

Bessere Nutzung von Bearbeitungszentren durch flexible Automatisierung

Von Dr.-Ing. Uwe Heisel, Berlin

NC-Technik

Technische und organisatorische Mittel zur Automatisierung des Fertigungsablaufs bei wechselnden Losgrößen bis herunter zur Einzelfertigung werden vorgestellt. Sie wurden durch die Mikroelektronik und integrierte Datenverarbeitung ermöglicht. Werkzeug- und Werkstückversorgung sowie die individuellen Arbeitsabläufe werden rechnergesteuert. So ist eine bedienlose Schicht über Pausen hinweg und in der dritten Schicht möglich. Das modulare System für Maschinen und Steuerungen ermöglicht einen schrittweisen Ausbau.

1 Entwicklung beim Bau von Bearbeitungszentren

Durch flexible Automatisierung der Werkstück- und Werkzeugversorgung läßt sich mit modernen Bearbeitungszentren ein rüstzeitfreier Auftragswechsel selbst bei kurzen Bearbeitungszeiten und Einzelteillfertigung erreichen. Dadurch können einerseits Produktivitätsreserven aktiviert, andererseits die Durchlaufzeiten und damit auch die Kapitalbindung vermindert werden [1, 2]. Eine direkte Erhöhung der Wirtschaftlichkeit in der Fertigung und eine Verbesserung der kurzfristigen Liefer- und Reaktionsfähigkeit am Markt sind die Folgen.

Die Integration automatischer Prozeßüberwachungs- und Diagnosesysteme sowie die werkstattgerechte Programmierbarkeit und die dialogorientierte Bedienung gehören ebenso zu den Anforderungen an eine moderne Fertigung wie die Nutzung der durch die NC- und Rechner-Technik gegebenen Möglichkeiten. Positiv wirkt sich das ständig steigende Leistungsangebot hinsichtlich Funktionsumfang und Kosten bei den numerischen Steuerungen für die Werkzeugmaschinen und den Rechnern für die maschinennahe Datenverarbeitung aus. Beispielsweise verringerten sich die durchschnittlichen Kosten einer Steuerung bei gesteigertem Funktionsumfang zwischen den Jahren 1979 bis 1981 um etwa 25% [3].

Maschinenseitig hat eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung des Nutzungsgrades geführt. Neben der ständigen Weiterentwicklung der Werkzeuge und der Antriebstechnik steht vor allem ein erhöhtes Leistungsangebot zur Verfügung. So werden Bearbeitungszentren mittlerer Baugrößen in naher Zukunft eine durchschnittliche Leistungsdichte von 70 bis 80 kW/m³ Arbeitsraum aufweisen. Dieser Leistungsdichte entspricht die kompakte Maschinenbauweise mit geringem Platzbedarf und hoher statischer und dynamischer Steifigkeit, die auch große Arbeits- und Dauergenauigkeiten und kurze Nebenzeiten ermöglicht. Große Speicherkapazitäten stehen für Werkstücke und Werkzeuge zur Verfügung; für zuverlässiges Betriebsverhalten und gute Bedienbarkeit ist gesorgt.

2 Rüstzeitfreier Auftragswechsel, wahlfreier Zugriff auf externe Werkzeugspeicher

Unter einem rüstzeitfreien Auftragswechsel sei die Bereitstellung aller für den Fertigungsablauf benötigten Arbeitsmittel an der Maschine ohne zusätzliche Stillstandzeiten verstanden. Hierzu müssen Voraussetzungen gegeben sein, die auch weitgehend die Maschinenkonzeption bestimmen: für die Werkstückbereitstellung ein maschinenintegrierter Paletten-Pufferplatz mit einer rasch arbeitenden Wechseinrichtung, ein während der Hauptzeit der Maschine zugängliches Werk-

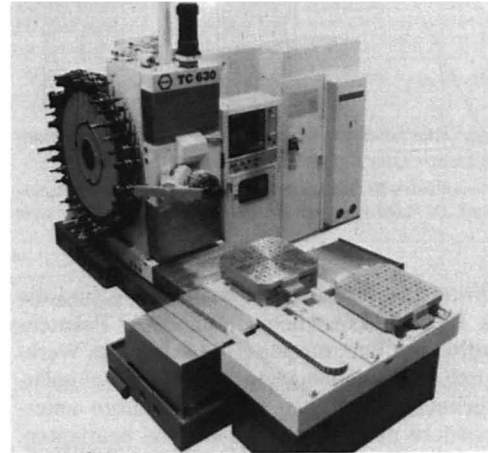


Bild 1. Horizontales Bearbeitungszentrum TC 630 (Arbeitsbereich X = 800 mm, Y = 630 mm, Z = 610 mm, 32 kW Antriebsleistung für 60% Einschaltdauer, 20 bis 4500 min⁻¹, 40(72) Werkzeugplätze im Magazin)

zeugmagazin genügender Speicherkapazität (während der Bearbeitung eines Werkstücks können die für das nächste erforderlichen Werkzeuge geladen werden).

Steuerungseitig ist die Voraussetzung für das rechtzeitige Einlesen des neuen NC-Programms zu schaffen, durch einen DNC-Anschluß oder einen entsprechend großen internen Programmspeicherplatz. Für den Wechsel von dem einen zu einem anderen Werkstück fällt als Nebenzeit dann lediglich noch die Paletten-Wechseldauer an.

Bild 1 zeigt ein horizontales Bearbeitungszentrum mit Wechseinrichtung für zwei Paletten und einem stationären Werkzeug-Tellermagazin mit 40 Plätzen. Sowohl die Plätze am Palettenwechsler sind während der Hauptzeit der Maschine für Umspann- bzw. Umrüstarbeiten zugänglich als auch das Werkzeugmagazin (Bild 2), das für einen programmabhängigen Suchlauf während der Umbestückung verriegelt ist. Das Umrüsten der Vorrichtungen kann auch auf einem separaten Rüstplatz erfolgen (bei kurzen Bearbeitungszeiten empfehlenswert).

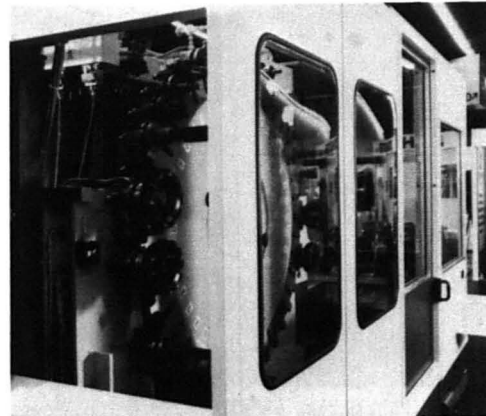


Bild 2. Platz zur Magazinbestückung an einem Bearbeitungszentrum TC 630 (stationäres Werkzeugmagazin, Vollkapselung)

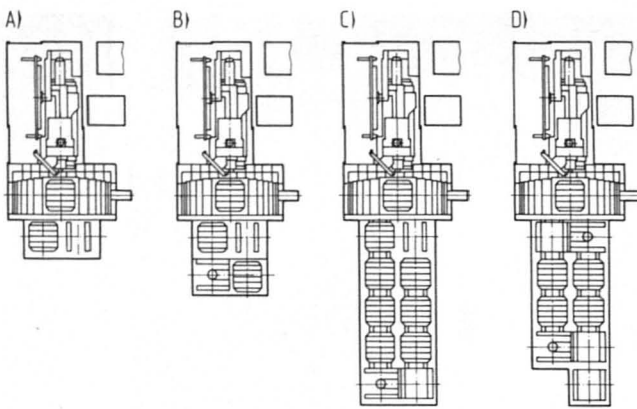


Bild 3. Ausbaufähige Paletten-Speichersysteme mit Wechseinrichtungen für Bearbeitungszentren der Baureihe TC 630, 800 und 1000

A) rechts-Links-Palettenwechsler, B) Palettensystem für drei Paletten, C) Palettenpool mit Zwangsumlauf, D) Palettenpool mit wahlfreiem Zugriff und separatem Spann- und Rüstplatz

Die ersten Schritte zur flexiblen Automatisierung sind die Erweiterung des Werkstückspeichers durch einen Palettenpool aus standardisierten Baugruppen (Bild 3) und des Werkzeugspeichers durch ein Kettenmagazin mit 72 Werkzeugplätzen. Derart ausgebaute Maschinen können mehrere unterschiedliche Werkstücke nacheinander rüstzeitfrei bearbeiten. Die Speicherkapazität des Werkzeugmagazins reicht allerdings in der Regel nur für die Bearbeitung von zwei bis vier verschiedenen Werkstücken aus. Bei jedem neuen Auftrag müssen die nicht mehr benötigten Werkzeuge manuell gegen die hierfür bereitgestellten ausgetauscht werden. Diese Vorgehensweise setzt aber neben organisatorischen Erfordernissen eine Einzelmaschinen-Bedienung voraus, so daß ein aufsichtsarmer oder gar aufsichtsloser Betrieb meist nicht möglich ist.

Demgegenüber läßt sich durch den automatischen Werkzeugaustausch mit einem NC-Handhabungsgerät in Verbindung mit einem externen Werkzeugspeicher sowohl Mehrmaschinen-Bedienung als auch ein bedienarmer Schichtbetrieb verwirklichen (Bild 4). Diese Lösung ist ab einem Systemverbund von zwei Maschinen in Form einer sogenannten Duplexzelle wirtschaftlich [1]. So ist in Bild 5 eine flexible Duplex-Fertigungszelle zu sehen, bestehend aus zwei horizontalen CNC-Bearbeitungszentren, einem Portal-Handhabungssystem mit drei Achsen für die Werkstück- und Werkzeugver-

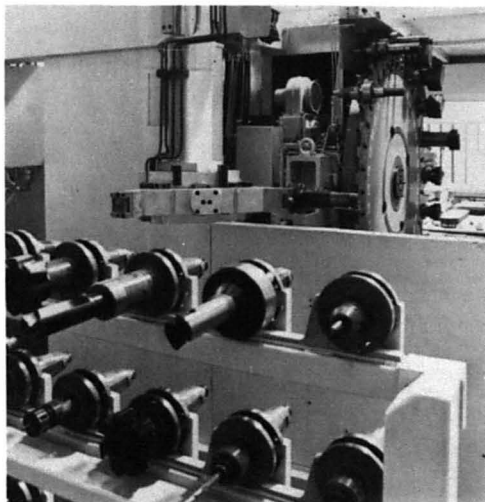


Bild 4. Automatisches Austauschen von Werkzeugen im Magazin während der Maschinenhauptzeit mit einem Doppelgreifer (Portal-Handhabungsgerät mit drei Achsen)

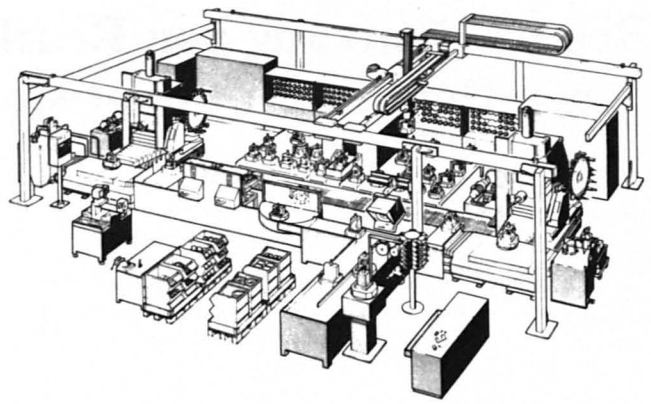


Bild 5. Duplex-Fertigungszelle DFZ 400 mit zwei Bearbeitungszentren C2H

sorgung, 32 Paletten-Speicherplätzen, 235 Werkzeug-Speicherplätzen, integrierter Waschmaschine, Palettenein- und -ausgabe, Werkzeugein- und -ausgabe, Werkzeug-Einstellgerät mit On-line-Verbindung zum übergeordneten Rechner, Umrüstplatz und Paletten-Pufferstation. Bild 6 zeigt eine flexible Fertigungszelle mit vier horizontalen CNC-Bearbeitungszentren, einem Portal-Handhabungsgerät mit drei Achsen für den automatischen, wahlfreien Austausch von Einzelwerkzeugen, Palettenpool mit schienengebundenem Transportfahrzeug, integrierter Waschmaschine und zentraler Werkstück- und Werkzeugversorgung.

Die werkstückseitige Verkettung erfolgt bei dieser gezeigten Fertigungszelle durch ein schienengebundenen Palettenfahrzeug, die werkzeugseitige Verkettung mit einem externen Werkzeugspeicher durch einen Portallader. Die Anlagen lassen sich schrittweise bis zu sechs Maschinen und mehr erweitern.

Der wahlfreie Zugriff mehrerer Maschinen auf einen externen Werkzeugspeicher bedingt, daß wesentlich weniger Werkzeuge bereitgestellt werden müssen. Das betrifft vor allem Standardwerkzeuge (Senker, Bohrer für Gewidekernlöcher, Gewindebohrer, Reibahlen, Igelfräser, Schaftfräser, Messerköpfe). Dadurch lassen sich beachtliche Einsparungen erzielen (Bild 7). Etwa 60% aller Werkzeuge, die für die Bearbeitung eines bestimmten Werkstückspektrums benötigt werden, sind jeweils nur einmal im Einsatz. Fast 40% erfahren eine Mehrfachanwendung und müßten für jede Einzelmaschine separat bereitgestellt werden, was bei einem Zentrallager nicht erforderlich ist.

Ein weiterer Vorteil des wahlfreien Zugriffs auf einen externen Werkzeugspeicher ist, daß beliebig viele Ersatzwerkzeuge für verschlissene oder unbrauchbar gewordene Werkzeuge bereitgestellt werden können, ohne daß dadurch die Speicherkapazität des Magazins der einzelnen Maschinen vergrößert werden muß. Dies ist günstig für kurze Suchlaufzeiten und schnelle Werkzeugwechsel in die Spindel. Der Austausch verschlissener Werkzeuge erfolgt automatisch während der Hauptzeit, wodurch ebenfalls eine Verbesserung des Nutzungsgrads erreicht wird.

3 Simultanfertigung mehrerer Aufträge

Die Werkzeuge für den nächsten zu fertigenden Auftrag bereits in das Magazin der Maschine zu laden, während Werkstücke des vorhergehenden Auftrags noch bearbeitet werden, ist besonders für die Einzelfertigung interessant, da auch hierbei der Auftragswechsel bezüglich der Maschinenhauptzeit rüstzeitfrei, also ohne zusätzliche Stillstandzeiten ist.

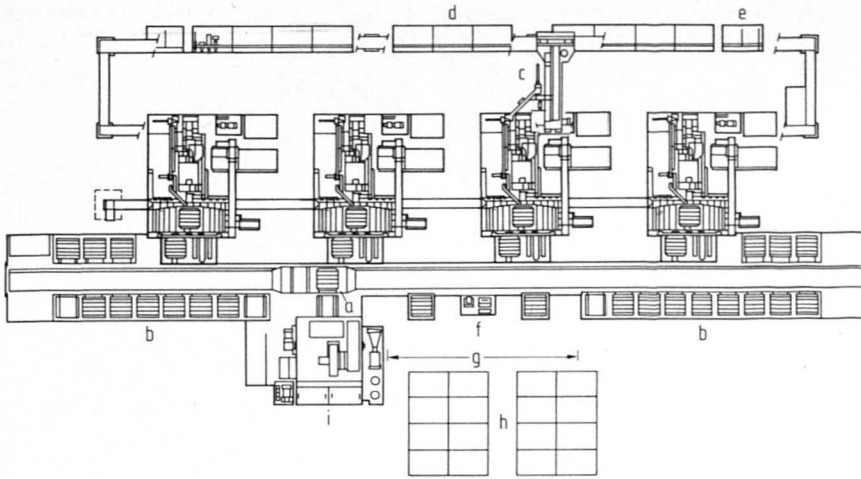


Bild 6. Fertigungszelle FFZ 630 mit vier Bearbeitungszentren TC 630

a Paletten-Zubringefahrzeug, b Palettenspeicher, c simultane Werkzeug-Zubringeinrichtung, d Werkzeugbereitstellung (Lager), e transportables Werkzeugmagazin für Verschleißwerkzeuge, f zentrale Werkstück- und Werkzeugverwaltung, g Auf- und Abspannplatz, h Werkstückbereitstellung, i Ein-Kammer-Waschmaschine

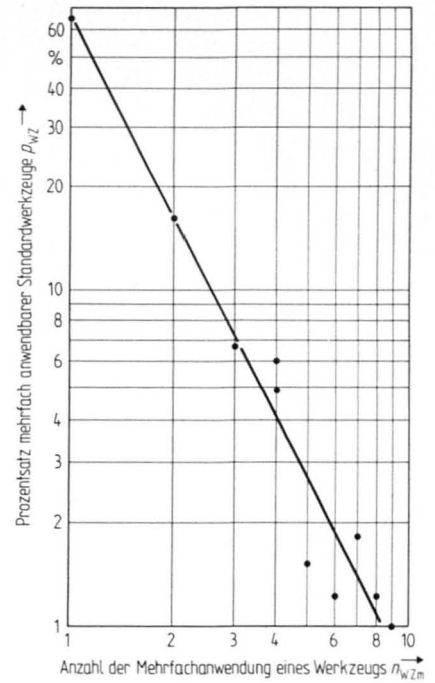


Bild 7. Mehrfachanwendung von Bohr- und Fräswerkzeugen (335 Werkzeuge entsprechen 100%)

Im Gegensatz zur losweisen Fertigung mit vorher definierter Maschinenbelegung ist bei einem System sich ersetzender Maschinen die zeitliche Belegung der einzelnen Maschinen dadurch optimierbar, daß die parallel eingeschleusten Aufträge als Aufträge mit Einzelwerkstücken behandelt werden können. Dieser Fertigungsablauf mit der Bearbeitung der parallel laufenden Aufträge in der durch die Eingabe der einzelnen, mit Rohlingen bespannten Paletten vorgegebenen Reihenfolge, wird Simultanfertigung genannt [4].

Die Simultanfertigung wird durch den wahlfreien, automatischen Zugriff auf einen externen Werkzeugspeicher ermöglicht. Für das einzelne Los, insbesondere während einer bedienlosen dritten Schicht werden sehr viel weniger Vorrichtungen benötigt; darüber hinaus ist eine gleichmäßige Maschinenauslastung möglich. Dieser kostenwichtige Aspekt der Simultanfertigung wird noch ausgeprägter, wenn Vorrichtungsbaukästen mit universell wiederanwendbaren Modul eingesetzt werden [5]. Kosteneinsparungen von etwa 60% bei Anwendung von Vorrichtungsbaukästen gegenüber werkstückspezifischen Sondervorrichtungen sind möglich.

Nicht zuletzt ist das simultane Bearbeiten mehrerer paralleler Aufträge für den Menschen am Beschickungsplatz des flexiblen Fertigungssystems ein Gewinn. Die Ab- und Aufspanntätigkeit verliert an Monotonie und steht nicht mehr unter Zeitdruck und Taktzwang.

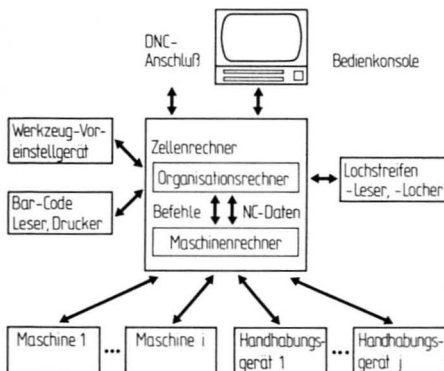


Bild 8. Struktur des Zellenrechners einer Duplex-Fertigungszelle

4 Systemsteuerung durch Zellenrechner

Der simultane Fertigungsablauf wird durch ein Rechner-Verbindungssystem (sog. Zellenrechner) gesteuert und kontrolliert. Es ist in zwei Ebenen gegliedert (Bild 8).

Die Organisationsrechner-Ebene führt alle zeitunkritischen Datenverarbeitungsfunktionen durch. Hierzu gehören die Bestandsführung der Werkzeuge und der Werkstücke, die NC-

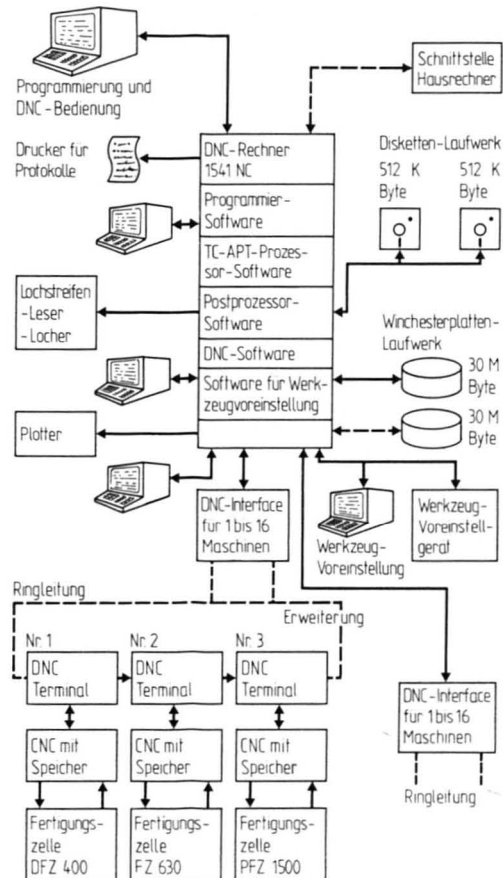


Bild 9. Rechner-Verbindungssystem zur Steuerung flexibler Fertigungssysteme

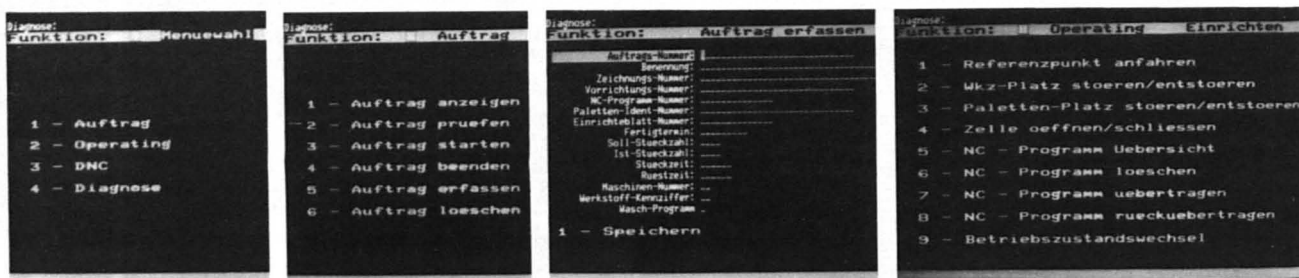


Bild 10. Beispiele der Bildschirm-Dialogein- und -ausgabe im Klartext (durch Cursor geführt) mit Fehleranzeige

Programmverwaltung, die Systemdiagnose und Betriebsstatistik sowie die Auftragsverwaltung einschließlich der Ablaufplanung. Außerdem ist der Datenverkehr zu folgenden Geräten zu steuern: Werkzeug-Voreinstellgerät, Bildschirmgerät und Bedienkonsole, Strichcode-Leser und -Drucker, Lochstreifen-Leser und -Locher und der Leitrechnerverbund.

Die Maschinenrechner-Ebene ist für alle zeitkritischen Steuer- und Regelfunktionen zuständig. Hierzu gehören die Ermittlung der „Fahrpläne“ für das Handhabungsgerät und den Funktionsablauf der Maschinen, der Datenaustausch zwischen den Steuerungen der angeschlossenen Maschinen und dem Handhabungsgerät, die Lagerort-Führung für Werkzeuge und Werkstücke sowie die direkte Prozeßsteuerung und -überwachung einschließlich der Systemdiagnose.

Die auftragsbezogene Dialogeingabe ist durch Menü-Technik übersichtlich und leicht erlernbar. Die Bedienung des Fertigungssystems erfolgt ausschließlich über die portable Bildschirmkonsole des Zellenrechners. Über eine DNC-Schnittstelle kann als Option auch eine On-line-Verbindung zu einem Leitrechner hergestellt werden. Durch den Direktanschluß zu einem NC-Programmiersystem, einer übergeordneten NC-Programmdateibank und auch einem Auftrags-Steuerungssystem läßt sich die gesamte Informationsverarbeitung voll integrieren und befindet sich stets auf aktuellem Stand (Bild 9). Über den Bildschirm erfährt der Bediener ständig die Ergebnisse der Prozeßüberwachung. Die Anzeige erfolgt im Klartext (Bild 10). Ein Diagnoseprogramm erteilt weitere Auskünfte [6].

5 Ausführungsbeispiele

Die beschriebene Funktionsstruktur mit der dafür entwickelten Grund-Software des Zellenrechners ist für flexible Fertigungszellen und für -systeme jeweils dieselbe. Die Bilder 11 bis 13 zeigen ausgeführte Systeme, die sich in der Konzeption, der Baugröße und den Werkstück-Abmessungen unterscheiden, aber jeweils durch einen Zellenrechner gleicher Art gesteuert werden.

Besonderes Kennzeichen der Duplex-Fertigungszelle in Bild 11 ist das numerisch gesteuerte Handhabungsgerät zum Transport der Werkstückträger und auch der Werkzeuge [7]. Das Werkstück muß zunächst auf den dafür vorbereiteten Werkstückträger gespannt werden. Die Übergabe in das System erfolgt manuell. Die Trägernummer und die zugeordnete Werkstückbezeichnung sind bereits zuvor über die Bildschirmkonsole eingegeben worden bzw. werden vom System selbstständig erkannt. Das numerisch gesteuerte Handhabungsgerät übernimmt anschließend den Werkstückträger und legt ihn auf einem freien Speicherplatz ab. Der Duplex-Fertigungszelle stehen 32 Pufferplätze zur Verfügung. Entsprechend der Gesamtbearbeitungszeit aller gespeicherten Werkstücke kann ohne Bedienung in der dritten Schicht automatisch weitergefertigt werden. Bei einer durchschnittlichen Bearbeitungszeit pro Werkstückträger von 20 min ist das beispielsweise über 5 h möglich.

Die Bearbeitung erfolgt auf baugleichen CNC-Bearbeitungszentren mit $X = 600 \text{ mm}$, $Y = 500 \text{ mm}$, $Z = 500 \text{ mm}$. Die Antriebsleistung beträgt 10 kW; das stationäre Tellermagazin enthält 30 Aufnahmeplätze. Für den Werkstückwechsel wird der vom Zellenrechner ausgewählte Werkstückträger durch das Handhabungsgerät vom Pufferplatz zur Paletten-Wechseinrichtung der Maschine transportiert. Sobald die Bearbeitung beendet ist, wird der neue Träger auf den Maschinentisch gewechselt. Der Werkstückwechsel dauert etwa 30 s.

Der fertig bearbeitete Träger wird danach von der Zwischenablage entweder zu einem Werkstück-Speicherplatz oder direkt zu der Waschmaschine gebracht. Dabei erfolgt der Transport auf der sog. Schmutzstraße, die für die Aufnahme von Spänen und Kühlmittelresten ausgelegt sind. Der gereinigte Werkstückträger wird zunächst zum Abtropfen und Trocknen auf einem Pufferplatz abgestellt und erst zur Übergabestation des Systems transportiert, wenn der Bediener seine Anwesenheit an diesem Arbeitsplatz dem System mitgeteilt hat. Nach dem manuellen Ausgeben erfolgen das Abspannen der Werkstücke und das Aufspannen der neuen Rohlinge.

Im zentralen Werkzeuglager werden alle Werkzeuge gespeichert, die für die Bearbeitung sämtlicher Werkstücke unter Berücksichtigung der Simultanfertigung erforderlich sind. Bei der dargestellten Duplex-Ausführung stehen 235 Ablageplätze zur Verfügung. Damit läßt sich ein Spektrum von 50 bis 100 verschiedenen Werkstücken abdecken, wobei die erforderlichen Ersatzwerkzeuge berücksichtigt sind.

Die manuellen Arbeitsplätze sind völlig von den Wirkungsbereichen des Handhabungsgeräts und der Maschine getrennt. Es handelt sich um drei verschiedene Tätigkeitsarten: Am Umspannplatz mit der Eingabestation werden die Werkstückträger be- und entladen. Am Werkzeugeinstellplatz werden die verschiedenen Standardwerkzeuge gegen neue ausgetauscht. Zur sicheren Identifizierung erfolgt automatisch der Ausdruck eines Klebeetiketts mit Strich-Code. Durch einen Lesestift läßt sich die Werkzeugnummer maschinell identifizieren. Am Werkstückträger-Rüstplatz werden die Werkstückträger vorbereitet; die Bestückung mit Auflage- und Spannelementen erfordert etwa 15 min für eine Aufspannung.

Vorgesehen ist eine simultane Bearbeitung von sechs bis acht verschiedenen Werkstücken bzw. Aufträgen. So werden meist nur eine, höchstens aber drei gleichartige Vorrichtungen pro Aufspannung (auch bei bedienlosem Betrieb in der dritten Schicht) erforderlich. Das ist ein entscheidender Vorteil im Vergleich zu einzeln automatisierten Bearbeitungszentren; die Fertigung dort kann wegen der beschränkten Speicherkapazität der maschinengebundenen Werkzeugmagazine in der Regel nur losweise erfolgen, so daß die gleiche Spannvorrichtung in wesentlich größerer Anzahl benötigt wird.

Bei größeren Werkstückabmessungen und -gewichten ist ein Überflurtransport der Werkstücke nicht mehr möglich, so daß getrennte Handhabungs- bzw. Beschickungssysteme für die Werkstück- und die Werkzeugversorgung erforderlich



Bild 11. Flexible Duplex-Fertigungszelle DFZ 400

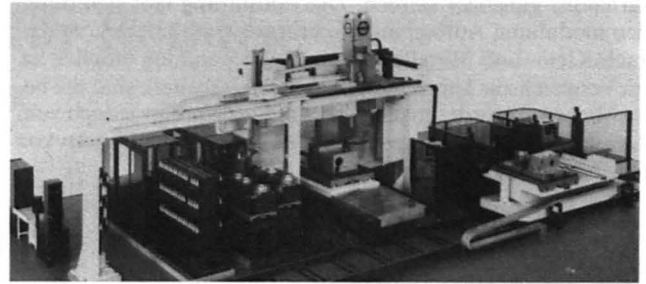


Bild 12. Flexible Fertigungszelle DFZ 630

sind. Das flexible Fertigungssystem FFS 630 und das FFS 800 für mittelgroße Werkstücke können durch den modularen Aufbau schrittweise erweitert werden. Als Duplexausführung sind zwei Bearbeitungszentren zu einer geschlossenen Fertigungseinheit zusammengefaßt (Bild 12). Bei einem Ausbau auf vier oder sechs Bearbeitungszentren empfiehlt sich die Integration einer Waschmaschine und ggf. auch einer zentralen Meßstation.

Damit der automatische Austausch von Werkzeugen mit einem Handhabungsgerät während der Bearbeitung erfolgen kann, müssen die Bearbeitungszentren ein stationäres Tellermagazin besitzen. Der Palettenwechsler ist als Linksvorn-Rechtsvorn-Wechsler ausgebildet, so daß sowohl der Palettenaustausch innerhalb der Maschine als auch zwischen Transportfahrzeug und Maschine einfach und schnell möglich sind. Der Werkstücktransport zwischen den stationären Palettenablageplätzen, der Auf- und Abspannstation, den Bearbeitungszentren und ggf. der Waschmaschine und der Meßstation geschieht rechnergesteuert durch ein schienengebundenes Flurförderfahrzeug.

Die Werkzeugversorgung übernimmt ein NC-Handhabungsgerät durch gezielten Austausch von Einzelwerkzeugen zwischen dem zentralen Werkzeuglager, den Tellermagazinen an den Bearbeitungszentren und dem Ein- und Ausgabeplatz. Jede Einzelmaschine hat somit einen wahlfreien Zugriff zum zentralen Werkzeuglager, entsprechend dem Prinzip des virtuellen Speichers. Das Handhabungsgerät legt die verschlissenen Werkzeuge auf einem Werkzeugwagen ab, der in bestimmten Zeitabständen zu dem direkt an den Zellenrechner angeschlossenen Werkzeug-Einstellgerät gefahren werden kann. Dort erfolgt dann die neue Bestückung der Werkzeuge mit Schneidplatten und die Voreinstellung, wobei zur Identifikation ebenfalls Strich-Code-Klebeetiketten angewendet werden.



Bild 13. Flexible Fertigungszelle DFZ 1500

Die flexible Fertigungszelle in Bild 13 ist für die Fünf-Seiten-Bearbeitung von Großwerkstücken ausgelegt. Die Paletten-Aufspannfläche beträgt in der Standardausführung 1500×2500 mm, kann aber auch andere Abmessungen haben. Das Bearbeitungszentrum ist ein Vertikal-Bohr- und -Fräswerk in Portalausführung (Hauptantriebsleistung 60 kW). Angepaßt an die Bearbeitungsaufgabe stehen verschiedene ein- und mehrspindlige Fräs- und Bohrköpfe zur Verfügung, die automatisch aus einem längsbeweglichen Magazin durch die Spindeleinheit direkt eingewechselt werden. Das Bohrkopf-Magazin läßt sich mit Hilfe eines Doppel-Palettenwagens austauschen (Anzahl der bereitgehaltenen Bearbeitungsköpfe frei wählbar).

Das nahezu beliebig erweiterungsfähige Magazin für Einzelwerkzeuge ist längsbeweglich. Die Werkzeuge sind darin hängend angeordnet; die Beschickung kann durch ein Handhabungsgerät in Portalausführung beidseitig des Magazins erfolgen. Die Doppelgreifer-Einrichtung läßt sich um 90° schwenken, damit der Werkzeugwechsel sowohl bei vertikaler als auch horizontaler Spindellage möglich ist. Die verschlissenen Werkzeuge werden in hierfür vorgesehene Fächer abgelegt. Ein Werkzeug-Einstellgerät läßt sich ebenfalls direkt in das System integrieren.

Der Werkstückpaletten-Wechsel bzw. -Transport zwischen der Rüst- und Spannstation, den Abstellplätzen und der Maschine erfolgt mit Hilfe eines schienengeführten Doppelpaletten-Wagens. Die stationären Pufferplätze sind zum bedienlosen Betrieb in der zweiten und dritten Schicht erforderlich. Ihre Anzahl kann beliebig festgelegt werden und richtet sich nach der durchschnittlichen Werkstückbearbeitungszeit. Es lassen sich auch mehrere Bearbeitungszentren zu einem Gesamtsystem verbinden, wobei ebenfalls auch eine Waschmaschine und eine Meßstation integrierbar sind.

6 Schlußbemerkung

Die vorgestellten technischen und organisatorischen Lösungen zur Automatisierung wurden durch die konsequente Anwendung der Mikroelektronik und integrierten Datenverarbeitung ermöglicht. Neben der rechnergesteuerten Werkzeug- und Werkstückversorgung ist die automatische Prozeßführung einschließlich der Werkstück- und Werkzeugüberwachung die Voraussetzung für den angestrebten selbstkontrollierten, automatischen Betrieb und rüstzeitfreien Auftragswechsel. Dadurch kann ein bedienloser Betrieb während der Pausen und in der dritten Schicht realisiert werden.

Das führt zu einer optimalen Nutzung der Maschinen- und Personalkapazität und damit zu einer erheblichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Durch weitgehende Standardisierung der Ausführungsvarianten kann das Kosten-Leistungs-

verhältnis günstiger werden. Die Einführung läßt sich durch den modularen Aufbau auch schrittweise vornehmen, so daß auch Klein- und Mittelbetrieben die Anwendung möglich ist. Im Vergleich zur Umstellung auf die NC-Technik sind die betrieblichen Anforderungen geringer. Sie erfordert jedoch vom Anwender ein weitgehendes Umdenken und auch Lösen von üblichen Fertigungsprinzipien [8].

Literatur

- 1 Hammer, H.: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch flexible Automatisierung beim Bohren und Fräsen. *Z. wirtsch. Fertig.* 78 (1983) 2, S. 77–86
- 2 Kromberg, J.: Berliner Brain. *NC-Fertigung* 1 (1983) 2, S. 10–35
- 3 Genschow, H.: Bearbeitungszentren als Bausteine flexibler Fertigungszellen. *VDI-Z* 125 (1983) 11, S. 3–7
- 4 Seliger, G.: *Wirtschaftliche Planung automatisierter Fertigungssysteme*, Reihe Produktionstechnik Berlin, Bd. 31, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1983
- 5 Gallien, D.; Hammer, H.: Wirtschaftliches Rüsten von Baukastenvorrichtungen am Arbeitsplatz. *TZ f. prakt. Metallbearb.* 77 (1983) 5, S. 18–32
- 6 Hammer, H.; Herholz, B.: NC-Programmierung und DNC-Betrieb. *TZ f. prakt. Metallbearb.* 77 (1983) 3, S. 24–30
- 7 Hammer, H.; Schuster, J.: Neue Lösungen zur flexiblen Automatisierung beim Bohren und Fräsen, *TZ f. prakt. Metallbearb.* 77 (1983) 5, S. 7–17
- 8 Hammer, H.: Neue Lösungen zur flexiblen Automatisierung der spanenden Bearbeitung, Vortrag zum „Produktionstechnischen Kolloquium Berlin 1983“. TU Berlin, 1983 2077 A

Alle Werkbilder: DIAG Deutsche Industrieanlagen Gesellschaft mbH, Fritz Werner Werkzeugmaschinen, 1000 Berlin 48