

Von der Raumfahrt in den Maschinenbau

Neue Konzepte für Harmonic Drive Präzisionsgetriebe

Matthias Mendel

Immer wieder finden Entwicklungen aus der Luft- und Raumfahrt auch Anwendung im Maschinenbau. Schon längst nicht mehr sind Anforderungen wie kompakte Bauform, geringes Gewicht und hohe Leistungsdichte ausschließlich eine Domäne der Aeronauten. Ein Beispiel für einen solchen Know-how-Transfer sind Harmonic Drive Getriebe.



1. Der elliptische Wave Generator (WG) verformt als angetriebenes Teil über das Dünningkugellager den Flexspline (FS), der sich in den gegenüberliegenden Bereichen der großen Ellipsenachse mit dem innenverzahnten fixierten Circular Spline (CS) in Eingriff befindet.
2. Mit Drehen des WG verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffsbereich. Da der FS zwei Zähne weniger als der CS besitzt, ...
3. ... vollzieht sich nach einer halben Umdrehung des WG eine Relativbewegung zwischen FS und CS um die Größe eines Zahnes und ...
4. ... nach einer vollen Umdrehung um die Größe zweier Zähne. Bei fixiertem CS dreht sich der FS als Abtriebsselement entgegengesetzt zum Antrieb.

Bild 2: Funktionsprinzip der Harmonic Drive Getriebe

Die Harmonic Drive AG entwickelt und fertigt mechanische Präzisionsgetriebe, Servoantriebe mit integriertem Präzisionsgetriebe und komplette kundenspezifische Antriebssysteme. Vor allem die Servoantriebe und kundenspezifischen Antriebssysteme verfügen über einen sehr hohen Integrationsgrad, was den Konstruktionsaufwand beim Anwender erheblich reduziert. Basis für alle Produkte ist in der Regel ein Harmonic Drive Präzisionsgetriebe.

schinen, Glasbearbeitung, Medizintechnik, Druckmaschinen, Messmaschinen und Papiermaschinen sind weitere wichtige Anwendungsgebiete. Eine besondere Stellung nehmen Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ein (Bild 1). Die hier gestellten Forderungen an Zuverlässigkeit und Präzision unter extremen Bedingungen können ebenfalls erfüllt werden.

Anwendungsmöglichkeiten

Harmonic Drive Getriebe und Servoantriebe werden heute in allen Bereichen des Maschinenbaus eingesetzt, beispielsweise in Positionierachsen oder Handlingsystemen. Bis vor einigen Jahren waren noch Getriebe für Industrieroboterachsen der größte Anwendungsbereich. Inzwischen haben die Anwendungen im Werkzeugmaschinenbereich den Löwenanteil übernommen. Durch neue Entwicklungen im Bereich der Servicerobotik und dem Bereich der Laserschweißanlagen für die Automobilindustrie können jedoch speziell für die leichten und präzisen Harmonic Drive Getriebe in den nächsten Jahren neue Potentiale erschlossen werden. Halbleiterfertigung, Holzbearbeitungsma-

Aufbau der Getriebe

Das Harmonic Drive Getriebe besteht aus nur drei Hauptkomponenten: Dem Circular Spline, einem zylindrischen Ring mit Innenverzahnung, ähnlich dem Hohlrad bei Planetengetrieben; dem Flexspline, einer zylindrischen, verformbaren Stahlbüchse mit Außenverzahnung, wobei die Außenverzahnung des Flexsplines in der Regel zwei Zähne weniger hat als die Innenverzahnung des Circular Spline. Das dritte Element ist der Wave Generator, eine ellipsenförmige Stahlscheibe mit zentrischer Nabe und aufgezo-genem elliptisch verformbarem Spezialdünningkugellager.

Der Zahneingriff ist nicht das bekannte Abwälzen wie bei Stirnradverzahnungen (Bild 2). Durch die mathematische Funktion der elliptischen Scheibe und die damit verbundene Verformung des Flexsplines mit Außenverzahnung ergeben sich spezifische Eingriffsbahnen der Verzahnungen. Der Flexsplinezahn wandert in einer vorgeschrie-

Bild 1: Hohe Anforderungen, wie sie früher nur die Raumfahrt stellte, sind heute auch im Maschinenbau üblich

benen definierten Bahn in die Zahnücke des Circular Spline. Durch den vorwiegend in radialer Richtung stattfindenden Zahneingriff und die Verformbarkeit des Flexspline ist es möglich, die Verzahnungen radial soweit in einander zu pressen, dass die Getriebe absolut spielfrei sind. Die große Anzahl der im Eingriff befindlichen Zähne ermöglicht eine besonders günstige Lastverteilung, was die Basis für eine sehr hohe Drehmomentkapazität ist.

Hohe Untersetzung

Bei den bisher kleinsten Untersetzungen $i = 50$ ergibt sich eine Zähnezahzahl von 100 für den Flexspline. Bei gleichem Durchmesser sind diese Zähne wesentlich größer als die bei höheren Untersetzungen. Da der Zahn des Flexspline durch Verformung desselben vollständig aus der Zahnücke des Circular Spline bewegt werden muss, ergibt sich durch die Größe der Zähne bei kleineren Untersetzungen eine sehr hohe Deformation des Flexspline. Hierdurch werden die Biegewechselspannungen in Umfangsrichtung sehr hoch, was die Dauerfestigkeit des Flexspline und somit die Leistungsdaten der Getriebe begrenzt. Ein weiteres Problem ist die relativ hohe Kerbwirkung der Verzahnung und das ungünstigere Zahneingriffsverhalten bei kleinen Untersetzungen. Es tragen weniger Zähne.

Die aus den Anwendungsbereichen resultierenden Marktanforderungen nach höheren Maximaldrehzahlen bei Spielfreiheit und exakter Wiederholgenauigkeit für Positionierachsen wurden von Harmonic Drive zum Anlass genommen, um den Untersetzungsbereich nach unten zu erweitern. Es wurde eine neue Verzahnungsform ent-

- Die Harmonic Drive Getriebe zeichnen sich durch folgende wesentliche Eigenschaften aus:
- absolute Spielfreiheit
 - hohe Positioniergenauigkeit < 1 Winkelminute
 - große Wiederholgenauigkeit < 5 Winkelsekunden
 - hohe Drehmomentkapazität (0,5 Nm bis 9000 Nm)
 - kompakte Bauform
 - hohe Torsionssteifigkeit
 - hohe einstufige Untersetzungen
 - kein Stick-slip bei sehr niedrigen Drehzahlen

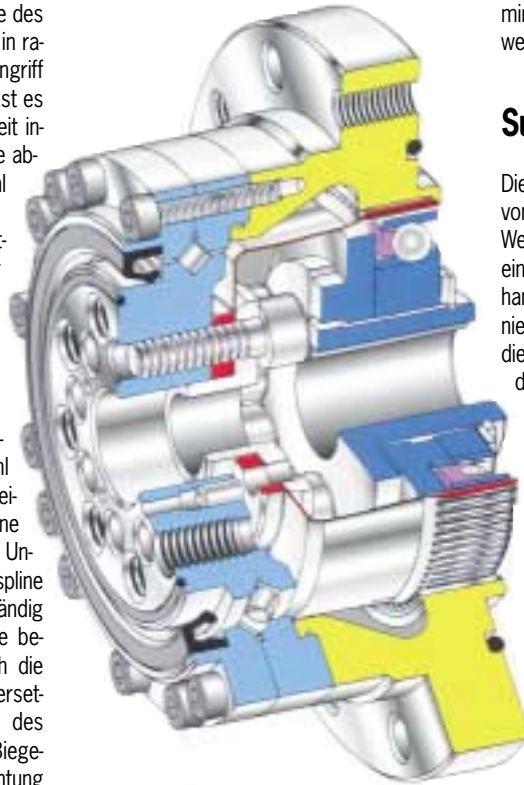


Bild 3: HFUC-2UH Unit mit integrierter Kreuzrollenabtriebslagerung

wickelt, welche ein spezielles Profil zur Optimierung des Zahneingriffsverhaltens aufweist. Eine relativ geringe Zahnhöhe dient der Reduktion der Biegewechselspannungen durch die Deformation des Flexsplines. Eine optimale geometrische Relation zwi-



Bild 4: Verkürzung der Baulänge um zwei Drittel seit 1972

schon Zahnfußdicke, Zahnückenweite, Zahnfußradien und Wandstärke des Flexspline dienen der Minimierung der Spannungskonzentration im Zahngrund. Als zweite wichtige Konstruktionskomponente wurde der Wave Generator mit der ellipsenförmigen Stahlscheibe untersucht. Die Form des Wave Generators bestimmt maßgeblich die Art und Weise des Zahneingriffsverhaltens, die Anzahl der tragenden Zähne und die Lastverteilung auf die tragenden Zähne. Die Wave Generator Funktion ist eine mathematische Funktion und kann durch verschiedene Parameter modifiziert werden. Durch diese Modifikation konnten die Forderungen nach optimalem Zahneingriffsverhalten und

minimaler Biegewechselspannung erfüllt werden.

Superflache Bauform

Die hochuntersetzten Präzisionsgetriebe von Harmonic Drive werden speziell im Werkzeugmaschinenbau und in der Robotik eingesetzt. In diesen Anwendungsbereichen handelt es sich generell um präzise Positionierachsen, welche hohe Anforderungen an die Spielfreiheit, Torsionssteifigkeit und Wiederholgenauigkeit stellen. Durch den Trend nach immer kleiner und leichter bauenden Antriebseinheiten für die neuen Maschinenkonzepte, ist auch der Wunsch nach noch kompakteren, gut integrierbaren Präzisionsgetrieben vorhanden. Insbesondere die Integration der Getriebe in vorhandene Maschinenelemente ist bei den Anwendern von großem Interesse.

Harmonic Drive hat für die speziellen Anwendungen, bei denen der Bauraum in axialer Länge im Vordergrund steht, neue Getriebeeinbausätze entwickelt, welche nur noch eine Baulänge von ca. 50% der bisherigen Getriebe haben. Des Weiteren sind diese flach bauenden Getriebe ebenfalls für die Neuentwicklung von kompakt bauenden, hochintegrierten Servoantrieben, welche aus Kreuzrollenabtriebslagerung, Getriebeeinbausatz, AC-Servomotor und Encoder bestehen, verwendbar (Bild 3). Eine Vielzahl von Simulationen und Dauerfestigkeitstests der Getriebe-prototypen machte es trotz aller Widrigkeiten möglich, die gesteckten Ziele zu erreichen. Inzwischen ist das neue superflache Harmonic Drive Getriebe der Baureihe CSD (Bild 4) bereits erfolgreich bei ersten Kunden im Einsatz.

Weitere Informationen erhalten Sie über die folgende Kennziffer:

HARMONIC DRIVE 338

Dr. Matthias Mendel, Leiter Konstruktion und Entwicklung, Harmonic Drive AG, Limburg/Lahn