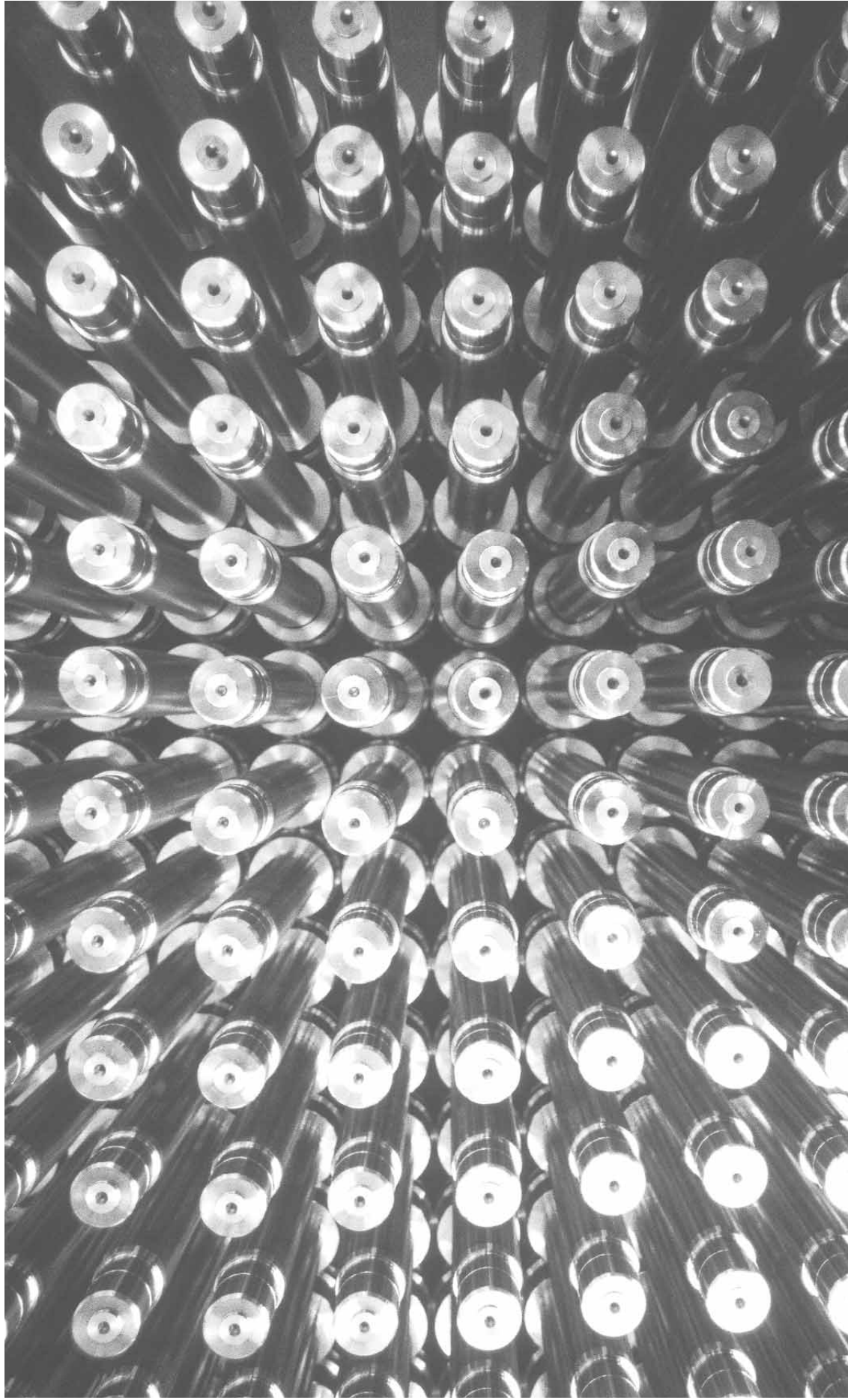


Renaissance der Mehrspindel- Drehautomaten



Autor: Helmut Friedrich Link

Bis in die 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde von vielen Fertigungsfachleuten die Meinung vertreten, dem CNC-Mehrspindler würde nie ein nennenswerter Erfolg beschieden sein, weil zu teuer, zu komplex und zu stör anfällig. Auf der anderen Seite war abzusehen, dass die kurven gesteuerten Maschinen keine Zukunft mehr hatten. Überzeugende Lösungen konnten nur erzielt werden, weil man Mehrspindler im Blick auf die CNC-Technik völlig neu konzipierte und konstruierte, das heißt "echte" CNC-Maschinen kreierte.

Ein Mehrspindel-Drehautomat kann eine Waagrecht- oder Senkrecht-Drehmaschine sein, die für die Serienproduktion von Teilen nach einem vorgegebenen Programm mit fester Folge der Arbeitsgänge gestaltet ist. Das kennzeichnende Merkmal dieser Maschinen ist - in Anlehnung an die Europäische Norm EN 13788 - die Spindeltrommel, die meist sechs oder acht parallel auf einem Teilkreis angeordnete Arbeitsspindeln besitzt.

Prinzipielle Arbeitsweisen von Mehrspindel-Drehautomaten

Die Arbeitsgänge laufen simultan an allen Arbeitsspindeln ab. Anschließend wird die Spindeltrommel um eine Spindelteilung weitergeschaltet, und ein neuer Bearbeitungszyklus beginnt. Nach jeder Trommelschaltung ist ein Werkstück fertiggestellt, das alle Stationen während einer Trommelumdrehung durchlaufen hat (Rundtakt- oder Rundtransferprinzip). Ein Werkstück kann an den einzelnen Spindelpositionen - auch Spindellagen genannt - von einem oder mehreren Werkzeugen gleichzeitig bearbeitet werden. So ist es möglich, gleichzeitig die Bohrung und mit zwei weiteren unabhängigen Werkzeugen die Außenkontur zu zerspanen.

Die längste Zeit, die in einer der Spindellagen für die Bearbeitung benötigt wird, ergibt die Stückzeit. Daher ist man bestrebt, die Summe der Arbeitsgänge gleichmäßig auf die einzelnen Spindellagen und Werkzeugträger zu verteilen, um in allen Spindellagen möglichst gleiche, minimale Bearbeitungszeiten zu erreichen. Mehrspindel-Drehautomaten haben in der Regel keine Werkzeugrevolver, weil die Zahl der Werkzeugschlitten für die benötigten Werkzeuge ausreicht. Jeder



Bild 1: INDEX MS 32 Mehrspindel-Drehautomat

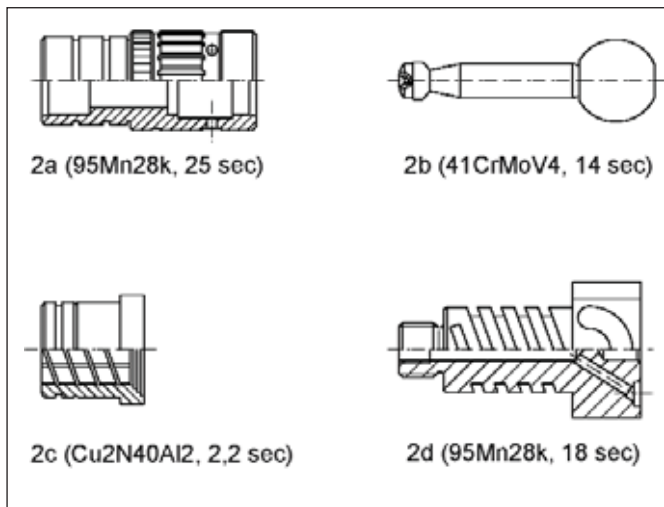


Bild 2: Bearbeitungsbeispiele: fast nur hochwertige Drehteile

Schlitten trägt folglich nur ein Werkzeug. Allenfalls werden auf einem Schlitten zwei nebeneinander liegende Werkzeuge angeordnet, die nacheinander zum Einsatz kommen, meist für die Innenbearbeitung. Als grober Anhaltspunkt gilt, dass die Produktionsleistung von CNC-Mehrspindlern fünf bis sechs Mal höher ist als von CNC-Einspindlern.

Mehrspindel-Drehmaschinen (Bild 1) dienen zur Massenfertigung von Drehteilen hauptsächlich in der Fahrzeug- und Elektroindustrie sowie in der Fluidtechnik. Die verarbeiteten Werkstoffstangen aus Stahl oder Messing sind meist 3 bis 4 Meter lang. Es existieren Maschinen von etwa 12 bis 67 mm Spindelkapazität. Die größte Häufigkeit der Maschinen liegt bei einem Spindeldurchlass von 32 mm. Für Armaturenteile werden häufig Sechskantstangen verarbeitet. Auch vorgeformte Rohlinge, wie Guss-, Schmiede-, Fließpress- und Ziehteile werden über Magaziniereinrichtungen aller Art den Maschinen automatisch zugeführt. Bei solchen Teilen werden der Materialeinsatz und damit die Zerspanarbeit deutlich reduziert.

Der Übergang von kurvengesteuerten zu CNC-gesteuerten Maschinen

Bis in die 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde von vielen Fertigungsfachleuten die Meinung vertreten, dem CNC-Mehrspindler würde nie ein nennenswerter Erfolg beschieden sein, da zu teuer, zu komplex und zu störanfällig.

Auf der anderen Seite war abzusehen, dass die kurvengesteuerten Maschinen keine Zukunft mehr hatten. Denn man legte die Maßstäbe der längst eingeführten CNC-gesteuerten, einspindligen Drehautomaten an, die in jeder Beziehung die

Kurvenautomaten übertrafen.

Anfänglich wurden die bestehenden mechanischen Maschinen mit CNC-Technik versehen, indem man die gesamte Maschinenkonzeption erhielt, und nur die Kurven durch geeignete Servoantriebe ersetzte. Regelbare Drehstrommotoren lösten die Wechselradgetriebe ab, womit sich lediglich die Rüstzeit für die Drehzahlwahl der Hauptspindeln reduzierte. Der fundamentale Nachteil, dass alle Arbeitsspindeln dieselbe Drehzahl und Drehrichtung aufweisen, blieb bestehen. Überzeugende Lösungen konnten nur erzielt werden, indem man Mehrspindler im Blick auf die CNC-Technik völlig neu konzipierte und konstruierte, also "echte" CNC-Maschinen kreierte. Die folgenden Ausführungen befassen sich ausschließlich mit solchen Maschinen.

Mit Hilfe der CNC-Technik neue Funktionen und Anwendungen

Grundsätzlich besteht kein Unterschied mehr zwischen der Funktionalität eines einspindligen und eines modernen mehrspindligen CNC-Drehautomaten. Dies gilt auch für die erzielbare Genauigkeit im Durchmesser, wo Toleranzen von 0,01 bis 0,02 mm erreicht werden (oft kann ein nachträglicher Schleifarbeitsgang entfallen). Dafür waren hauptsächlich zwei Bedingungen zu erfüllen: Alle Arbeitsspindeln müssen unab-

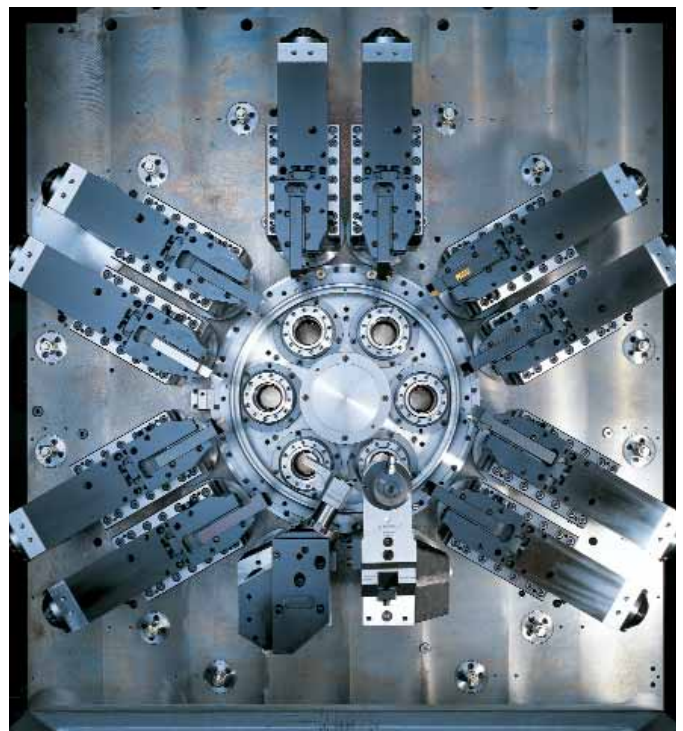


Bild 3: Frontdrehmaschine mit zwölf Werkzeugträgern

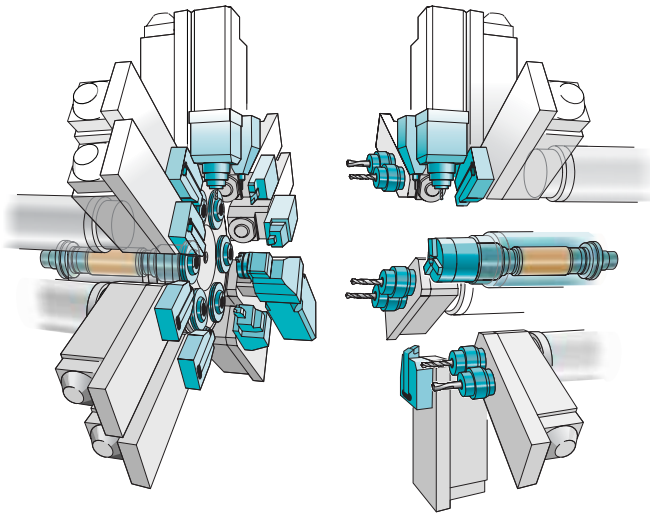


Bild 4: Maschine mit Gegenspindel und zusätzlichen Werkzeugträgern zur Innenbearbeitung

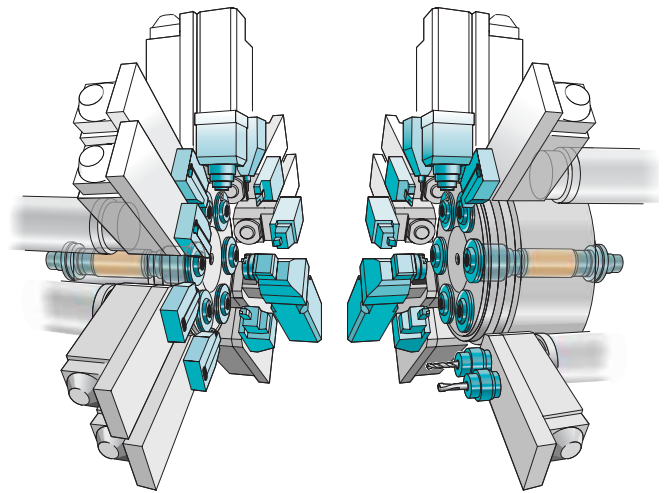


Bild 5: Maschine mit zusätzlicher Gegentrommel

hängig in der Drehzahl regelbar (Motorspindeln) und alle Werkzeuge müssen bahngesteuert sein.

Darüber hinaus waren bei Bedarf noch weitere Achsbewegungen wie C- und Y-Achse vorzusehen. Sie erlauben in Verbindung mit rotierenden Werkzeugen eine Vielfalt von Bohr- und Fräsbearbeitungen. Diese Werkzeuge werden von separaten Elektro- oder Hydromotoren angetrieben.

Elektronische Getriebe, zum Beispiel zwischen Werkstück und Abwälzfräser oder zwischen Arbeitsspindel und Gegenspindel, erweitern die Fertigungsmöglichkeiten erheblich. Die neue Qualität der Mehrspindler hatte zur Folge, dass fast ausschließlich hochwertige Drehteile bearbeitet werden, die auf kurvengesteuerten Maschinen nicht herstellbar sind. Diese Drehteile zeichnen sich unter anderem durch komplexe Formen, vielfältige Bearbeitungen mit rotierenden Werkzeugen (zusätzlich zur reinen Drehbearbeitung), hohe Genauigkeit und schwierig zu bearbeitende Werkstoffe aus (Bild 2).

Viele im Grunde einfache Arbeitsgänge, die früher mit Mehrspindlern nicht oder nur mit aufwändigen Zusatzeinrichtungen machbar waren, lassen sich jetzt an jeder beliebigen Spindellage realisieren. Dazu zählen unter anderem das Formdrehen innen und außen, das Gewindestrehlen, das Auf- und Abschneiden der Gewinde, Stillsetzen und Indexieren der Spindel, sowie das Entspannen tiefer Bohrungen.

Bei Massendrehteilen, wie sie auf CNC-Mehrspindlern produziert werden, besteht zunehmend die Forderung nach Komplettbearbeitung, weil diese folgende Vorteile mit sich bringt:

- Keine zusätzliche automatisierte Maschinen
- Keine zusätzlichen Spannmittel mit Teileorientierung
- Erhöhte Genauigkeit wegen fehlender Umspannvorgänge
- Kürzere Bearbeitungszeit, weil Handhabungszeiten entfallen
- Grاتفreiere Teile, weil nach Bohr- und Fräsarbeiten die Grate durch erneutes Drehen entfernt werden können
- Kürzere Durchlaufzeiten

Für die Rückseitenbearbeitung der Teile dient eine Gegen- oder Synchronspindel, die zum Beispiel das Werkstück vor dem Abstechen übernimmt und es dann der Rückseitenbearbeitung mit bis zu drei Werkzeugen zuführt. Oft genügt es zum Beispiel, die Planseite sauber zu drehen und die Bohrung zu entgraten. Eine umfangreichere Bearbeitung verbietet sich, weil die Bearbeitungszeit in dieser Spindellage und damit die Stückzeit inakzeptabel ansteigen würden.

Für eine weitergehende Bearbeitung der Werkstückrückseite benötigt man eine Maschine mit Gegenspindel-trommel. Der Trommel mit zum Beispiel sechs Arbeitsspindeln steht eine weitere mit drei oder sechs Gegenspindeln gegenüber. Die Gegenspindeln sind als verfahrbare Pinolen ausgebildet und können zur Übernahme des Werkstücks in der entsprechenden Spindellage herausfahren.

Ein in eine Gegenspindel übernommenes Teil wird während einer Umdrehung der Gegentrommel rückseitig bearbeitet. Bei nicht zu umfangreicher Bearbeitung genügen auch drei Gegenspindeln. Pro 60° Trommelschaltung der Haupttrommel macht die Gegentrommel eine Drehung von 120°.

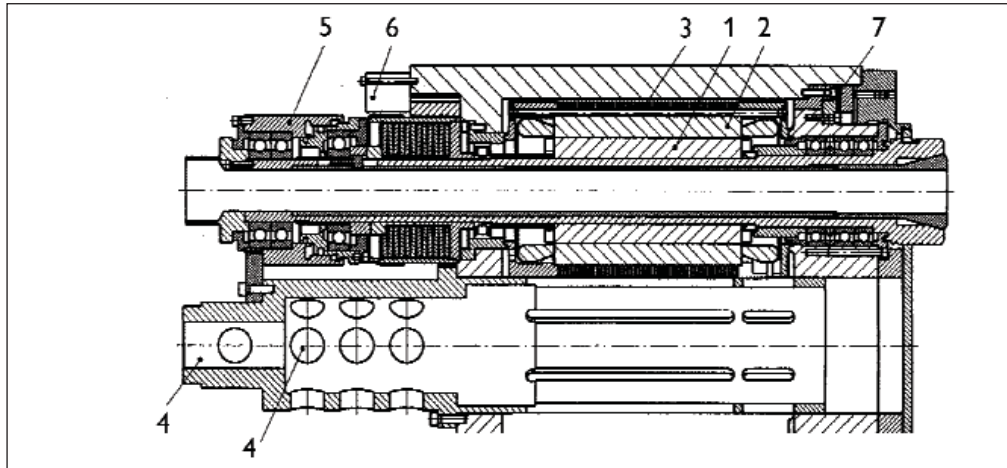


Bild 6: Aufbau einer Motorspindel

- 1 Rotor
- 2 Stator
- 3 Lufteintritt
- 4 Luftaustritt
- 5 Werkstoffspanneinrichtung
- 6 Rotorlage-Messeinrichtung
- 7 Hirth-Verzahnung für die Trommel

Die Bearbeitung in den Gegenspindeln ist nicht auf die Stirnseite der Werkstücke beschränkt, die vor dem Abstechen von der Stange unzugänglich ist. Vielmehr ist es möglich, alle Arbeitsgänge des Werkstücks auf zum Beispiel neun oder zwölf Spindeln gleichmäßig zu verteilen, um noch kürzere Stückzeiten zu bekommen.

Das Abführen der meist sehr genauen und empfindlichen Teile aus der Maschine ist nicht unproblematisch, weil die Teile nicht aufeinanderfallen dürfen. Weil bei CNC-Maschinen praktisch immer eine Synchron- oder Gegenspindel vorhanden ist, holt deshalb ein Greifer das fertige Werkstück aus der stillgesetzten Spindel und legt es auf ein Transportband, das es aus der Maschine herausführt.

Wiederholgenaue Positionierung

Hinsichtlich der Genauigkeit der Werkstücke bietet die CNC-Technik zusätzliche Möglichkeiten. Obwohl die Spindeltrommeln dank einer Hirth-Verzahnung sehr wiederholgenau positionierbar sind, gibt es doch unvermeidbare Abweichungen der einzelnen Spindelachsen auf dem Teilkreis. Diese systematischen Lagefehler lassen sich bei der Inbetriebnahme einer Maschine ausgleichen, indem man jedem Schlitten, der eine X-Achse darstellt, Korrekturspeicher zuordnet. Die jeweils anstehende Arbeitsspindel bewirkt eine individuelle Nullpunktverschiebung des Schlittens. Bei Werkstücken, die nur wenige Werkzeuge zur Bearbeitung benötigen, kann man die Maschinen auch als sogenannte Doppel-Dreispidler oder Doppel-Vierspidler betreiben.

Zum Beispiel wird ein Werkstück in den Spindellagen 1, 2 und 3 gefertigt, und parallel dazu ein zweites Teil in den Spindellagen 4, 5 und 6. Pro Trommelschaltung erhält man hier zwei Teile.

Eine andere Reihenfolge ist bei 8-Spindlern gebräuchlich. In den Spindellagen 1, 3, 5 und 7 wird ein Teil bearbeitet, gleichzeitig ein weiteres in den Lagen 2, 4, 6 und 8. Die Spindeltrommel dreht jeweils um 90°. Bei der Verarbeitung von Halbzeugen wird oft ein gefertigtes Teil mit einer Handhabungseinrichtung gewendet und der Maschine zur Bearbeitung der Rückseite mit den vier anderen Spindeln wieder zugeführt.

Waren bei Kurvenmaschinen die Losgrößen wegen des enormen Rüstaufwands sehr hoch, so konnten sie bei CNC-Maschinen entscheidend nach unten gedrückt werden (kleiner 1000 Stück). Wenn sich zum Beispiel innerhalb einer Teilefamilie die Stangendurchmesser nicht ändern, genügen

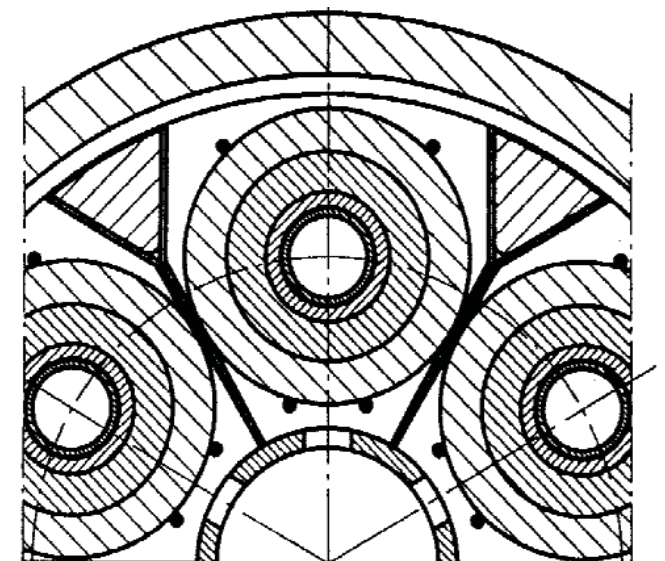


Bild 7: Querschnitt der Motorspindel

oft wenige Minuten, um das neue Steuerprogramm aufzurufen und um ein paar voreingestellte Werkzeuge zu tauschen. Wechselräder, Kurven, Nockenscheiben, Hebelübersetzungen und Festanschläge gibt es nicht mehr, und auch das Suchen der richtigen Stelle zum Festspannen der Werkzeuge entfällt.

Konzeption und Gestaltung von CNC-Mehrspindel-Drehautomaten

Wie bei vielen Werkzeugmaschinen üblich, drängt sich das Prinzip der Modularität gerade bei CNC-Mehrspindlern auf. Die vielen Spindeln, Trommeln und Schlitten sollten möglichst baugleich und gemäß der Fertigungsaufgabe konfigurierbar sein. Bild 3 zeigt die einfachste Maschine als Frontdrehautomat mit sechs Arbeitsspindeln und zwölf Werkzeugschlitten. Weil alle Schlittenbaugruppen am Spindelkasten angeordnet sind, entfällt das zweite Gehäuse, an dem die Werkzeugschlitten für die Innenbearbeitung üblicherweise untergebracht sind (Bild 4).

Die höchste Ausbaustufe stellt die Maschine mit Gegentrommel dar (Bild 5).

Bild 6 ist der Schnitt durch eine Arbeitsspindel mit integriertem Motor. Es handelt sich hier um einen luftgekühlten Asynchronmotor, dessen unterschiedliche Statorbleche derart geschichtet sind, dass großflächige Kühlrippen entstehen (Bild 7).

Die Kühlluft wird am Trommelumfang zugeführt und durchströmt alle Motoren in Richtung Trommelachse, von wo sie über ein Rohr nach außen geleitet wird.

Diese Motorkühlung ist sehr wirkungsvoll, weil auch die Wickelköpfe des Stators und der Rotor unmittelbar gekühlt werden. Als Nebeneffekt erhält man einen Luftüberdruck in der Spindeltrommel, der verhindert, dass Schmutz und Feuchtigkeit von außen in die Spindellager eindringen. Die Lager sind auf Lebensdauer fettgeschmiert.

Am Ende der Spindeln befinden sich die Rotorlagemesseinrichtung und die Werkstückspanneinrichtung. Damit die Spindelmotoren mit Lagemesseinrichtungen und die Spanneinrichtungen stets mit Kabeln beziehungsweise Hydraulikleitungen verbunden sein können, dreht sich die Spindeltrommel vor und zurück, angetrieben von einem separaten Servomotor. Nach zum Beispiel fünf Schrittschritten vorwärts von je 60° wird der letzte Schritt zum Ausgangspunkt

durch eine Trommeldrehung 300° rückwärts ausgeführt.

An geeigneter Stelle werden die Leitungen auf eine Trommel auf beziehungsweise abgewickelt. Die Rückwärtsdrehung kann sehr schnell sein. Die trotzdem anfallende längere Zeit verteilt sich aber auf sechs Werkstücke, so dass sich die Stückzeit nur um 0,1 bis 0,2 Sekunden erhöht. Neuerdings werden als Spindelmotoren auch Synchronmotoren verwendet, die einen Feldschwächungsbereich aufweisen. Ab einer bestimmten Eckdrehzahl bleibt die Leistung des Motors etwa konstant.

Die Vorteile sind: keine Wärmeentwicklung im Rotor, geringere Motormassen, dadurch höhere Beschleunigungswerte und höhere Leistungsdichte. Mit Spindelmotoren können höhere Drehzahlen erreicht werden als mit den bisherigen mechanischen Antrieben (Tabelle 1). Auch die Geräuschkentwicklung ist entscheidend geringer.

Leistungsdaten von Motorspindeln

Max. Werkstoffdurchmesser	d	in mm	22	32	52
Max. Spindeldrehzahl	n	in min ⁻¹	10000	6300	5000
Leistung bei 100 % ED	P	in kW	11,5	4	19
Leistung bei 25 % ED	Md	in Nm	17,5	8,2	29
Drehmoment bei 100 % ED	p _{max}	in kW	12	15	90
Drehmoment bei 25 % ED	Md _{max}	in Nm	19	31,3	138

Tabelle 1

Mehrspindler brauchen die hohe Dämpfungseigenschaften der Ölfilme

Es sind elektrohydraulische und elektrische Achsantriebe gebräuchlich. Erstere wurden zuerst deshalb verwendet, weil die Baugröße der Antriebsverstärker für elektrische Servomotoren riesige Schaltschränke bei zum Beispiel 30 und mehr Achsen bedingt hätte.

Bild 8 zeigt einen Kreuzschlitten, bestehend aus der Z-Achse in Form einer runden Säule, die durch den Spindelkasten hindurchgeht, und der X-Achse in Form eines Schlittens, der stirnseitig auf der Z-Säule angeordnet ist. Elektrische Servomotoren sorgen für die Vorschubbewegungen. Den Querschlitten treibt der Motor am Ende der Z-Säule über einen spielfreien Winkelantrieb und die Kugelgewindespindel im Schlittenunterteil an. Die Mutter des Kugelgewindetriebs geht in einen glatten zylindrischen Teil über, der aus dem Schlittenunterteil austritt und mit dem Schlitten verbunden ist. Bild 9 zeigt die Funktionsweise eines hydraulischen Linearverstärkers mit elektrischem Pilotmotor.

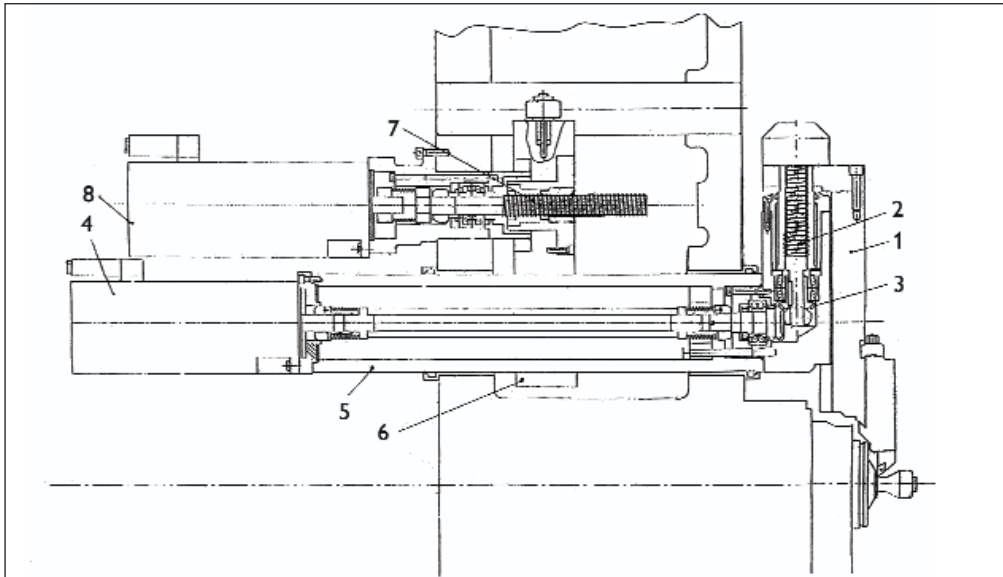


Bild 8: Kreuzschlitten

- 1 X-Schlitten
- 2 Kugelgewindetrieb X
- 3 Winkelgetriebe
- 4 Servomotor X
- 5 Z-Säule
- 6 Stützarm
- 7 Kugelgewindetrieb
- 8 Servomotor Z

Im Schlittenunterteil befindet sich der Hydraulikzylinder mit der Ventilpatrone, die ein Vierkantenservoventil darstellt (Die Steuerecken sind individuell justierbar).

Die runden Führungsbuchsen im Spindelkasten zur Lagerung der Z-Achsen Säulen werden bei modernen Maschinen als Hydrostatikbuchsen ausgeführt. Vier Taschen in jeder Buchse werden so mit Drucköl versorgt, dass selbst unter Last die Säule stets berührungsfrei auf einem Ölfilm "schwimmt". Hydrostatikführungen sind trotz mäßiger Fertigungsgenauigkeit spielfrei bei hoher Steifigkeit, verschleiß- und praktisch reibungsfrei.

Gerade bei Mehrspindlern ist die hohe Dämpfungseigenschaft der Ölfilme unverzichtbar, da alle Arbeitsgänge gleichzeitig ablaufen. Das parallele Schruppen und Schlichten zum Beispiel an benachbarten Spindeln könnte ohne die Dämpfung leicht zur Schwingungsübertragung führen.

Bei den direkt im Arbeitsraum liegenden Querschritten bevorzugt man bis heute aus Platzgründen und wegen der Schmutzunempfindlichkeit robuste Flachführungen. Reibungsarme Materialkombinationen und wirkungsvolle Schmierung sorgen für die nötige Leichtgängigkeit. Die runden Säulen der Z-Schlittenachsen (Bild 9) tragen einen Arm, dessen Ende an einer Abstützleiste anliegt und den Schlitten gegen Verdrehen sichert. An diesem Arm greift auch der Vorschubtrieb an.

Die Y-Achse steht senkrecht zur X- und Z-Achse und wird nur in Verbindung mit rotierenden Werkzeugen benötigt. Anstelle einer zusätzlichen Schlittenführung kann man die Y-Bewegung auch durch eine Kombination mit Drehbewegungen substituieren. Wie Bild 10 verdeutlicht, werden die Arbeitsspindel (C-Achse) und die Z-Schlittensäule synchron verdreht.

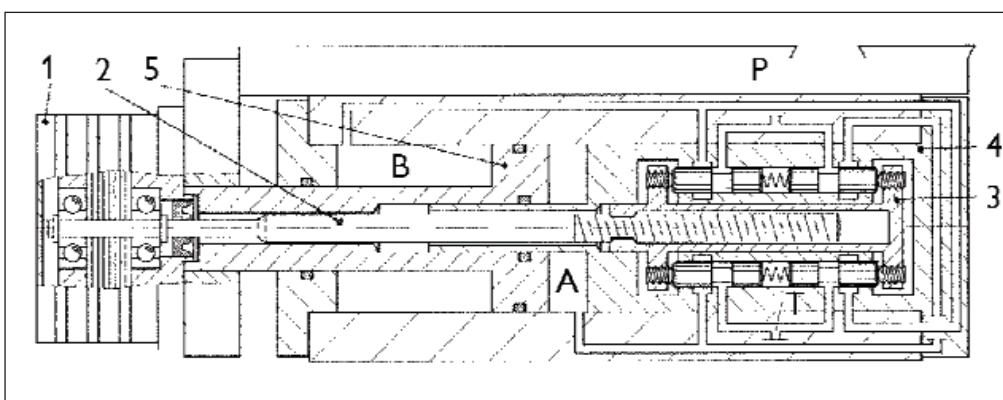


Bild 9: Querschlitten mit elektrohydraulischem Linearverstärker

- 1 elektrischer Pilotmotor
 - 2 Spindel
 - 3 Mutter
 - 4 Ventilpatrone
 - 5 Kolben
- (Hartmann + Lämle, Rutesheim)

Der Verdrehwinkel φ und eine kleine Korrekturbewegung Δx des X-Schlittens sind Funktionen des Y-Wegs, die leicht zu interpolieren sind:

$$\arcsin \frac{y}{a} \quad \Delta x = a - a \cos \varphi$$

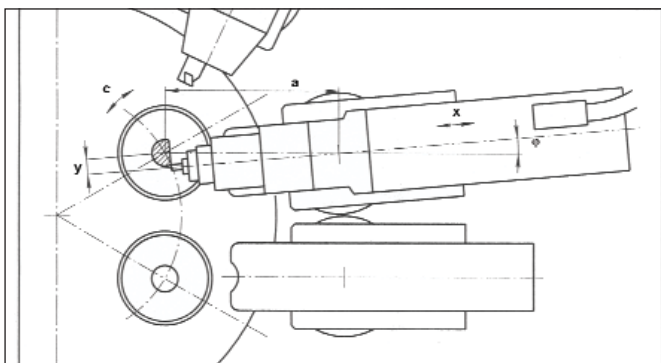


Bild 10: Prinzip der Y-Achse

Mit Hilfe dieser Konstruktion bleibt der Arbeitsraum unberührt. Man erhält eine sehr kostengünstige und robuste Y-Achse ohne zusätzlichen Schlitten.

Pro Arbeitsspindel sind zwei Kreuzschlitten, das heißt zwei unabhängige Werkzeuge vorgesehen. Zu bemerken wäre, dass alle Kreuzschlitten baugleich sind. Nur dank dieser erhöhten Werkzeuganzahl ist es möglich, komplexe Werkstücke komplett fertig zu bearbeiten.

Im "Pinolengehäuse", das dem Spindelkasten gegenüberliegt, sind die Kreuzschlitten hauptsächlich für die Innenbearbeitungswerkzeuge untergebracht. Auch diese Kreuzschlitten sind baugleich mit denen des Spindelkastens. Je nach Fertigungsaufgabe können alle oder nur ein Teil der Kreuzschlitten montiert werden. Auch eine spätere Aufrüstung ist möglich.

Werkzeugschlitten und Werkzeuge sollen möglichst glattflächig sein

Bei kurvengesteuerten Mehrspindlern war es auf Grund der relativ kleinen Schlittenwege nötig, die Werkzeughalter auf den breiten beziehungsweise langen Schlitten verschieben zu können. Bei einer CNC-Maschine ist es zwingend, dass alle Werkzeughalter in einer definierten und wiederholgenauen Position an den Schlitten befestigt werden. Das Festspannen sollte mit möglichst nur einer Schraube geschehen. Die Schlitten müssen genügend Hub aufweisen, damit die Meißelschneiden jeden Punkt des Arbeitsbereichs erreichen

können. Unter diesen Gegebenheiten können alle Werkzeuge voreingestellt und schnell gewechselt werden.

Als Schnittstelle zwischen Werkzeughalter und Querschlitten hat sich der Schwalbenschwanz nach VDI 3425 bewährt. Bei Bohrwerkzeugen dient eine zusätzliche Schnittstelle in runder Form dem schnellen Wechsel.

Bei CNC-Maschinen verzichtet man oft auf teure Formmeißel und erzeugt die Formen mit Wendeschneidplatten und der Bahnsteuerung. Neben besserer Oberflächenqualität hat man um etwa 30 Prozent reduzierte Werkzeugkosten.

Weil Späne die größte Störquelle bei Mehrspindel-Drehmaschinen sind, ist zu beachten, dass die Werkzeugschlitten und Werkzeuge möglichst glattflächig sind. Der Kühlschmierstoff wird daher innerhalb der Werkzeughalter über Bohrungen zu den Schneiden geleitet. Wegen der Späneproblematik wurden die Z-Schlitten in die Spindelgehäuse integriert. Die Meißelschneide sitzt auf der Stirnseite der Querschlitten und bildet quasi den äußersten Punkt der Einheit. Dadurch ist der Arbeitsraum weitgehend unverbaut, was dem freien Spänefall und der Zugänglichkeit beim Einrichten zugute kommt.

Ungeeignete Stangenführungen erhöhen die Ausschussquote

Im Hinblick auf die hohe Genauigkeit, mit der CNC-Mehrspindler produzieren können, kommt der Eignung der Stangenführung eine herausragende Bedeutung zu. Es ist geradezu fatal, wenn wegen der Stangenführung gelegentlich

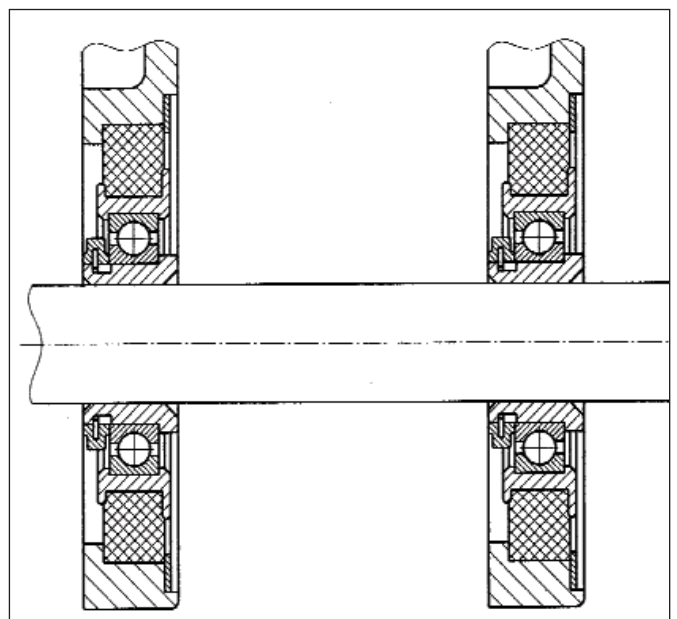


Bild 11: Werkstoffstange in kugellagerten Buchsen

erhöhte Schwingungen auftreten, die zu Ausschussteilen führen. Fordern die großen Abnehmer der Drehteile von den Zulieferanten doch Ausschussquoten von wenigen Teilen pro Million. Die von kurvengesteuerten Maschinen bekannten Geräte sind oft unbefriedigend, besonders dann, wenn von höheren Spindeldrehzahlen der Motorspindeln Gebrauch gemacht wird.

Beste Ergebnisse sind zu erreichen, wenn die Werkstoffstange in einem engen, mit Öl gefüllten Kanal geführt wird. Das bedingt leider für jeden Stangendurchmesser passende Reduzierrohre in den Spindeln und für die Stangenführung. Für Stangen größeren Durchmessers und für Sechskantstangen haben sich wälzgelagerte Kunststoffbuchsen bestens bewährt, die in Abständen entlang der Stangen angeordnet sind (Bild 11). Zur Schwingungsdämpfung werden die Wälzlager in Elastomer-Dämpfungsringe eingebaut.

Bei Stangenlademagazinen unterscheidet man zwei Typen.

- Hinterlader: Dieses Gerät schiebt die neuen Stangen von hinten in die Werkstoffführungsrohre ein, so wie es auch manuell gemacht wird. Die Baulänge der Maschine verlängert sich damit.
- Seitenlader: Die Führungskanäle können der Länge nach aufgeklappt werden, und die neue Werkstoffstange kann von der Seite in den Kanal gelangen.

Eine Stange wird nach jedem fertigen Teil vorgeschoben, was entweder von einer Vorschubzange innerhalb der Arbeitsspindel oder von einer Nachschubstange hinter dem Stangenende bewirkt wird (eine Vorschubzange reduziert den Spindeldurchlass).

Am Schieberkopf einer Nachschubstange befindet sich eine federnde Klemmhülse, die über das Stangenende geschoben wird, damit später das Reststück der Stange nach hinten herausgezogen werden kann. Da die Klemmhülse einen größeren Durchmesser des Führungskanals verlangt und damit die Güte der Stangenführung verschlechtert, ist es empfehlenswert, die Werkstoffstangen am Ende zylindrisch anzudrehen. Stange und Hülse haben dann den gleichen Durchmesser. Bei CNC-Maschinen kann man auch die Stange bei stehender Spindel mit einem Greifer vom Arbeitsraum aus vorziehen.

Für die Werkstückhandhabung gibt es eine große Vielfalt von Ausführungen, die häufig von den Anwendern selbst gebaut werden.

An einfachsten ist es bei glatten stiftförmigen Teilen, diese von hinten durch die Arbeitsspindeln zuzuführen. Die fertigen Teile werden vom Arbeitsraum aus abgeführt.

Oft werden auf die Werkstückform angepasste Magazin-

schienen verwendet, die durch Bunker und Schrägförderer oder Vibrationsgeräte gefüllt werden. Die Zuführung endet an der Arbeitsspindel, die mit Hilfe eines Einstoßers mit Rohteilen beladen wird.

Auch flexiblere, roboterähnliche Geräte lassen sich adaptieren. Bild 12 zeigt eine universelle Zuführeinrichtung, bei der das Einschleusen der Teile vom Werkstückspeicher in den Arbeitsraum auf elegante Art gelöst ist. Ein erster Greifer nimmt ein Rohteil von einem Band und transportiert es durch einen Tunnel im Spindelkasten zum Arbeitsraum, wo es ein zweiter Greifer übernimmt und mit einer Schwenkbewegung in die Arbeitsspindel bringt.

Höchste Flexibilität bieten frontoffene Mehrspindeldrehautomaten, in die sich frei programmierbare 6-achsige Industrieroboter integrieren lassen. Die Werkstücke werden hierbei über einen einfachen Drehteller dem im Arbeitsraum befindlichen Roboter zu- und abgeführt. Durch diese Variante können auch relativ schwere Teile mit über 100 mm Außendurchmesser noch sicher zugeführt werden (Bild 13).

Spezifische Steuerungsprobleme bei CNC-Mehrspindlern

Jede Arbeitsspindel wird von einer eigenen CNC-Teileinheit (Kanal) mit einem separaten Teileprogramm versorgt.

Ein spezifisches Steuerungsproblem an Mehrspindel-Drehmaschinen besteht darin, dass nach jeder Schaltung der Spindeltrummel die Spindeln mit den ortsfesten Schlittenachsen einen neuen Bearbeitungsverbund bilden; das heißt, jede Spindel ist nun mit einem anderen Kanal verbunden. Dies darf keine Auswirkungen auf das Bearbeitungsprogramm haben, und auch der Bediener darf davon nichts merken.

Man spricht hier von "vagabundierenden" Spindeln, weil sie nicht, wie sonst üblich, einer CNC-Teileinheit fest zugeordnet sind. Alle Spindeln der Maschine werden also bei der Trommelschaltung synchron und logisch an die folgenden Kanäle weitergereicht. Die Zeit der Trommelschaltung wird auch genutzt, um die Spindeln auf die Drehzahlen oder Winkelpositionen für die nachfolgenden Arbeitsgänge zu bringen.

Ein vergleichbares Problem besteht auch bei Achsen, die bei der Trommelschaltung einem anderen Kanal übergeben werden müssen. Es sind stets die mit einer Trommel verbundenen Achsen, wie zum Beispiel die Z-Achsen einer vertikalen Maschine mit Pick-up-Spindeln, oder die Z-Achsen der Spindeln in einer Gegentrommel.

Verschärfend wirkt hier, dass vagabundierende und ortsfeste Achsen einen interpolatorischen Verbund darstellen und ver-

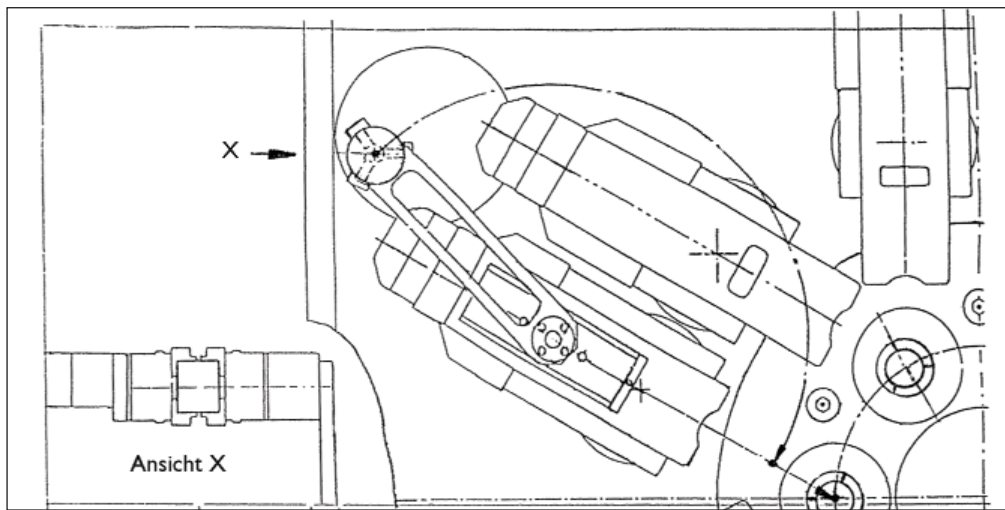


Bild 12: Universelle Zuführeinrichtung für Rohteile

antwortlich für die Werkstückkontur sind (Geometrieachsen). Bei jedem Partnerwechsel muß die exakte Position übergehen und im neuen Kanal verrechnet werden.

Selbstverständlich müssen bei jeder Trommelschaltung auch die Werkzeugkorrekturen mitberücksichtigt werden.

Wie erwähnt, können systematische Fehler der Spindelachsen kompensiert werden. Diese "rollierenden" Korrekturwerte sind additiv mit den aktuellen Werkzeugkorrekturen zu verrechnen. Im Prinzip können Korrekturen dieser Art außer für die X-Achsen bei Bedarf auch für sämtliche anderen Achsen vorgesehen werden.

Bei leistungsstarken CNC-Steuerungen hat sich die Kanalstruktur durchgesetzt. Jeder Kanal steuert unabhängig von den anderen einen Bearbeitungsprozess, der mehrere interpolatorisch miteinander verknüpfte Achsen beziehungsweise Spindeln umfasst. Eine den Kanälen übergeordnete Ablaufsteuerung sorgt mit besonderen Programmbefehlen für die Synchronisation aller Abläufe wie Spindel-trommelschaltung und Weiterreichung der Spindeln und Achsen gemäß dem CNC-Teileprogramm; dies in Verbindung mit der Maschinenanpasssteuerung (SPS, PLC), die die physikalischen Aktionen steuert und überwacht.

Moderne Steuerungen wie die Siemens Sinumerik 840 D weisen bis zu zehn Kanäle (Einzelsteuerungen) auf und können max. 31 Achs- oder Spindel-motoren ansteuern und verwalten. Die Zahl der Achsen kann vervielfacht werden, wenn zwei oder gar drei dieser Steuerungen mit echtzeitfähigen Verbindungsbaugruppen (CNC-Link) verknüpft werden.

Der Bauraum dieser Steuerungen und der zugehörigen

Leistungselektronik ist so minimal, dass sie sich auf dem Dach der Maschinen unterbringen lassen.

Die Zugänglichkeit zur Maschine, die Verkabelung, der Transport der Maschine und der Platzbedarf sind optimal gelöst.

Ein Werkzeugfolgeplan erleichtert die Arbeitsplanung

Es ist eine hohe Kunst, die Arbeitsgänge optimal auf die Spindellagen und Werkzeugschlitten zu verteilen. Zu beachten ist, dass keine

Kollisionen von Werkzeugen und Haltern und keine technologischen Kollisionen auftreten. In manchen Fällen gibt es zeitbestimmende Arbeitsgänge, die sich leider nicht weiter unterteilen lassen, etwa das Strehlen eines sehr großen Gewindes. Eine problemorientierte Rechnerunterstützung kann die Planung erleichtern. Ein Werkzeugfolgeplan mit den vorgesehenen Werkzeughaltern und den Einstellmaßen der Meißelschneiden ist stets eine positive Hilfe. Anders als bei Kurvenmaschinen lassen sich die Schnittwerte und die Werkzeugfolge beim Einfahren eines Teils ohne Aufwand optimieren.

Die Programmierung gestaltet sich einfach, weil jede Spindellage als separate Maschine betrachtet und für sich programmiert wird. Abhängigkeiten oder Einschränkungen der Spindeln untereinander existieren nicht. Aber es ist möglich, Querbeziehungen zwischen den Kanälen herzustellen.

So können durch Einfügen von Synchronisationsmarken zwischen mehrere Kanäle die Einzelprogramme erst weiterlaufen, wenn alle ihre Synchronisationsmarke erreicht haben. Entsprechendes gilt auch für das Ende aller Bearbeitungen, als Voraussetzung für die Trommelschaltung.

Die Bearbeitungsprogramme der CNC-Teilsysteme werden im NC-Code nach DIN 66025 erstellt. Die Programmierung ist also kaum anders als bei anderen Drehmaschinen.

Auch das Einrichten und Testen eines Werkstücks ist komfortabel, da jedes Werkzeug und jede Spindel allein arbeiten kann. Somit können die Arbeitsgänge der Reihe nach gestartet und korrigiert werden.

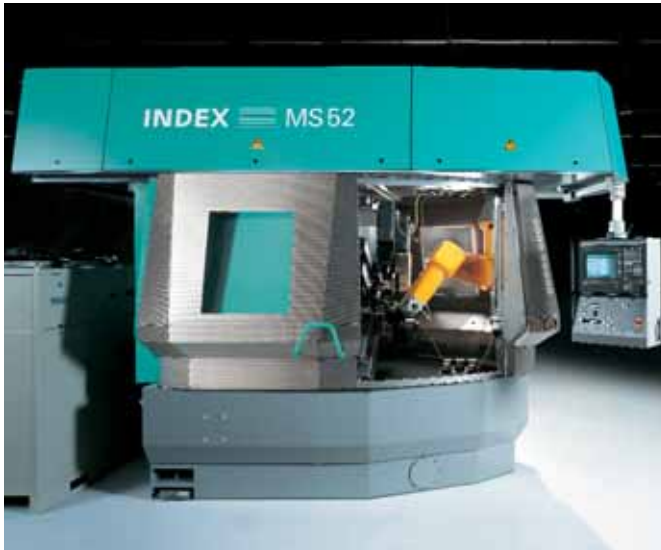


Bild 13: Frei programmierbarer 6-Achs-Roboter

CNC-Mehrspindler werden auch ökonomisch immer unentbehrlicher

CNC-Mehrspindel-Drehautomaten haben seit mehreren Jahren einen festen Platz bei der Drehteileproduktion erobert. Ihre Akzeptanz und Verbreitung weist eine steil ansteigende Tendenz auf. Auch aus wirtschaftlichen Gründen (Stückkostenreduzierung) wird ihr Einsatz immer unentbehrlicher.

Sicher werden die kurvengesteuerten Maschinen noch viele Jahrzehnte ihre Arbeit wie bisher verrichten. Aber der Bau von Kurvenmaschinen wird in wenigen Jahren stark zurückgehen, vielleicht sogar eingestellt werden.

Damit wird es kostengünstiger sein, eine aus einfach montierbaren Modulen zusammengestellte CNC-Maschine zu bauen als eine mechanisch sehr aufwändige Kurvenmaschine. Auch die Entwicklung der CNC-Steuerungs- und Antriebstechnik weist in diese Richtung.