mikroschalter.

Die Signalübertragung erfolgt optisch über ein Infrarotstrahlenbündel. Für die Maßbestimmung werden die maschineneigenen Linear-meßsysteme genutzt, der Schaltimpuls des Meßtasters dient lediglich als Triggersignal.

Dadurch wird die Maßbestimmung von Meßunsicherheiten beeinflusst, deren Ursache nur zu einem geringen Teil von der Schaltunsicherheit des Tasters beeinflusst wird. Vielmehr spielen Maschinendeformationen und die Positioniergenauigkeit der Maschinenachsen sowie Einspannfehler des Werkzeugadapters durch Verschmutzung

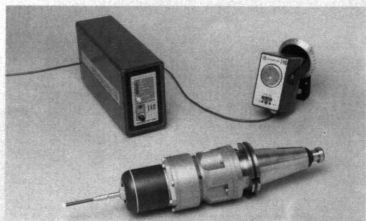


Bild 1
Meßtaster — schaltend (System MARPOSS)

Measuring sensor — switching

Palpeur de mesure — à fonctionnement par indexage (Werkbild: MARPOSS)

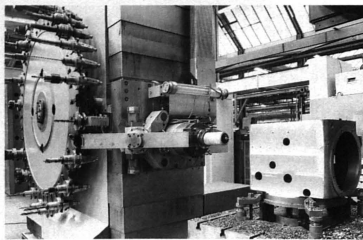


Bild 2
Einsatz eines 3-D-Meßtasters zur Werkstückvermessung

Use of 3-D measuring sensor to measure workpiece

Utilisation d'un palpeur de mesure tridimensionnel pour la mesure de pièces usinées (Werkbild: FRITZ WERNER)

MESSAUFGABE	DARSTELLUNG	MESSAUFGABE	DARSTELLUNG
ABSTAND IN KOORDINATENRICHTUNG		EBENE	
RAUHL. ABSTAND (LÄNGE)		RUNDHEIT	
MITTELPUNKT EINER KREISES		EBENHEIT	
DURCHMESSER EINER KREISES		PARALLELITÄT	
SCHNITTPUNKT		WINKEL	
SCHWITZGERADE		RECHTWINKELIGKEIT	
GERADE		RAUMFLAUT	
		BERÜCKSICHTIGUNG DER TASTERKUGEL	

Bild 3
Möglichkeiten der Messungen mit Tastern

Sensor measurement

Possibilités de mesures au moyen de palpeurs

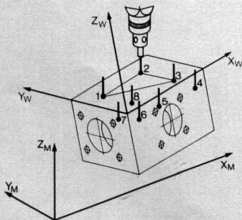


Bild 4
Beispiel für die Achstransformation in Polarkoordinaten

Axis transformation in polar coordinates

Exemple pour la transformation axiale dans des coordonnées polaires

und Verspannung eine Rolle. Aber auch die mögliche Verschmutzung der anzutastenden Stelle durch Mikrospäne führt zu Meßunsicherheiten.

Nach den vorliegenden Erfahrungen muß daher allgemein bei Bearbeitungscentren mit Meßunsicherheiten um 10 µm gerechnet werden, obwohl die Schaltgenauigkeit der bekannten Taster zumeist mit ± 1 µm angegeben wird. Maßnahmen zur Verbesserung der genannten Meßunsicherheiten sind

- die Reinhaltung des Adapterkegels der Taster,
- gründliche Reinigung der Meßflächen, z.B. durch Spülen mit kühlflüssigkeit oder durch Abblasen und
- vor allem Kalibrieren der „Maßeinrichtung“ an einem Prüfnorm in der Nähe des Prüflings unmittelbar vor dem Start der Meßzyklen.

Für Präzisionsmessungen kleiner Abstände eignen sich absolut messende Meßtaster, die dann unabhängig vom Maschinenmeßsystem arbeiten (Bild 2). Hierbei ist jedoch die Signalübertragung in Form analoger Meßsignale vom beweglichen Taster zum ortsfesten Empfänger sehr viel aufwendiger und daher auch teurer. Weitaus häufiger finden daher schaltende Taster Anwendung.

Standardmessungen, die über Unterprogrammtechnik der Maschinensteuerung heute üblicherweise bedienerfreundlich und einfach programmierbar sind, umfassen Durchmesser-, Rundheits- und Flächenabstammessungen, Stichmaßkontrollen sowie Parallelitäts-, Ebenheits- und Winkligkeitsprüfungen (Bild 3). Eventuell erforderliche Korrekturen können selbsttätig über das NC-Programm durch Nullpunktverschiebungen, Zustellbewegungen oder Achstransformationen ausgeführt werden.

Um spezifische Fehler der Tastermessungen als Folge verschiedener Antastrichtungen auszuschließen, wird häufig für die X-Y-Ebene nur mit einer einzigen, vorher kalibrierten Auslenkung des Tasters und einem gesteuerten Spindelritzen gearbeitet. Dabei ist es durch die Kalibrierung möglich, den Tasterfehler durch eine entsprechende Konstante rechnerisch in der Maschinensteuerung zu kompensieren. Dazu dienen auch die der Vollständigkeit halber zu erwähnenden, weiteren Einsatzmöglichkeiten dieser Meßtaster. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang

- die Werkstücksidentifikation durch Antasten von Referenzmerkmalen an den Werkstücken, was allerdings wegen der Kollisionsgefahren nicht unproblematisch ist sowie
- die Rohteilagerkennung vor der Bearbeitung, z.B. zum Ausgleich von Gußmaßschwankungen durch Nullpunktverschiebungen über die Steuerung oder auch Einspannfehlern der Werkstückrohlinge, die sich ebenfalls durch Nullpunktverschiebungen oder Achstransformationen korrigieren lassen (Bild 4).

Nicht unmittelbar Gegenstand der maschinenintegrierten Qualitätssicherung, aber auch ein Einsatzbereich für ein wechselbare Meßtaster ist die Überprüfung, ob beispielsweise eine entsprechende Kernbohrung für den nachfolgenden Gewindeschneidvorgang vorhanden ist, um den Bruch des Werkzeugs bzw. Beschädigung des Werkstücks, der Vorrichtung oder der Maschinen zu vermeiden.

3. Einsatz von Meßdornen in Verbindung mit nachstellbaren Bohrwerkzeugen

Für die genaue Messung von Bohrungsdurchmessern kommen Meßdorne zum Einsatz, die auch auf einem Werkzeugadapter befestigt und aus dem Magazin in die Arbeitsspindel der Maschine eingewechselt werden. Ihr besonderer Vorteil besteht in einer sehr geringen Meßunsicherheit und darin, daß es sich um absolut messende Systeme handelt. Meßabweichungen im Bereich von 1 bis 3 µm können erkannt werden.

Bekannt sind pneumatisch oder induktiv arbeitende Dorne. Pneumatisch arbeitende Systeme (Bild 5) erfordern entsprechende konstruktive Gegebenheiten, um den Geber mit der Auswerteinrichtung dicht und sauber adaptieren zu können. Die Verhältnisse im Arbeitsraum der Maschinen mit Spänen und verschmutzter Kühlmittlemulsion stehen dieser Forderung jedoch entgegen und erfordern einen erhöhten konstruktiven Aufwand. Vorteilhaft bei pneumatischen Meßdornen ist die Tatsache, daß die nach dem Düse-Prallplatten-Prinzip mit engem Spalt arbeitenden Geräte durch die Blauflutwirkung die Reinigung der Meßfläche auf einfache Weise erlauben. Diese Möglichkeit existiert bei rein induktiv wirkenden Dornen (Bild 6) auch durch zusätzliche Blauflutdüsen. Sie sind durch eine einfache und aufwendige Signalübertragung gekennzeichnet. Darüber hinaus ist ihr Meßbereich meist größer als bei pneumatischen Meßdornen. Um Einspannfehler der Prüfdorne auszugleichen zu können, werden auch schwimmend gelagerte und selbstzentrierende Systeme eingesetzt. Die mittels der Prüfdorne feststellbare Maßabweichung von Bohrungs-

durchmessern läßt sich bei Untermaßtendenz durch automatisch nachstellbare Bohrwerkzeuge korrigieren. Mehrere konstruktive Lösungen sind bekannt und bereits praktisch erprobt (Bild 7).

Dabei zeigen die Erfahrungen, daß trotz der hohen Meßgenauigkeit der Dorne und der im Bereich von 2 bis 3 µm reproduzierbar möglichen Stellbewegung der Bohrwerkzeuge nur in eingeschränktem Rahmen Bohrungen im Automatikbetrieb nachgearbeitet werden können. Die Gründe liegen vor allem in den Fehlerbandbreiten, die entstehen, wenn das Bohrwerkzeug nach dem Meßdorn erneut wieder in die Spindel eingewechselt und sogar dafür häufig auch die Maschinenachsen gefahren werden müssen sowie in dem schlecht reproduzierbaren Anschnittverhalten von Bohrstanzen bei sehr geringen Spannungstiefen.

Den erstgenannten und der Größenordnung wegen gravierenden Mangel schließt die in Bild 8 gezeigte Einrichtung weitgehend aus, da hier das Bohrwerkzeug nicht ausgewechselt werden muß. Die Messung erfolgt bei eingespannter Bohrstange zwischen einem Festpunkt und der Schneide durch einen Fühler im Arbeitsraum, so daß vor allem der Freiflächenverschleiß der Schneide erfaßt werden kann. Auch sind Bohrstangen bekannt, die beispielsweise ein pneumatisches Stillelement und Meßdüsen enthalten, um so von Bohrung zu Bohrung korrigieren zu können.

Eine andere Möglichkeit besteht zumindest bei durchgehenden, von gegenüberliegenden Seiten zugänglichen Bohrungen darin, den Meßdorn in einer eigenen, besonders betätigten Vorrichtung genau gegenüber dem in der Spindel gespannten Bohrwerkzeug anzuordnen.

Für Messungen und Korrekturen brauchen so weder Meßdorn noch Bohrwerkzeug aus- und wieder eingewechselt zu werden. Ungünstig ist hier aber der hohe Aufwand und meist großer Platzbedarf, der in den für FFS typischerweise vollgekapselten Maschinen konstruktiv stets problematisch ist.

Auch soll nicht unerwähnt bleiben, daß wegen der ganz bestimmten Zuordnung zu einer Meßaufgabe der wirtschaftliche Einsatz von Meßdornen durch die geforderten Qualitätsmerkmale gerechtfertigt sein muß. Ihr Einsatzbereich beschränkt sich daher auf relativ hochwertige Werkstücke mit großen Qualitätsanforderungen und verhältnismäßig großen Stückzahlen.

4. Einsatz von prozeßnahen Prüfeinrichtungen

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die maschinenintegrierte Qualitätssicherung liegt in der Tatsache begründet, daß Abweichungen „vor Ort“ erkannt und korrigiert werden können. Dadurch muß aber der Nachteil in Kauf genommen werden, daß die zum Messen in der Maschine erforderliche Zeit die Produktivität mindert. In zunehmendem Umfang werden daher außerhalb der eigentlichen Bearbeitungsmaschinen prozeßnahe Prüfeinrichtungen eingesetzt. Besondere Bedeutung haben dabei CNC-gesteuerte Koordinatenmeßgeräte (KMG), die in den automatisierten Werkstückfluß integriert werden. Sie werden zunehmend unter der Bezeichnung Werkstattmeßmaschine oder Meßroboter auch für den Einsatz im Fertigungsbereich angeboten (Bild 9).

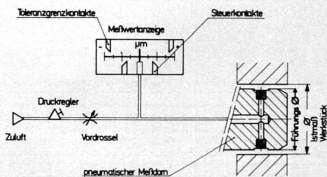


Bild 5
Blockschaltbild eines pneumatisch arbeitenden Meßdorns (System SAMSOMATIC)

Block diagram of pneumatic measuring gauge (SAMSOMATIC system)

Schéma bloc d'une tige de mesure à fonctionnement pneumatique (système SAMSOMATIC)

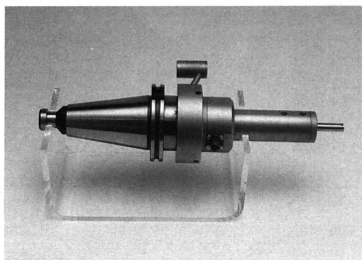


Bild 6
Induktiv arbeitender Meßdorn (System MARPOSS)

Inductive measuring gauge

Tige de mesure à fonctionnement inductif

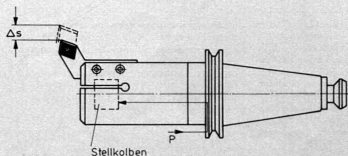


Bild 7
Verstellbare Bohrstange

Adjustable drilling rod

Tige de perçage réglable

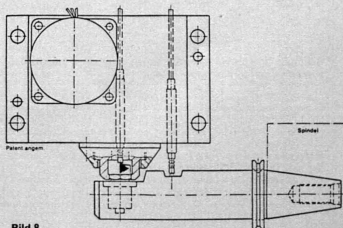


Bild 8
Nachstellbare Bohrstange mit Referenz-Meßpunkt (System VALENITE)

Adjustable drilling rod with reference point

Tige de perçage réglable avec point de mesure de référence



Bild 9
Meßroboter in einem Flexiblen Fertigungssystem
 Measuring robot in flexible manufacturing system
 Robot de mesure dans un système de fabrication flexible

Die freie Programmierbarkeit und Adaptionfähigkeit dieser Meßeinrichtungen erlaubt die Prüfung unterschiedlicher Teile in beliebiger Reihenfolge, so wie es der Ablauf im Materialfluß des FFS erfordert. Die Verketzung von Werkzeugmaschine und KMG ermöglicht die automatische Zuführung der auch in der Fertigung verwendeten Werkstückpaletten zum KMG und ihre automatische Fixierung in der Meßposition.

Zur Verwaltung der Meßprogramme sowie der Datenverarbeitung, Datenrückführung und Kommunikation mit der übergeordneten Systemsteuerung des FFS wird ein zentraler Qualitätssicherungsrechner eingesetzt. Neben der unmittelbaren werkstückbezogenen Gesamtauswertung und Anzeige von „Gut“, „Ausschuß“ oder „Kritisch“ steht die vollständige statistische Analyse aller Meßdaten zur Verfügung. Bei Toleranzüberschreitungen wird über einen Datenverbund das entsprechende Teilprogramm gesperrt und es werden unter Umständen auch werkzeugbezogene Aktionen ausgelöst. Die Reaktionszeiten auf mögliche Bearbeitungsfehler sind dabei aber immer höher als beim Messen direkt in der Bearbeitungsmaschine. Neben diesen universell einsetzbaren Geräten sind weitere probezeife Prüfeinrichtungen bekannt, die ebenfalls in den automatischen Materialfluß eines FFS integriert sind, aber für spezifische Meßaufgaben ausgelegt wurden. Bekannt sind Beispiele aus dem Getriebebau und der Gehäusefertigung, wobei hier zumeist mit pneumatischen Meßeinrichtungen gearbeitet wird.

5. Ausblick

Fraglos können die zuvor beschriebenen Möglichkeiten der maschinen- und systemintegrierten Qualitätssicherung nur als ein Anfang betrachtet werden. Die in der Fertigungsmeßtechnik entwickelten Meß- und Prüfmethode müssen zukünftig verstärkt für die Anwendung im hochautomatisierten Fertigungsprozeß ausgenutzt, verbessert und weiterentwickelt werden. Dabei werden moderne Techniken wie die Laser- oder Videotechnik ebenso eine Rolle spielen wie die aus dem Bereich der Produktionstechnik nicht mehr wegzudenkende Datentechnik. Die enorm vielfältigen Möglichkeiten rechnergesteuerter FFS und zukünftig standardisierter Datenverbundsysteme stellen heute bereits die Basis für ein weites Entwicklungsfeld in der automatisierten und prozeßintegrierten Fertigungsmeßtechnik dar.

Zusammenfassung Maschinenintegrierte Qualitätssicherung bei der Bohr- und Fräsbearbeitung in Flexiblen Fertigungssystemen

Ziel jeglicher qualitätsüberwachenden Maßnahmen muß es sein, die jeweiligen Merkmale so nah wie möglich am Fertigungsprozeß zu überwachen. Aus diesem Grund ist die sogenannte Inprocess-Meßtechnik dann am wirkungsvollsten, wenn sofort nach Erkennen des Fehlers eine Rückkoppelung zum Fertigungsprozeß stattfinden kann, wenn also die Abweichung als

Regelgröße verwendet werden kann. Anzustreben sind deshalb alle Maßnahmen zur maschinenintegrierten Qualitätssicherung. Technologisch bedingt kann dieses Inprocess-Verfahren allerdings nicht bei jedem Fertigungsprozeß angewendet werden. Bei der Bohr- und Fräsbearbeitung kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht. Neben den schaltend arbeitenden

Meßrastern werden absolut messende Meßdorne eingesetzt, die im Zusammenhang mit automatisch nachstellbaren Bohrstangen für eine schnelle Fehlerkorrektur sorgen können. Je nachdem, wie weit man die Systemgrenzen zieht, kann man auch den Einsatz von Koordinatenmeßgeräten in Flexiblen Fertigungssystemen als systemintegriertes Messen bezeichnen.

Summary Machine-integrated quality assurance of drilling and milling operations in flexible manufacturing systems

Quality assurance aims at monitoring the parameters as near to the production process as possible. For this reason so-called in-process measuring is most effective when faults which are detected can be fed back immediately to the production process, in other words when discrepancies are used as reference values. Ma-

chine-integrated quality assurance is the ultimate goal. For technological reasons, however, this in-process method cannot always be used. For drilling and milling operations a number of possibilities might be considered. Apart from on/off measuring sensors, absolute measuring gauges can be used in conjunction with automa-

tically adjusted drilling rods for rapid fault rectification. Depending on the degree of complexity desired, coordinate measuring instruments can also be used in flexible manufacturing systems for integrated measuring.

Résumé Assurance qualité intégrée dans les machines dans le domaine de l'usinage par perçage et par fraisage dans des systèmes de fabrication flexible

Chaque mesure de surveillance et de contrôle de la qualité doit avoir pour objectif de contrôler les différentes caractéristiques aussi près que possible du processus de fabrication. C'est la raison pour laquelle la technique de mesure dite Inprocess est la plus efficace lorsqu'une rétroaction avec le processus de fabrication peut avoir lieu aussitôt après la localisation du défaut, autrement dit lorsque l'écart peut être utilisé comme grandeur réglante. C'est pourquoi il y a

lieu de faire tous les efforts nécessaires pour en arriver à l'assurance qualité intégrée dans la machine. Toujours est-il que, pour des raisons technologiques, cette méthode Inprocess ne peut pas être appliquée dans chaque processus de fabrication. Dans le domaine de l'usinage par perçage et par fraisage, différentes possibilités entrent en ligne de compte. En dehors des palpeurs de mesure opérant par indexage, l'on utilise des tiges de mesure fonctionnant en absolu, qui, en com-

binaison avec des tiges de perçage à réglage automatique, sont en mesure d'assurer une correction rapide des défauts. Suivant le point auquel on trace les limites du système, on peut aussi considérer l'utilisation d'appareils de mesure par coordonnées dans des systèmes de fabrication flexible comme étant de la mesure intégrée dans un système.