

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

HSC-Fräsmaschinen: Führung und Antrieb der Linearachsen

Redaktion (Teil 3)

Die Präzision der Fräsergebnisse von CNC (Computer Numerical Control)- beziehungsweise HSC (High Speed Cutting)-Maschinen wird von sämtlichen Maschinenelementen mitbeeinflusst. Hierzu gehören neben Komponenten wie dem Maschinengerüst, der Spindel, den Werkzeugen etc. auch beispielsweise die Führungssysteme der Achsen sowie deren Antriebe. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Linearachsen

Die computergestützte Bearbeitung dentaler Werkstoffe erfolgt mittels spezieller Fräswerkzeuge, die entsprechend der mit einem CAM-Programm festgelegten Fräsbahnen gezielt Material des Rohlings abtragen, um die Konturen der mit einer CAD-Software virtuell geplanten Konstruktion zu erhalten. Für die gesteuerte Bewegung des Werkzeugs werden mindestens drei Achsen benötigt. Die X-Achse stellt die Bewegung nach links und rechts dar, über die Y-Achse wird das Werkzeug nach vorne und hinten geführt, über die Z-Achse erfolgt die Bewegung nach oben und unten. Sie werden als Linearachsen bezeichnet.

Grundsätzlich steht die Bezeichnung Linearachse für ein mechanisches System, das über einen eigenen Antrieb verfügt und eine lineare, d. h. gleichbleibend linienförmige Bewegung, ausführt. Als Antrieb wird entweder ein Linearmotor als Direktantrieb oder ein rotatorischer Motor mit nachgeschaltetem Linearge triebe verwendet.

Führungssysteme

Verschiedene Arten von Führungssystemen können theoretisch für die Führung von Linearachsen

eingesetzt werden. Sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der mit ihnen erzielbaren Präzision, der zu erwartenden Lebensdauer etc. und sind daher nicht gleichermaßen für die Anwendung im Rahmen dentaler Fräsmaschinen geeignet.

Linearkugellager

Die einfachste Form der Linearführung sind Linearkugellager (Abb. 1). Sie dienen der möglichst reibungsarmen Führung einer translativen, d. h. geradlinigen Bewegung eines Maschinenelements. Das System ist leicht und einfach konzipiert, daher vergleichsweise preisgünstig und wird für unterschiedlichste technische Anwendungen und Verschiebeeinrichtungen genutzt. Z. B. können die Sessel der vorderen Reihen im Plenarsaal des Deutschen Bundestags über Verschiebeeinrichtungen, die auf Linearkugellagern basieren, hin- und herbewegt werden. Für Aufgabenstellungen, bei denen eine hohe Präzision gefordert wird, ist diese Art der Führung jedoch weniger geeignet: Die verwendeten Kugeln graben sich im Laufe der Zeit in das Material der Welle, entlang derer die Führung erfolgt, ein, da aufgrund des punktuellen Kontakts hohe Spannungen entstehen. Das System kann zwar nachgestellt werden, doch diese Maßnahme hat nur geringfügige Wirkung und



Abb. 1: Linearkugellager

insgesamt wird Linearkugellagern eine vergleichsweise kurze Lebensdauer bei geringer Führungspräzision nachgesagt.

Hydrostatikführung

Sehr präzise und verschleißfrei arbeiten hingegen Hydrostatikführungen. Hierbei sorgt zumeist Öl – möglich sind auch Luft oder Wasser – als tragendes Medium dafür, dass zwei parallel aufeinander laufende Stahlteile sich nicht berühren. Abbildung 2 zeigt den Prüfstand einer solchen hydrostatischen Führung. Allerdings ist der Platzbedarf erheblich und der Aufwand für das Pressen des Öls zwischen die Führungselemente mittels Hochdruckpumpen sowie die Rückführung des Öls mit speziellen Filtern enorm.

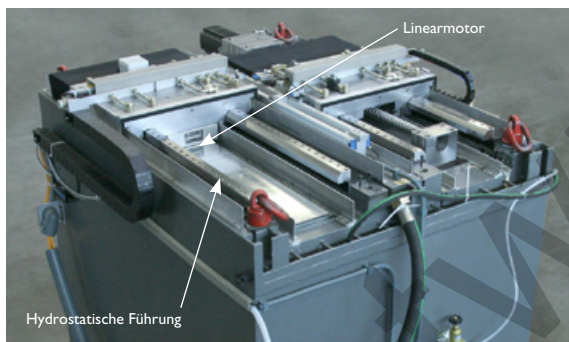


Abb. 2: Prüfstand einer Hydrostatikführung.

Schieneführung

Besser geeignet für die Führung der Linearachsen dentaler Fräsmaschinen sind Schieneführungen (Abb. 3 und 4). Der sogenannte Führungswagen läuft hierbei auf einer Schiene aus gehärtetem und geschliffenen Spezialstahl, in das ein Profil eingeschliffen wurde. Zur Reduzierung der Reibung können Kugeln oder auch – bei größeren und präziseren Fräsmaschinen – Nadeln verwendet werden. Diese Nadeln oder Kugeln (siehe auch Abb. 3 und 4) laufen flächig an der Schiene, sodass enorme Kräfte und vor allem ausgezeichnete Steifigkeiten erreicht werden können. Da diese Elemente wie bei einer Panzerkette rund abrollen, ist der Verschleiß marginal. Zudem ist die Präzision dauerhaft sehr hoch und die Lebensdauer dieser Art Führung übersteigt meist selbst die der Maschine an sich.

Wesentlichste Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass keine Fremdkörper eintreten. Einige Hersteller integrieren daher sogenannte Dichtungslippen, d. h.

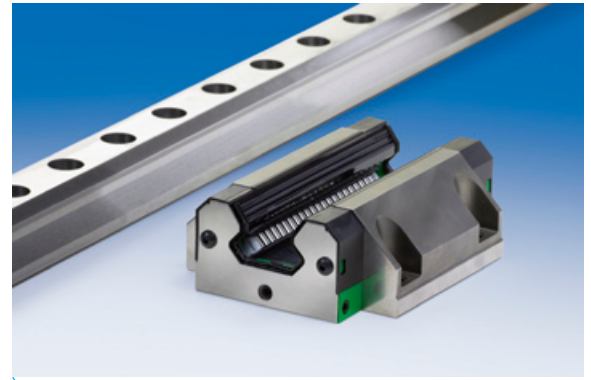


Abb. 3: Schienenelement und Führungswagen.

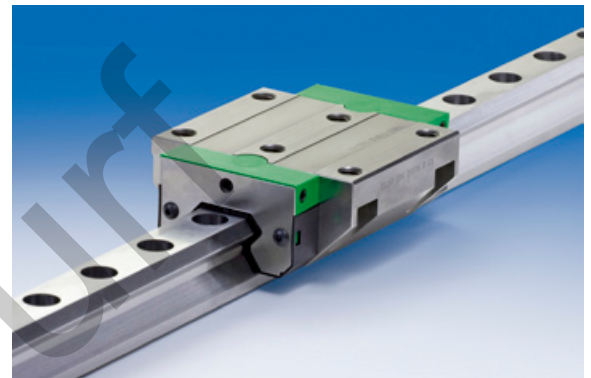


Abb. 4: Zusammengebaute Schieneführung.

elastische Dichtungen aus zumeist Kunststoff beziehungsweise Gummi. Ausreichend ist diese Schutzmaßnahme allein allerdings nicht. Insbesondere beim Trocken-Fräsen von Zirkoniumdioxid besteht die Gefahr, dass Zirkoniumdioxidstäube in das empfindliche Führungssystem eindringen. Da diese Keramik außerordentlich abrasiv ist, werden die Maschinenelemente und somit ihre Präzision durch eine solche Verschmutzung beeinträchtigt.

Zusätzlich zu den Dichtungslippen kommen deshalb bei einigen Maschinenherstellern sogenannte Faltenbälge zum Einsatz. Mit Faltenbalg wird ein elastischer Schlauch aus Gummi, Kunststoff oder Leder bezeichnet, der sich ähnlich einer Ziehharmonika zusammen- und auseinanderfaltet. Er wird in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen über sich mechanisch ineinanderschiebenden Maschinenteilen angebracht, um sie vor Fremdeinflüssen, insbesondere Verschmutzung zu schützen. Den Schwachpunkt von Faltenbälgen bilden ihre Befestigungselemente, durch welche mit der Zeit durchaus Staub eindringen kann. Abbildung 5 zeigt eine Detailansicht einer Fräsmaschine, für die aus diesem Grund ein Becken konzipiert wurde, das den Arbeits-

raum umschließt. Ein spezielles Absaugsystem saugt lokal an der Wirkstelle des Fräswerkzeugs Stäube ab und alle entweichenden Späne sammeln sich direkt in dem Becken. Die Wahrscheinlichkeit, dass hierbei einzelne Späne das Becken übertreten und in die Führungselemente geraten, ist äußerst gering, sodass mit höchster Lebensdauer bei langfristig gleichbleibender Präzision gerechnet werden darf.

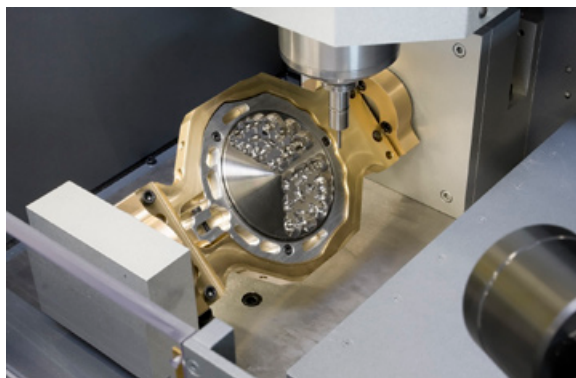


Abb. 5: Geschützter Arbeitsraum.

Linearantrieb

In der Technik wird mit Antrieb allgemein die konstruktive Einheit bezeichnet, die eine Maschine mittels Energieumformung antreibt. Der Antrieb der Linearachsen von dentalen Fräsmaschinen erfolgt über Motoren und die entsprechenden Getriebe in Form von Linearantrieben. Vorgestellt werden im Folgenden zunächst das Prinzip des Zahnradantriebs sowie des Kugelgewindetriebs und anschließend drei verschiedene Arten von Antriebsmotoren.

Zahnradantrieb

Relativ veraltet, aber teilweise immer noch in Verwendung sind Antriebsarten mit einem Zahnrad, das auf eine Zahnstange wirkt. Da hierbei die Zahnstange permanent der Reibung durch die Zähne des Zahnrads ausgesetzt ist, entsteht ein ständiger Verschleiß. Aus diesem Grund ist ein Zahnradantrieb nicht die optimale Lösung, wenn eine langfristig reproduzierbare hohe Genauigkeit gewünscht wird, wie es bei der computergestützten Fertigung von Zahnrestorationen der Fall ist.

Kugelgewindetrieb

Durchgesetzt hat sich daher der sogenannte Kugelgewindetrieb. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbil-

dung 6. Die Spindel weist ein Gewinde mit einer Steigung von in der Regel 5 mm bis 10 mm auf. Über ein Schraubengewinde ergibt sich pro Umdrehung der Vorschub. Um Fehler in der Übertragung auszuschließen, werden Kugeln verwendet, die revolvierend, d. h. zurückdrehend, in der Muttereinheit umgelenkt werden. In der Mutter und auch in der Spindel sind die Laufgänge der Kugeln als Hohlnuten ausgebildet, sodass bei hochwertiger Ausführung hohe Präzisionswerte erreicht werden können.

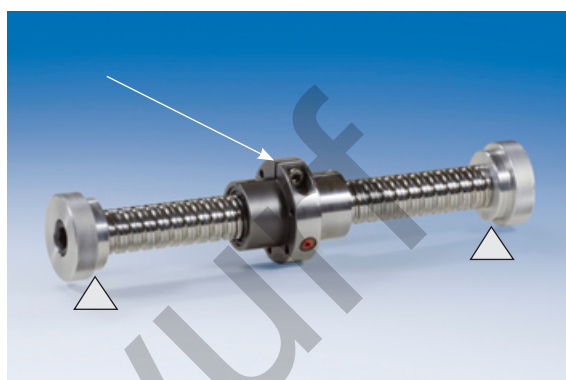


Abb. 6: Kugelgewindetrieb

Aufgrund des regelmäßigen Fahrens der Kugel in den Läufern stellt sich allerdings eine Anschmiegung ein, die im Laufe der Zeit einen Präzisionsverlust bedeuten kann. Dieses Phänomen wird als Einlaufverhalten bezeichnet und ist auch beispielsweise von nicht schienengebundenen Landfahrzeugen bekannt. Hierbei steht das Einlaufverhalten für das Aufbauen des Schräglaufwinkels – d. h. des Winkels zwischen der Richtung, in welche ein Reifen zeigt, und der Richtung, in die er sich tatsächlich auf der Fahrbahn bewegt – infolge der Änderung der Seitenführungskraft (z. B. durch Aquaplaning). Qualitätstriebwerke bieten daher eine Nachstellmöglichkeit: Der Pfeil in Abbildung 6 deutet auf einen Spalt, der mit einer Schraube eingestellt wird. Tritt ein merkliches Einlaufverhalten auf, kann die Präzision durch Beidrehen der Einstellschraube wiederhergestellt werden.

Hinsichtlich der Genauigkeit ist es zudem sehr wichtig, dass die Spindel auf beiden Seiten gelagert ist, sodass eventuell auftretende Schwingungen abgefangen werden. Des Weiteren ist auch hierbei der Schutz vor Verunreinigungen maßgeblich für eine hohe Lebensdauer.

Schrittmotor

Die Energiequelle für die Positionierung der Linearachsen stellen Antriebsmotoren dar. Einfache Systeme beinhalten einen sogenannten Schrittmotor (Abb. 7). Charakteristisch für diese Art Motor sind mechanische Rastungen beziehungsweise Schritte, sodass der Motor quasi jedes Mal um einen Schritt weiterrastet, wenn die Spannung umgepolt wird.

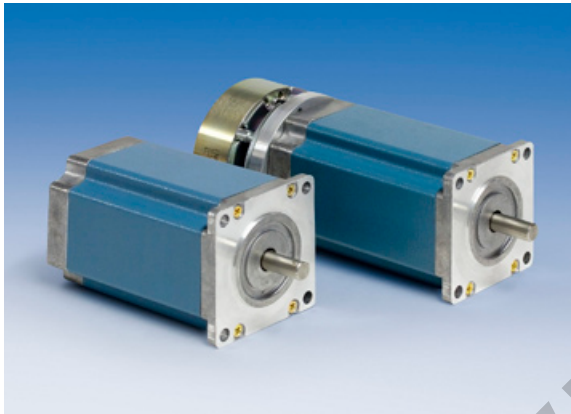


Abb. 7: Schrittmotor

Es handelt sich um ein recht simples sowie preiswertes System, das jedoch auch in seiner Präzisionsleistung und somit seiner Anwendung begrenzt ist. Außerdem wird die Lage der Achse in der Regel nicht an die Maschinensteuerung zurückgemeldet, sodass etwaige Fehler wie Schrittverluste unerkannt bleiben, bis ein möglicherweise fehlerhaftes Fräsergebnis vorliegt.

Linearmotor

Der Linearmotor (Abb. 2) ist eine hochdynamische Form des Antriebs, die u. a. für den Transrapid genutzt wird. Als Vorteil gilt u. a. die sehr hohe erzielbare Endgeschwindigkeit. Dies ist für zahntechnische Anwendungen jedoch weniger relevant, da aufgrund der geringen Größe der Werkstücke die zu fahrenden Wege kurz sind und die hohen Geschwindigkeiten in der Regel gar nicht erreicht werden. Zudem ist der Energieverbrauch sehr hoch. Linearmotoren eignen sich daher vor allem dann, wenn sehr schnelle Bearbeitungszeiten für großformatige Werkstücke gefordert sind.

Servomotor

Empfehlenswert für dentale Anwendungen ist der Einsatz von Servoantrieben. Hierbei sind auf

dem Motor oder auf der Achse Rückmeldesysteme aufgebaut, die der Steuerung permanent die aktuelle Position der Achse melden, sodass Schrittverluste ausgeschlossen sind.

Unterteilt werden können Servomotoren in AC- und DC-Motoren (Gleichstrom-Motoren). Bei Letzteren ist jedoch ein Verschleiß in den Schleifern zu verzeichnen. Dominiert wird der Markt seit einigen Jahren daher von AC-Motoren (Abb. 8), da diese Art Motor verschleißfrei wie ein Drehstrom-Motor funktioniert. Des Weiteren kommt ein statisches und volldigitales Stellglied zum Einsatz, das die Signale des Reglers in eine Änderung des Massestroms oder Energieflusses wandelt und so das Drehfeld, d. h. das sich fortlaufend um eine Rotationsachse drehende Magnetfeld, über das die Antriebskraft generiert wird, erzeugt. Auch dieses Stellglied zeigt keine Verschleißerscheinungen.



Abb. 8: Servo-Motor

Moderne Steuerungssysteme nutzen zudem einen intelligenten Feldbus wie das wartungsfreie EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)-System für die digitale Kommunikation zwischen Motorregler und Steuerung. Hierdurch sind sehr gute Präzisionswerte bei höchster Dynamik erzielbar.

Empfehlung

Die Welt des Maschinenbauers mag dem Zahntechniker in vieler Hinsicht fremd sein, jedoch beeinflussen viele einzelne Maschinenelemente wie beispielsweise Führung und Antrieb der Linearachsen die Gesamtleistung einer Maschine und so letztlich auch die langfristige Kostenbilanz. Bei der Entscheidung für eine HSC-Maschine sollten daher nicht nur

Parameter wie die erzielbare Fertigungspräzision als solche oder der theoretisch mögliche Vorschub abgefragt werden, sondern der Blick auch auf elementare maschinentechnische Details gerichtet werden.

Vorschau

Neben dreiachsigen Fräsmaschinen werden im Dentalbereich zunehmend auch vier- beziehungsweise fünfachsig Systeme eingesetzt. Eine vierte sogenannte Drehachse wird genutzt, um Rohlinge zu den Linearachsen X, Y und Z anzuschwenken. Sollen Hinterschnitte in allen Richtungen bearbeitet werden, ist noch eine weitere Achse erforderlich, die ebenfalls drehend ausgeführt ist. Weitere Erläuterungen zu den Drehachsen sowie möglichen Antriebsarten werden in Ausgabe November 2009 der DIGITAL_DENTAL.NEWS geboten. ■

Entwurf