

Die Suche nach dem letzten Tausendstel

Wenn der Anwender einer Werkzeugmaschine von Genauigkeit spricht, versteht er darunter die Genauigkeit des zu produzierenden Teils. Was wird jedoch darunter verstanden und wie erfüllt der Werkzeugmaschinenhersteller diese Forderung?



Für die Konstrukteure der Werkzeugmaschinen von TORNOS umfasst die Genauigkeit eines Teils vor allem zwei Elemente: Die Masshaltigkeit des Teils, das heißt die Einhaltung der meist sehr engen Toleranzen sowie die Sicherstellung der geometrischen Toleranzen von Rundheit und Parallelität. Eine weitere Anforderung ergibt sich aus der Oberflächenqualität. In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass die Methoden und Mittel zur Kontrolle in den letzten Jahren erheblich weiterentwickelt wurden und die Kunden aufgrund der besseren Ausstattung die gelieferten Teile häufig besser beurteilen können.

Derzeit zeichnet sich noch eine neue Anforderung ab: Immer mehr Anwender fordern einen Beweis der Maschinenfähigkeit CM und der Prozessfähigkeit CP.

Die Maschinenfähigkeit (CM)

Die Maschinenfähigkeit CM (capabilité machine) bezeichnet die Fähigkeit einer Maschine, ein Werkstück aus einem gegebenen Werkstoff in den vorgegebenen Abmessungen und unter spezifischen Bedingungen zu realisieren.

Die Maschinenfähigkeit wird anhand einer definierten Anzahl von Werkstücken gemessen, welche bestimmte Zeichnungs-Kriterien erfüllen müssen.

Die Prozessfähigkeit (CP)

Eine Werkzeugmaschine muss nicht nur in der Lage sein, bei einer vorgegebenen Werkstückserie eine hohe CM zu gewährleisten, sie muss dies auch bei längerer Produktionszeit sicherstellen. Der Fachmann spricht in diesem Fall von der Wiederholbarkeit. Dies ist jedoch nicht alles! Heutzutage fordern die Kunden eine statistische Kontrolle, welche gewährleistet, dass der eingesetzte Drehautomat in der Lage ist, die präzisen Werkstücke nicht nur eine Stunde oder einen Tag lang zu produzieren, sondern auch einen Monat und länger. Mit anderen Worten: Die gesamte Serie muss die gleichen Qualitätskriterien erfüllen. Diese Fähigkeiten einer Maschine werden mit der Prozessfähigkeit CP (capabilité process) umschrieben.

Die Steifigkeit – ein wesentliches Kriterium

Um alle diese Anforderungen er-

füllen zu können, haben die Ingenieure von TORNOS in die Drehautomaten der MULTI-DECO-Serie eine ganze Reihe von Elementen integriert, um sowohl die CM als auch die CP zu verbessern. Tatsächlich basiert die Genauigkeit eines Drehautomaten auf zahlreichen Faktoren des Maschinenkonzeptes.

Ein Schlüsselement findet sich in der Maschinenstruktur. Der Sockel der MULTI-DECO besteht beispielsweise aus Mineralguss. Dieses Material absorbiert mit seiner Masse allfällige Vibrationen und gewährleistet damit eine besondere Laufruhe des Drehautomaten. Damit leistet der Maschinensockel einen direkten Anteil an die Qualität der MULTI-DECO.

Zudem wird die metallene Struktur der MULTI-DECO-Serie auf Elementen aus Sphäroguss, einem Werkstoff der sich ebenfalls hervorragend für die Absorption von Vibrationen eignet, aufgebaut. Die Wahl der Werkstoffe und die besonderen Elementstrukturen reduzieren auch hier signifikant die Vibrationen und sind wenig empfindlich auf Deformationen.

Temperaturstabilität – der Schlüssel zum Erfolg

Fachleute wissen um die Auswirkungen thermischer Einflüsse. Eine Temperaturabweichung in der Maschine führt zu Genauigkeitsschwankungen beim zu bearbeitenden Teil. Diese überschreiten häufig einen hundertstel Millimeter. Wenn eine Toleranztreue von plus/minus 0,005 mm gefordert wird, sind die Folgen solcher Schwankungen höchst kritisch.

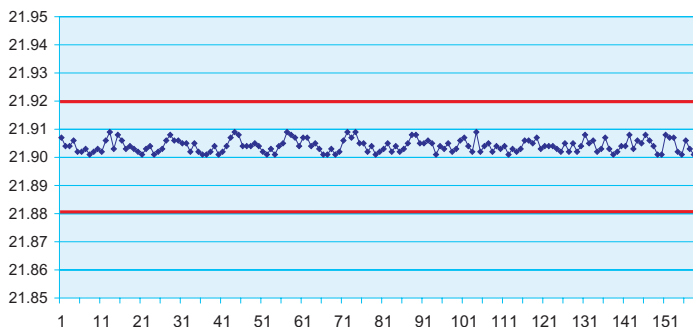
Um dieses Phänomen zu reduzieren, haben die Konstrukteure der MULTIDECO-Serie den Schneidölbehälter – er fasst je nach Modell tausend Liter und mehr – aus dem Maschinensockel entfernt. Das Schneidöl wird zudem kontinuierlich auf stabiler Temperatur gehalten. Ein Ölstrom von 300 l/min zirkuliert im Bearbeitungsbereich, der dank der Temperaturstabilität des Öls eine kontrollierte Temperatur mit einer Toleranz von $\pm 0,2$ °C innehält. Das Öl wird auch durch die Lagerung der Spindeln geleitet und gewährleistet so die Temperaturstabilität der gesamten Maschine.

Zur weiteren Verbesserung der Temperaturkontrolle in der Maschine und zur Vermeidung von Wärmestaus im Bearbeitungsbereich werden die Öldämpfe über einen Filter abgesaugt. Auf diese Weise werden Wärmenester vermieden und die Genauigkeit der Maschine erhöht.

Der Ölfluss bei kontrollierter Temperatur bringt noch weitere Vorteile mit sich: Ohne dieses System kann die Spindeltemperatur leicht auf 60°C steigen. Bei dieser Temperatur reagiert die Spindel empfindlich auf die Einflüsse der Umgebungsluft. Beispielsweise kann sich durch das Öffnen der Maschine zu Kontrollzwecken oder zum Entfernen von Spänen die Spindeltemperatur derart stark absenken, dass sich dies negativ auf die Präzision auswirkt. Dank der Spindelkühlung wird die Spindeltemperatur jedoch fortlaufend kontrolliert. Auf diese Weise werden Temperaturschwankungen vermieden. Die Temperaturkontrolle der Maschine ist unter allen Umständen gewährleistet, wodurch besonders die CP sichergestellt wird, was vor allem von jenen Anwendern geschätzt wird, denen es auf den letzten Tausendstel Millimeter ankommt.

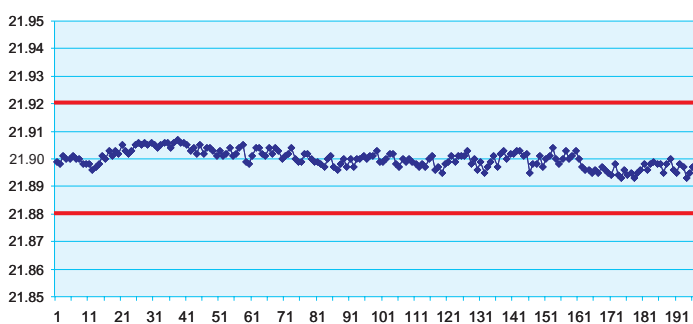
Aktive Kühlung unterstützt die Werkzeuge

Bei den aktuellen Modellen weisen die Schneidölpumpen eine erheblich höhere Förderleistung auf. Dazu wurde die Kühlung direkt in die Werkzeuge integriert. Dank dieser Leistungssteigerung werden



TORNOS 4.xls: Messprotokoll eines auf der MULTIDECO hergestellten Drehteils unter folgenden Versuchsbedingungen:

Drehautomat eine Stunde vorgewärmt
Werkstoff: Inox 303
Zykluszeit: 7,5 Teile/min
Entnahmebedingungen: 160 Teile auf einmal
Zugelassene Toleranz: $21,90 \pm 0,02$ mm
Gemessener Toleranzbereich: 0.08 mm



TORNOS 5.xls: Messprotokoll eines auf der MULTIDECO hergestellten Drehteils unter folgenden Versuchsbedingungen:

Drehautomat vier Stunden vorgewärmt
Werkstoff: Inox 303
Zykluszeit: 7,5 Teile/min
Entnahmebedingungen: 8 Stunden Produktion, 5 Teile alle 25 Minuten.
Zugelassene Toleranz: $21,90 \pm 0,02$ mm
Gemessener Toleranzbereich: 0,014 mm

die Schnittwerkzeuge noch besser gekühlt und die Späne auch beim Bohren stetig und zuverlässig entfernt. Das Werkzeug kann daher optimaler eingesetzt werden, was sich in einer höheren Schnittpräzision sowie einer verlängerten Werkzeuglebensdauer auswirkt.

Dank der engen Zusammenarbeit von TORNOS mit verschiedenen Anbietern von Werkzeugen und Werkzeugsystemen wurde der Werkzeugeinsatz kontinuierlich verbessert und die MULTIDECO den neuen Anforderungen des Marktes angepasst.

Voluminöser Werkzeughalter für mehr Stabilität

Ein weiterer struktureller Aspekt findet sich in den Werkzeughaltern. Die Entwickler haben auf den Schlitten ausreichend Platz vorgesehen, um auch solide und

voreinstellbare Werkzeughalter unterstützen zu können. Diese haben in den vergangenen sechs Jahren eine bemerkenswerte Entwicklung durchlaufen, so sind sie zum Beispiel stabiler geworden, da sie mittlerweile erheblich grösser sind. Zudem haben die Entwickler die Werkzeugkühlung in das Werkzeug integriert. Fehler aufgrund von zu starkem Festziehen bei manueller Werkzeugeinstellung treten nicht mehr auf. Die Werkzeughalter können wiederholt montiert und demontiert werden, ohne dass die Präzision des Drehautomaten beeinträchtigt wird. Somit tragen auch die Werkzeughalter mit zur Genauigkeit der Maschine bei.

Das Maschinenkonzept sieht im Weiteren vor, dass die bisher mit einem gewissen Spiel montierten Schlitten nunmehr mit einer

Die Suche nach dem letzten Tausendstel

Vorspannung auf den Rollkörpern montiert werden. Das früher aufgrund des Maschinenkonzepts vorhandene Spiel wird damit faktisch eliminiert.

Maschinentoleranzen ausgehebelt

Ein Fehler, der bei mechanischen Maschinen stets anzutreffen war, ist der «Spindeltrommelfehler». Aufgrund der Herstellung und Montage ist eine Spindel nie hundertprozentig genau, sondern weist immer einen Fehleranteil auf, der zum Beispiel bei der einen Spindel +2 und bei der anderen -2 Mikron betragen kann. Solche Fehler summieren sich. Da sich die Dreharbeiten auf den Durchmesser beziehen, verdoppelt sich dieser Fehler sogar. Der Bediener muss daher diese Tatsache bei der Einstellung der Maschine mit berücksichtigen.

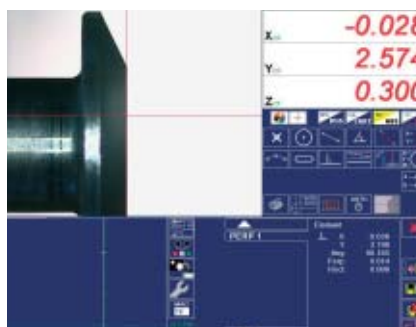
Mit der digitalen Steuerung genügt es, die Abweichung zu messen und die entsprechenden Parameter einzugeben. Die Positionierung der digital gesteuerten Schlitten erfolgt über die Steuerung, so dass die herstellungs- und/oder montagebedingte Abweichung der Spindel durch eine angepasste Korrektur ausgeglichen werden kann. Diese Korrektur erfolgt für jede Spindel, was wiederum zu einer Verbesserung der Wiederholbarkeit führt. Für die digitale Korrektur wird lediglich eine einzige Zeile in den Bearbeitungsparametern der Steuerung benötigt.

Die gleiche Einfachheit findet sich bei der Eingabe von Korrekturwerten für voreingestellte Werkzeuge. Der Einrichter misst das erste Teil aus. Weicht das Mass beispielsweise um drei Mikron ab, korrigiert er den entsprechenden Wert in der Steuerung, wohlge-merkt ohne die Maschine zu öffnen.

Das Ende der Kalibrierwerkzeuge

In der Vergangenheit haben sich die DECOLeure bei Mehrspindel-automation in der Regel mit Kalibrierwerkzeugen beholfen. Obschon mit der Maschine beispielsweise fünf Tausendstel eingehalten werden konnten, wies das Werkzeug eine Genauigkeit von einem hundertstel Millimeter auf. Daher bestimmte nicht die Maschine sondern das Kalibrier-

strenge Kontrollen anwenden. Stellte er eine Abweichung fest, war ein manueller Eingriff an der Maschine angesagt. Hierzu musste die Maschine angehalten und der beanstandete Wert korrigiert werden. Mit dieser Vorgehensweise liessen sich jedoch nur sehr selten Ergebnisse innerhalb eines Mikron erzielen, da beim Arretieren des Werkzeugs mit einem Schlüssel jederzeit Einstellabweichungen möglich waren. Stellte der



Messung des rechten Winkels zwischen der großen Fläche und dem kleinen Außendurchmesser mit Hilfe eines Kontrollwerkzeugs der neuesten Generation. Erzieltes Ergebnis: 0,014 mm (Standardwert für rechten Winkel).

werkzeug die Genauigkeit derselben. Dieses Werkzeug war zudem sehr teuer, spezifisch und variierte je nach Form des Werkstücks.

Seit vielen Jahren ist deshalb das Kalibrierwerkzeug in den Köpfen vieler Praktiker verankert, welche den traditionellen Mehrspindel-automaten kennen. Aus diesem Grund sind einige Anwender auch heute noch der Meinung, dass mit einer Mehrspindelmaschine keine hohe Genauigkeit erzielbar ist und zudem ein kompliziert einzustellendes Werkzeug eingesetzt werden muss.

Dank der digitalen Steuerung sind diese Maschinen heute jedoch bereits von sich aus ohne ein separates Werkzeug präzise. Darüber hinaus benötigen sie solche Werkzeuge nicht mehr, um eine höhere Qualität zu erzielen.

Eingriffe sind jederzeit möglich

Bisher musste der Bediener bei der gesamten Werkstückbearbeitung

Bediener sogar einen Fehler an der Kurvenscheibe fest, brauchte es viel, um auf diesem Niveau einzugreifen.

Dank der digitalen Steuerung kann der Bediener heute jederzeit über die Steuerung eingreifen, ohne die Maschine anhalten zu müssen. Er muss lediglich einen Korrekturwert eingeben. Der Bediener hat sogar die Möglichkeit, schrittweise vorzugehen, indem er einen Korrekturwert vorerst nur teilweise eingibt.

Diese Möglichkeit weist noch einen anderen Vorteil auf: Bisher «programmierte» der Bediener eine Geschwindigkeit für die Maschine und einen Vorschub auf der Kurvenscheibe. Diese Werte waren fix und eine allfällige Änderung war aufwendig. Dies ist heute anders: Bei einem neuen Werkstück oder neuen Werkstoff kann der Bediener – digital – schrittweise den Vorschub und die Geschwindigkeit anpassen, um die Schnittbedingungen zu optimie-

Die Suche nach dem letzten Tausendstel

ren. Keine Kompromisse mehr – mit seinem Fachwissen kann der Bediener alle Register ziehen, da die Steuerung jederzeit Änderungen an den Einstellungen ermöglicht. Diese Einfachheit ermöglicht punktuelle Korrekturen, um den gesamten Prozess weiter zu verbessern.

Vom Mechaniker zum Prozessbetreuer

Der Dreher der Vergangenheit arbeitete mit seinen Einstellwerkzeugen und griff direkt in den Maschinenbetrieb ein. Heute ist er mehr ein Prozessbetreuer als ein Mechaniker. Auch wenn die Arbeit nun weniger manuelle Fähigkeiten erfordert, sind die Anforderungen an das Fachwissen im Bereich der digitalen Steuerung merklich gestiegen. Anstatt an der Kurvendrehmaschine zu arbeiten, um die Einstellung abzuschließen, muss der Bediener heute eher am Computer ein Programm ändern. TORNOS berücksichtigt diesen Aspekt und führt adäquate und kontinuierliche Schulungen am Produkt durch.

Moderne Messvorrichtungen entlasten den Bediener in beträchtlicher Weise und verbessern gleichzeitig die Qualität der Werkstückkontrolle. Die Zeit für manuelle Messungen am Werkstück wurde erheblich verkürzt, so dass eventuell erforderliche Änderungen schneller durchgeführt werden können. Für den Bediener wurde der Zugriff auf die Genauigkeit stark vereinfacht, so dass diese nun viel leichter zu realisieren ist. Die Verbesserung der Werkstückgenauigkeit führt auch zu einer Aufwertung seines Rufs als Fachmann.

Blick in die Zukunft

Derzeit erfolgt die Qualitätskontrolle mit Hilfe eines passenden Standardwerkzeugs. Ausserdem wird die Lebensdauer des Schneidwerkzeuges von der Erfahrung,

dem Fachwissen und der Qualitätskontrolle des Bedieners bestimmt. Dieser kann in die Steuerung eine Lebensdauer von beispielsweise 1000 Werkstücken eingeben. Ist diese Anzahl erreicht, gibt die Steuerung ein entsprechendes Signal aus. Der Bediener wechselt daraufhin beispielsweise die Wendeplatte, ohne den wirklichen Zustand deren Schneiden zu berücksichtigen. Kann der Bediener innerhalb einer vordefinierten Zeit nicht eingreifen, stoppt die Maschine, um Ausschussteile oder Werkzeugschäden zu vermeiden. Die Entwicklung geht hin zur kontinuierlichen Produktion. Die automatische Werkstückkontrolle mit Hilfe von statistischen Werten wird ebenfalls immer mehr gefragt.

Die Entwicklungsingenieure bei TORNOS bereiten eine Antwort auf diese Anforderungen vor. Derzeit passen sie eine bereits erfolgreich in Einspindel-Drehautomaten eingesetzte Schnittstelle auf die Mehrspindel-Drehautomaten an. Dank dieser Schnittstelle kann eine externe Messstation an die Maschine angeschlossen werden. Diese prüft fortlaufend bestimmte Abmessungen der Teile und überträgt die Werte an die Steuerung der MULTIDECO. Diese wird gegeb-

nenfalls mit einer Verzögerung von einigen wenigen Teilen denjenigen Wert korrigieren, der eine weglau-fende Tendenz hat.

Darüber wird die Steuerung in der Lage sein, selbständig Statistiken zu erstellen und gleichzeitig den Zustand der maschineneigenen Systeme zu beobachten. Diese Beobachtung kann auch auf den Werkzeugzustand ausgedehnt werden, um den Bediener auf einen notwendigen Werkzeugaustausch aufmerksam zu machen. Die Ingenieure erwarten von diesem System unter anderem eine längere Werkzeug-Lebensdauer und somit einen Investitionsgewinn ohne Qualitätsverlust.

Zusammenfassung

Genauigkeit – ein vielschichtiges Konzept. Die obigen Erläuterungen belegen es: Für eine Genauigkeit, die dieses Namens würdig ist, müssen die Entwickler einer Werkzeugmaschine eine Vielzahl von Elementen berücksichtigen, angefangen beim Maschinensockel bis hin zur interaktiven Steuerung. Die gesamte Umgebung spielt eine Rolle und die Entwickler der MULTIDECO haben hierfür Lösungen gefunden.

Die fünf Ms der Genauigkeit

Das erste M: Die Maschineumgebung

Die Umgebung, in der die Maschine eingesetzt wird, beeinflusst die Genauigkeit erheblich, so beispielsweise eine klimatisierte Werkstatt.

Das zweite M: Die Methoden

Die Programmflexibilität und Standardwerkzeuge ermöglichen garantierte Ergebnisse mit Hilfe von modernen Messvorrichtungen.

Das dritte M: Der menschliche Faktor

Ein Bediener, der noch nie auf einem derartigen Drehautomaten gearbeitet hat, wird eine gewisse Einarbeitszeit benötigen.

Das vierte M: Der Werkstoff

Jeder Werkstoff muss anders bearbeitet werden. Selbst von einer Charge zur anderen oder von einem Anbieter zum Anderen erzielt der Bediener nicht die gleichen Resultate. Dank der flexiblen Vorgehensweise realisiert der Bediener eine erfolgreiche Bearbeitung.

Das fünfte M: Die Maschine

Ein gutes Qualitätsprodukt stellt den Kunden durch seine Konformität, seinen Preis, seine Termintreue und seinen Service zufrieden.