

In einer Serie von Beiträgen wird ein Überblick zu verschiedenen relevanten Aspekten rund um das Thema Frästechnologie geboten. Die Serie beginnt mit der Vermittlung einführer Background-Informationen, um in der Folge Stichworte wie z. B. Kalkulation, Präzision, Frässtrategien etc. zu erörtern.

Ausgabe Juni 2009 – Teil 1: Scanner, CAD-Software, CAM-Modul, Fertigungsmaschinen, STL
Ausgabe September 2009 – Teil 2: Kalkulation, HSC-Maschine, Chrom-Cobalt, Zirkoniumdioxid
Ausgabe Oktober 2009 – Teil 3: Linearachsen, Führungssysteme, Getriebe, Antriebsmotoren
Ausgabe November 2009 – Teil 4: Antriebe von Drehachsen
Ausgabe Dezember 2009 – Teil 5: Bauweise von Fräsmaschinen, C-Ständer, Portale, Baustoffe
Ausgabe März 2010 – Teil 6: CNC-Steuerung, Anordnung der Achsen, Koordinatensystem
Ausgabe April 2010 – Teil 7: Fräswerkzeuge, Beschichtung, Geometrie
Ausgabe Mai 2010 – Teil 8: Auswahlkriterien für die Wahl des geeigneten CAD/CAM-Konzepts
Ausgabe Juni 2010 – Teil 9: Prozessabstimmung, Fertigungsgenauigkeit bestimmende Maschinenelemente, Wartung

Präzision hat viele Facetten

Redaktion (Teil 9)

„Wie präzise ist die Maschine?“ lautet eine häufig gestellte Frage CAD/CAM-interessierter Zahntechniker, die auf der Suche nach einer Fräseinheit sind. Und tatsächlich geben einige Unternehmen hierzu Werte an. Allerdings wäre es kurzfristig, pauschal davon auszugehen, dass eine CNC-Fräsmaschine, für die z. B. 10 µm angegeben werden, per se besser sei als die mit einem Wert von beispielsweise 20 µm. Denn zahllose Faktoren, die nicht nur die Maschine betreffen, beeinflussen die Fräsgenauigkeit.

Schon in der Diskussion rund um das Thema Zirkoniumdioxid ≠ Zirkoniumdioxid wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass die Qualität von Rohlingen aus diesem Werkstoff von unterschiedlichsten Prozessparametern abhängt. Diese reichen u. a. von der Güte der Rohstoffe über das Pressverfahren bis hin zu der Brandführung. Ähnlich verhält es sich mit der Fräsgenauigkeit.

Prozesskette

Wie erklärt sich das Phänomen, dass zwei verschiedene Anwender bei gleichen CAD/CAM-Systemen und gleichen Parametereinstellungen jeweils ein locker auf dem Stumpf sitzendes und ein sehr enges Käppchen erzielen? Hierbei handelt es sich nicht um eine Ausnahme, sondern vielmehr die Regel.

Zurückzuführen ist dies darauf, dass für die einzelnen Komponenten nur scheinbar festgelegte Präzisionswerte vorliegen. In Wirklichkeit bewegt sich jeder Scanner und jede Fertigungseinheit innerhalb eines sogenannten Präzisionsfensters. Beträgt beispielsweise die Scangenaugigkeit eines Modellscanners laut Hersteller 20 µm, handelt es sich hierbei normalerweise um einen Mindestwert, d. h. eine

Spezifikation, die grundsätzlich erreicht wird, aber auch übertroffen werden kann. Es ist möglich, solche Differenzen auszugleichen, indem beispielsweise in der Konstruktionssoftware der Zementspalt entsprechend angepasst wird. Dies ist der entscheidende Aspekt: Über die standardmäßige Grundparametrisierung der Hersteller wird meist auf Anhieb eine Trefferquote von 90-95 % erreicht. Das letzte Finetuning kann nur durch eine systemspezifische Abstimmung der unterschiedlichen Systemkomponenten aufeinander erzielt werden. Mit wenigen Probefräsungen ist dies zumeist realisierbar.

Zu berücksichtigen ist, dass diese Feinabstimmung sowohl bei offenen als auch bei geschlossen CAD/CAM-Systemen erforderlich ist. Vorteil bei Letzteren ist, dass sich der Anwender bei Schwierigkeiten gezielt an einen bestimmten Hersteller wenden kann. Wer trotz Nutzung von Systemkomponenten mit offener Schnittstelle nicht auf einen konkreten Ansprechpartner verzichten möchte, sollte auf das Angebot der Unternehmen zurückgreifen, die optional komplette Systeme aus einer Hand anbieten. Hierzu gehören beispielsweise Maschinenhersteller wie DATRON (D-Mühlthal) und SAUER (D-Stipshausen).

Grundsätzlich sollte der Anwender sämtliche Werte dokumentieren, wenn er die werkseitigen Standardparameter verändert. So müssen die Modifikationen nicht neu nachvollzogen werden, wenn die Einstellungen durch einen Systemfehler verloren gehen. Zu beachten ist, dass je nach verwendetem Produkt die Anzahl der Einstellungen, die modifiziert werden können, variiert. So bietet die Software DWOS (Dental Wings, CA-Montreal) die Möglichkeit, den Passungsbereich über eine Aufteilung des Zementspalts in verschiedene Werte differenzierter einzustellen als der DentalDesigner 2008 (3Shape, DK-Kopenhagen) mit nur einem Wert.

Fräswerkzeuge

Unabhängig von den zahlreichen Faktoren innerhalb der Prozesskette, welche die Präzision des Fräsergebnisses beeinflussen, kommen auch hinsichtlich der CNC-Maschine an sich unterschiedlichste Aspekte zu Tragen. Denn perfekte Ergebnisse erfordern ein perfektes Zusammenspiel sämtlicher Maschinenkomponenten. Eine wichtige Komponente stellen die Fräswerkzeuge dar. Die erzielbare Qualität wird u. a. durch das Fräsermaterial, aber auch die Abstimmung von Beschichtung, Schneidenanzahl und -geometrie, Länge sowie Durchmesser auf den zu bearbeitenden Werkstoff bestimmt (siehe auch Teil 7 dieser Serie in Ausgabe März 2010 der DIGITAL_DENTAL.NEWS, S. 34-37). Von Vorteil ist eine Schwesternwerkzeugverwaltung, welche die Fräser automatisch austauscht, sobald vordefinierte Laufzeiten und -wege absolviert wurden beziehungsweise ein Werkzeugbruch erkannt wurde (Abb. 1). Geringe Abweichungen, die durch Verschleiß auftreten, können über die Systemeinstellungen kompensiert werden.

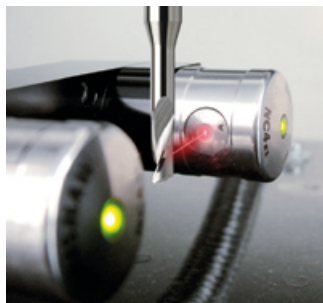


Abb. 1: System zur berührungslosen Werkzeugbrucherkennung mittels integriertem Lasersender und -detektor.

Werkzeugaufnahme

Neben dem Durchmesser im Bereich der Werkzeugschneide ist insbesondere der Schaftdurchmesser relevant, da dieser die Stabilität des Werkzeugs während der Materialbearbeitung beeinflusst. So können die Fräserstandzeit und die Oberflächengüte beeinträchtigt werden, wenn beispielsweise von einem 6 mm- auf einen 3 mm-Schaft gewechselt wird. Wichtig ist außerdem eine hochwertige Fassung für das Werkzeug, damit dieses zuverlässig rund läuft. Kann der Fräser – und dies gilt ebenso für die Rohlinge – nicht sicher eingespannt werden, können bei der Bearbeitung Vibrationen beziehungsweise eine Unwucht entstehen, die Ungenauigkeiten zur Folge haben (Abb. 2 und 3). Bewährt haben sich HSK

(Hohlschaftkegel)-Spannsysteme, welche die Auslenkung der Werkzeugspitze auf ein Minimum reduzieren. Sie weisen aufgrund der Abstützung an der Werkzeugaufnahme über den Bund eine hohe Steifigkeit auf. Dank der Plananlage am Bund ist darüber hinaus eine axiale Positioniergenauigkeit gegeben bei gleichzeitig minimierten Rundlaufabweichungen aufgrund der engen Kegeltoleranz. Daraus resultiert eine Wechselgenauigkeit von $< 1 \mu\text{m}$. Auch hohe Drehzahlen sind bei Verwendung von HSK-Spannsystemen kein Problem, da die Plananlage ein Nachrutschen in axialer Richtung verhindert und sich der Hohlschaftkegel durch die Zentrifugalkraft in gleichem beziehungsweise höherem Maße als die Spindel aufweitet und so eine Spannkrafterhöhung erzeugt wird. Nicht jede der aktuell am Dentalmarkt angebotenen CNC-Maschinen verfügt über eine solche HSK-Aufnahme.

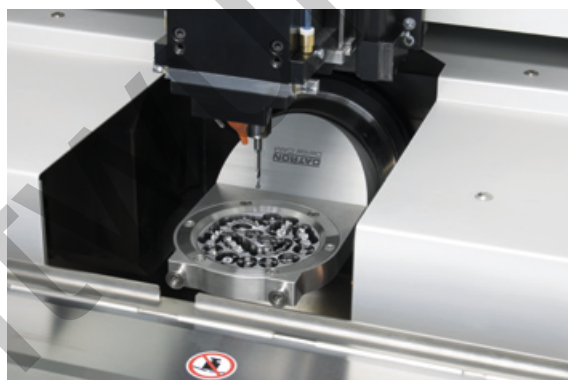


Abb. 2: Das sichere Einspannen des Rohlings ist ein Aspekt unter vielen, der zu der Fertigungsgenauigkeit beiträgt.



Abb. 3: Für eine sichere Werkzeugaufnahme an der Spindel haben sich HSK-Spannsysteme bewährt.

Abbildung 4 zeigt eine rotationssymmetrisch und massiv aufgebaute HSK-Aufnahme mit Polygonspannzange. Im unbestückten, entspannten Zustand weist die Schaftaufnahme eine polygonförmige

Geometrie auf. Durch Einleitung von Kraft mittels einer hydraulischen Spannvorrichtung (Abb. 5) an drei Punkten wird die Aufnahme kreisförmig und der Werkzeugschaft kann einfach eingeführt werden. Anschließend wird der Druck der Spannvorrichtung reduziert und die Krafteinleitung zurückgenommen, sodass die elastisch verformte Spannzange wieder ihre Polygonform annimmt und das Werkzeug fest und zentrisch gespannt ist. Es handelt sich hierbei um einen verschleißfreien Vorgang, der im Gegensatz zur Schrumpftechnik keinerlei Erhitzungs- beziehungsweise Abkühlungsphasen erfordert. Erzielbar ist auf diesem Wege eine Rundlaufgenauigkeit von $< 3 \mu\text{m}$.



Abb. 4: HSK-Aufnahme mit Polygonspannzange.



Abb. 5: Hydraulische Spannvorrichtung für Polygonspanntechnik.

Maschinenaufbau und Materialien

Eine hohe Systemsteifigkeit kann auch durch die Bauweise der Fräsmaschine begünstigt werden. Kompakte Portalkonstruktionen (Abb. 6) unterstützen ein schwingungsfreies, laufruhiges Arbeiten bei vergleichsweise geringen Anforderungen an das Maschi-

nengewicht (siehe auch Teil 5 dieser Serie in Ausgabe Dezember 2009 der DIGITAL_DENTAL.NEWS, S. 72-74). Das gewisse Grundgewicht, das eine Maschine aufweisen sollte, damit Eigenfrequenzen so wenig wie möglich auftreten, kann über einen Bau-tisch aus Granit erzielt werden (Abb. 7). Neben Portalkonstruktionen sind auch z. B. C-Ständer (Röders, D-Soltau) üblich.

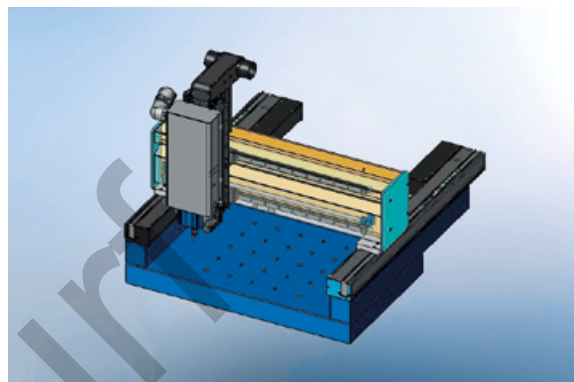


Abb. 6: Skizze einer Portalkonstruktion.



Abb. 7: Ein schwerer Granittisch unterstützt die Systemsteifigkeit.

Temperatursymmetrie

Wichtig ist eine hohe Steifigkeit vor allem für die präzise Bearbeitung von Metalllegierungen, da hierbei enorme Kräfte freigesetzt werden. Empfehlenswert sind Stahlportale und -führungen, die einen temperatursymmetrischen Aufbau erlauben. Dabei werden die Längenausdehnungskoeffizienten (LAK) der einzelnen Maschinenelemente aufeinander abgestimmt. Der LAK beschreibt das Verhalten eines Stoffes bei Temperaturveränderungen hinsichtlich seiner Ab-

messungen. Aluminium beispielsweise ist zwar preiswerter als Stahl, aber auch anfälliger für Längenausdehnungen. Es dehnt sich bei Temperaturanstieg um den Faktor 2 stärker aus als Stahl. Temperatursymmetrisch ist eine Maschine, wenn sichergestellt ist, dass sich alle Komponenten unter thermischem Einfluss kongruent verhalten, sodass keine Verzüge entstehen.

Antrieb

Eine weitere Komponente, die Einfluss auf das Fräsergebnis nimmt, ist der Antrieb im Achssystem (siehe auch Teil 3 der Serie in Ausgabe Oktober 2009 der DIGITAL_DENTALNEWS, S. 36-41). Kugelumlaufspindeln, auch Kugelgewindetriebe genannt, werden durch einen Motor in Bewegung versetzt und treiben die Linearachsen an (Abb. 8). Dabei bewegt sich die Kugelumlaufmutter auf der Spindel, welche wiederum die Kraft auf die Achse überträgt. Kugelgewindetriebe zeichnen sich durch eine hohe Positioniergenauigkeit aus. Zudem wird aufgrund der Punktanlage der Kugeln innerhalb der Spindel weniger Reibung erzeugt, sodass ein vergleichsweise niedriger Energiebedarf besteht, es zu einer nur geringen Wärmeentwicklung kommt und der Verschleiß der Laufbahnen minimiert wird.



Abb. 8: Kugelumlaufspindel zum Antrieb des Achsensystems in Linearführung.

Maschinendynamik und Geschwindigkeit

Servomotoren ermöglichen eine hohe Dynamik und können im Gegensatz zu der Leistungscharakteristik von Schrittmotoren besser auf den jeweiligen Prozess abgestimmt werden, da die Energiezuführung nach Bedarf dosiert werden kann. Die Maschi-

nendynamik sollte dabei möglichst soft eingestellt sein, d. h. Richtungsänderungen sollten z. B. von der Maschinensteuerung nicht ruckartig geregelt werden. Außerdem gilt grundsätzlich: Bei welcher Geschwindigkeit noch präzise gefräst werden kann, hängt u. a. von der Steifigkeit des Systems, der Qualität der Werkzeuge und der Härte des zu bearbeitenden Materials ab. Letztlich muss jeder Anwender für sich selbst entscheiden, welcher Kompromiss hinsichtlich der Faktoren Fertigungsgeschwindigkeit, Verschleiß, Präzision, Oberflächengüte etc. für sein Labor beziehungsweise Fräszentrum betriebswirtschaftlich sinnvoll ist und seinen Qualitätsansprüchen genügt.

Produktion und Wartung

Das Qualitätsprädikat „Made in Germany“ darf durchaus auch auf Fräsmaschinen übertragen werden. Schließlich ist Deutschland bekannt für seine strengen Richtlinien und Normen. Unterschiedlichste Verfahren können im Rahmen der Produktion zur Qualitätssicherung genutzt werden, z. B. der sogenannte Kreisformtest. Das Unternehmen Renishaw (D-Pliezhausen) bietet hierzu das Kreisformtestgerät QC20-W an. Dieses besteht aus einem Kugelstab, einem hochgenauen teleskopischen Linearsensor mit Präzisionskugeln an beiden Enden, und magnetischen Präzisionshalterungen. Eine der Halterungen wird am Maschinentisch, die andere an der Maschinenspindel beziehungsweise am Spindelgehäuse befestigt. Für den Kreisformtest werden die Kugeln des Sensors kinematisch in den magnetischen Schalen gehalten, wodurch die Messung kleinster Radiusabweichungen ermöglicht wird, während sich die Maschine entlang einer programmierten Kreisbahn um die Halterung auf dem Maschinentisch bewegt. Die erfassten Daten werden auf einen Computer übertragen, sodass mit der zugehörigen Software die Gesamt-Positioniergenauigkeit (Kreisform, Kreisformabweichung) der Maschine nach internationalen Normen berechnet werden kann. Die mathematische Analyse der linearen Messwerte ist zusätzlich zur Diagnose zahlreicher individueller Maschinenfehler einsetzbar. Auf diese Weise können Positionsfehler, die auf Geometriefehler, dynamische Fehler und dem Spiel der Maschine zurückzuführen sind, vor Installation beim

Anwender ausgeschlossen werden. Namhafte Hersteller archivieren in der Regel die Messprotokolle für jede produzierte Maschine.

Um langfristig eine hohe Fertigungsgenauigkeit sicher zu stellen, sind regelmäßige Inspektionen der Maschinen in Form einer professionellen Kontrolle und Wartung erforderlich (Abb. 9). Diese sollte mindestens einmal pro Jahr, spätestens jedoch nach 1.500 bis 2.000 Stunden Betrieb durchgeführt werden. In die Maschinen von DATRON beispielsweise



Abb. 9: Um die Maschinenspezifikationen langfristig sicher zu stellen, sind regelmäßige Inspektionen erforderlich.

ist deshalb ein Stundenzähler integriert (misst nur, wenn tatsächlich gefräst wird). Kugelumlaufspindeln zeigen normalerweise auch über viele Jahre hinweg keine Verschleißerscheinungen, vorausgesetzt es wird stets für eine ausreichende Schmierung gesorgt. Aufmerksame Anwender würden einen durch die Rotationsbewegung verursachten feinen, hochfrequenten Ton bemerken, wenn die Kugelumlaufspindel und die Linearführung unzureichend geschmiert sind, weil die Spindel in diesem Fall rau läuft. Auch sind einige Maschinensteuerungen mit Software-Modulen ausgestattet, die über eine umfangreiche Auswertelektronik verfügen. Hiermit können die Motorenströme kontrolliert und bei kleinsten Veränderungen des Stromflusses Rückschlüsse auf mögliche Ursachen gezogen werden (Abb. 10). Wird diagnostiziert, dass eine Achse schwergängig läuft, könnte das daran liegen, dass die entsprechende Führung zu trocken ist und eine erhöhte Reibung besteht.

Auch Schmutzpartikel könnten zu einem Präzisionsverlust beitragen, sodass regelmäßige Reinigungen



Abb. 10: Über spezielle Software-Module der Maschinensteuerung können die Motorenströme kontrolliert werden.

und Filterwechsel wichtig sind. Im Rahmen der Inspektion werden außerdem u. a. die Achsen vermessen, um zu prüfen, ob die Maschine nach wie vor den vorgegebenen Spezifikationen entspricht. Mit speziellen Messuhren kann beispielsweise die Geradheit der Z-Achse an der Stelle, an der die Spindel befestigt ist, μm -genau kontrolliert werden.

Schlusswort

Nicht bei jeder Präzisionsabweichung muss sofort ein Techniker geordert werden: Auch der Anwender selbst kann häufig durch kleine Maßnahmen die Fertigungsgenauigkeit berichtigen. Möglicherweise muss z. B. lediglich der Scanner neu kalibriert werden.

Hilfreich kann es auch sein, ein Probestück anzufertigen und zu vermessen. Dabei kann auf hinterlegte Standardzyklen zurückgegriffen werden, wie z. B. für die Fertigung eines Blocks mit festgelegten Abmessungen oder einer Kugel mit definiertem Radius.



Auch online unter: www.ddn-online.net

