

Hohlwellenantrieb hat sich bewährt

Optimierung von Vorschubantrieben in Werkzeugmaschinen

Rolf Slatter, Ellen Slatter

In Werkzeugmaschinen wird eine immer höhere Bearbeitungsgenauigkeit gefordert. Als Folge müssen mechanische Übertragungselemente und die darauf basierenden Servoantriebe weitere Leistungssteigerungen erfahren. Das heißt, auch die eingesetzten Antriebe müssen spielfrei, mit hoher Torsionssteifigkeit und ohne erhöhte Hystereseverluste arbeiten.

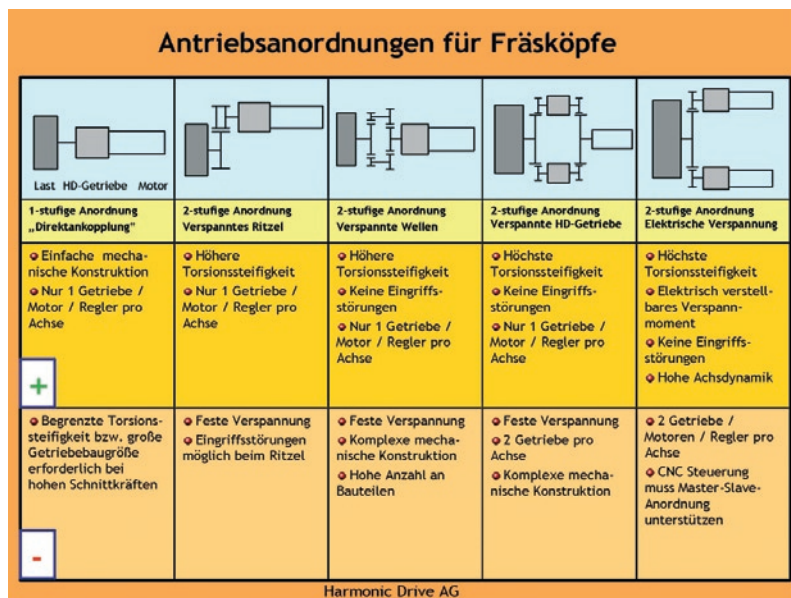


Bild 2: Diagramm „Antriebsanordnungen für Fräsköpfe“

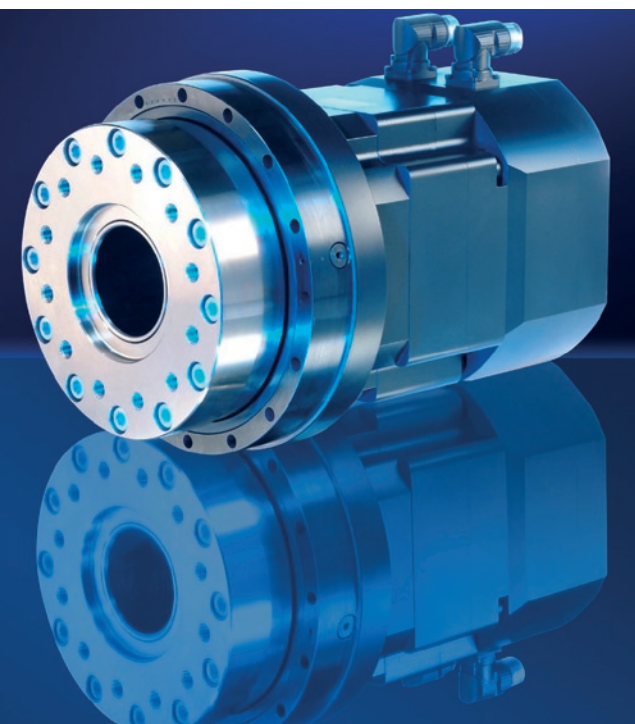
Sowohl bei spanenden als auch bei umformenden Maschinen sind Antriebe auf der Basis des Harmonic Drive Getriebes in einer Vielzahl von Vorschub- und Peripherieachsen vertreten (Bild 1). Bei den Anwendungen in Rotations- und Schwenkachsen bei Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren handelt es sich um „klassische“ Vorschubantriebe, d. h. Schwenkachsen z. B. für Frässpindeln oder Laserstrahlen. Die Anforderungen hinsichtlich Schnittkräfte, Genauigkeit, geforderter Oberfläche und Dynamik sind natürlich stark unterschiedlich in Abhängigkeit von den zu bearbeitenden Werkstoffen, gewünschter Spanleistung etc. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Antriebsanordnungen für die jeweiligen Anforderungen (Bild 2).

Was muss ein Vorschubantrieb können?

Für die Bearbeitung von Holz, Kunststoff oder Leichtmetall sind die Schnitt-

kräfte erfahrungsgemäß relativ niedrig. Auch die geforderten Bearbeitungsgenauigkeiten sind bei diesen Werkstoffen geringer als bei der Stahlbearbeitung. Unter diesen Bedingungen kann die Frässpindel bzw. der Laserkopf direkt an das Harmonic Drive Getriebe bzw. den Antrieb gekoppelt werden. Höhere Steifigkeiten sorgen bei höheren Spindelleistungen bzw. Schnittkräften für die erforderliche Bearbeitungsgenauigkeit. Hier ist eine 2-stufige Antriebsanordnung ratsam. Durch eine nachgeschaltete Stirnradstufe kann eine noch höhere Torsionssteifigkeit erreicht werden, als bei „Direktankopplung“. Bei den 2-stufigen Anordnungen gibt es eine Vielzahl von Verfahren, zum Erreichen der Spielfreiheit in der nachgeschalteten Stirnradstufe. Eine mechanische Verspannung lässt sich durch ein geteiltes Ritzel, verspannte Wellen oder verspannte Harmonic Drive Getriebe realisieren. Diese Lösungen benötigen oft nur ein Harmonic Drive Getriebe pro Schwenkachse, bieten aber ein festes Verspannmoment. In vielen Anwendungen ist es wünschenswert, das Verspannmoment variieren zu können, weshalb sich hier eine Lösung

Bild 1: FHA-58-C-Hohlwellenantrieb, genannt TorqueTube



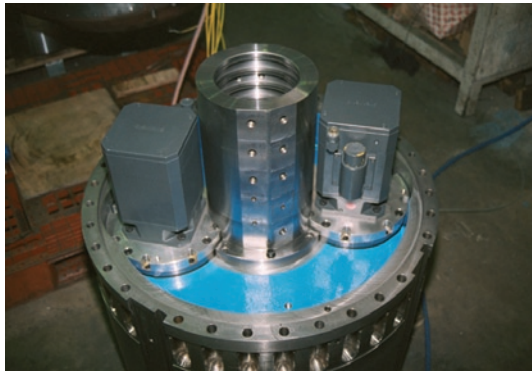


Bild 3: Zwei HFUC-2UH Units in Master-Slave-Anordnung



Bild 4: Bearbeitung von Turbinengehäusen

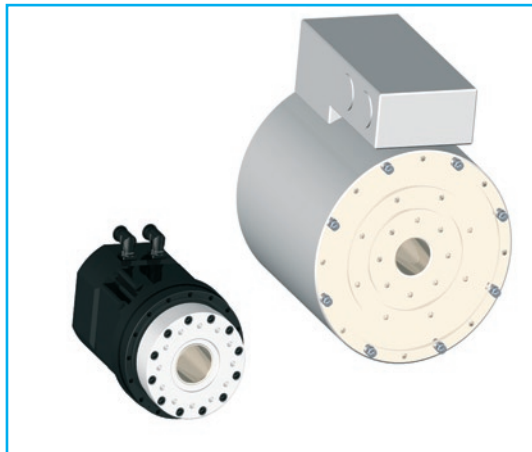


Bild 5: TorqueTube im Größenvergleich mit einem Direktantrieb

mit elektrischer Verspannung eignet. In dieser Anordnung greifen zwei Getriebemotoren auf ein nachgeschaltetes Stirnrad. Die Getriebemotoren werden in einer sogenannten „Master-Slave“-Konfiguration betrieben (Bild 3). Diese Funktionalität wird inzwischen von einer Vielzahl moderner CNC-Steuerungen geboten, z. B. Siemens 840D. Diese Konfiguration erlaubt eine Variation des Verspannmomentes in Abhängigkeit des Betriebsmodus der Maschine. Für schnelle Bewegungen im Eilgang wird das Verspannmoment reduziert, und beide Getriebemotoren arbeiten in der

selben Richtung, um eine hohe Dynamik zu bieten. Wenn die Achse in ihre Soll-Position fährt, wird das Verspannmoment erhöht, um Spiel zu eliminieren und die Torsionssteifigkeit zu erhöhen.

Die Vorteile der „Master-Slave“ Anordnung: Höhere Leistung (Genauigkeit, Dynamik, Steifigkeit), vereinfachte Maschinenstruktur sowie Kostenersparnis durch einfachere Maschinenmontage und Inbetriebnahme.

Eine aktuelle Anwendung hat sich bei der britischen Firma Braywell ergeben, die im Auftrag der Firma Harker's Engineering ein sehr großes 5-Achs-Bearbeitungszentrum für die Bearbeitung von Turbinengehäusen entwickelte (Bild 4). Die Eckdaten: Der X-Achsen-Hub beträgt 12 m; der Y-Achsen-Hub liegt bei 4,5 m; die Spindelleistung beträgt 65 kW, die Vorschubkraft liegt bei satten 30 kN und das Bearbeitungs Drehmoment liegt bei 12 000 Nm für die A- und C-Achse. Trotz dieser hohen Werte wird eine bidirektionale Positioniergenauigkeit für die A- und C-Achse von 0,003 Grad erreicht – dafür sorgen zwei HFUC-58-2UH Units in beiden Schwenkachsen.

Vorteile gegenüber anderen Lösungen

Bei geringem verfügbaren Bauraum sind Harmonic Drive Produkte eine gute Lösung. Im Vergleich zu Servoantrieben basierend auf Planeten- oder Schneckengetrieben weisen sie kein Spiel und keine Spielzunahme während der gesamten Lebensdauer auf. Weiterhin ist die Verdrehsteifigkeit sowie das Spitzendrehmoment beim selben Bauraum wesentlich höher. Zum Beispiel weist der FHA-C Hohlwellenantrieb der Baugröße 40 ein Spitzendrehmoment von 690 Nm bei einem Gewicht von nur 12 kg auf, was einer Leistungsdichte von fast 60 Nm/kg entspricht.

„Direct Drive“-Motoren bzw. Torque-Motoren wurden auch in manchen Hohlwellenanwendungen vorgesehen. Dabei handelt es sich entweder um modifizierte Schrittmotoren oder Bausatzmotoren mit einer hohen Polzahl, ringförmigem, genuteten Rotor mit großem Durchmesser und hochauflösenden Absolut-Mess-System, die verhältnismäßig hohe Drehmomente bei niedrigen Abtriebsdrehzahlen liefern können. Da kein Getriebe verwendet wird, ist die Leistungsdichte dieser Motoren jedoch sehr niedrig. „Direct Drive“-Motoren sind sehr schwer in Bezug auf Drehmomentkapazität. Ihr Einsatz beschränkt sich fast ausschließlich auf statische

Anwendungen, bei denen der Motor nicht Teil einer bewegten Struktur ist. Der Vergleich mit den neuen FHA-C-Hohlwellenantrieben zeigt, dass diese über eine deutlich höhere Leistungsdichte verfügen – ein FHA-58C-Antrieb (Bild 5), genannt TorqueTube, wiegt nur ein Viertel eines „Direct Drive“-Motors der selben Drehmomentkapazität, bei weitaus kleineren Abmessungen.

Direktantriebe haben darüber hinaus mit dem Problem der Erwärmung bei Anwendungen mit hohen Stillstands-drehmomenten zu kämpfen. Dies erfordert eine zusätzliche Kühlung, typischerweise mit Wasser, was sich bei bewegten Strukturen, z. B. bei Fräsköpfen von Portal-Bearbeitungszentren, als sehr kompliziert erweisen kann. Der FHA-C hingegen verzichtet auf eine zusätzliche Kühlung. Ein weiterer Vorteil gegenüber „Direct Drive“-Motoren besteht in der Fähigkeit, erhebliche Variationen im Lastträgheitsmoment aufzufangen, ohne eine Modifizierung der Regelungsparameter zu benötigen. Die Regelbarkeit der FHA-C Antriebe ist aufgrund der extrem hohen Messsystemauflösung üblicherweise besser als beim Direktantrieb. Last, but not least, gibt es erhebliche Unterschiede bezüglich der dynamischen Steifigkeit.

Wird ein Direktmesssystem benutzt, ist die statische Steifigkeit bei beiden Lösungen unendlich, solange die äußeren Drehmomente das Maximaldrehmoment des Motors nicht überschreiten. Bei der dynamischen Steifigkeit jedoch, das heißt beim elastischen Verformungswiderstand des Antriebes gegenüber äußeren dynamischen Störmomenten, ist der FHA-C im Vorteil. Auch wenn ein sehr hochauflösendes Messsystem sowie teure, schnelle Regelkreise angewandt werden, ist die dynamische Steifigkeit eines Direktantriebes wesentlich niedriger als der des elektro-mechanischen Kompaktantriebes. Fazit: Direktantriebe sind nur sinnvoll einzusetzen in Anwendungen mit geringen Störkräften.

Ausführlichere Informationen zu den Harmonic Drive-Antrieben:

HARMONIC DRIVE 321

*Dr. Rolf Slatter, Vorstand Marketing & Vertrieb, Harmonic Drive AG, Limburg
Ellen Slatter, Marketing Abteilung, Harmonic Drive AG, Limburg*

Bilder 1, 2 und 5 Harmonic Drive, Bilder 3 und 4 Braywell