

Präzisionsgetriebe in der Automatisierungstechnik

Die Harmonic Drive-Gruppe beschäftigt sich seit Anfang der siebziger Jahre mit der Entwicklung, Produktion und dem Vertrieb der einzigartigen CPU-Präzisionsgetriebe (CPU = Compact Precision Unit). Der folgende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die Funktionsweise dieses Getriebetyps und beschreibt den aktuellen Stand der Technik.



Bild 1
Fräskopf im Einsatz



Bild 3
Funktionsprinzip

Anwendungsprofil

Die Harmonic Drive Getriebe und Servoantriebe werden in allen Bereichen des Maschinenbaus eingesetzt. In der Regel handelt es sich um Positionierachsen oder Handlingsysteme. Bis vor einigen Jahren waren Getriebe für Industrieroboterachsen der größte Anwendungsbereich für Harmonic Drive Getriebe. Doch in den letzten Jahren wurden neue, vielversprechende Anwendungsgebiete systematisch in Angriff genommen und aufgebaut. Inzwischen haben die Anwendungen im Werkzeugmaschinenbereich den größten Anteil übernommen. Die Industrieroboteranwendungen stehen inzwischen auf Platz 2, wobei durch neue Entwicklungen im Bereich der Servicerobotik und dem Bereich der Laserschweißanlagen für die Automobilindustrie, speziell für die leichten und präzisen Harmonic Drive Getriebe neue Potenziale in den nächsten Jahren erschlossen werden können. Halbleiterfertigung, Holzbearbeitungsmaschinen, Medizin-

technik, Druckmaschinen, Messmaschinen und Papiermaschinen sind einige der weiteren wichtigen Anwendungsgebiete. Eine besondere Stellung nehmen ebenfalls Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt ein. Die hier gestellten Forderungen an Zuverlässigkeit, Leichtbau und Präzision unter extremen Bedingungen können von Harmonic Drive erfüllt werden.

Getriebeaufbau

Das Harmonic Drive Getriebe besteht aus nur drei Hauptkomponenten (Bild 2) – dem Circular Spline, ein zylindrischer Ring mit Innenverzahnung, ähnlich dem Hohlrad bei Planetengetrieben – dem Flexspline, eine zylindrische verformbare Stahlbüchse mit Außenverzahnung, wobei die Außenverzahnung des Flexsplines in der Regel zwei Zähne weniger hat als die Innenverzahnung des Circular Spline – und dem Wave Generator, eine ellipsenförmige Stahlscheibe mit zentrischer Nabe und aufgezo- genem, elliptisch verformbarem Spezialdün- nringkugellager.

Das Funktionsprinzip

- 1) Der elliptische Wave Generator (WG) als angetriebenes Teil verformt über das Dün- nringkugellager den Flexspline (FS), der sich in den gegenüberliegenden Bereichen der großen Ellipsenachse mit dem innenver- zahnten fixierten Circular Spline (CS) in Ein- griff befindet (Bild 3).
- 2) Mit Drehen des WG verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffs- bereich. Da der FS zwei Zähne weniger als der CS besitzt, ...
- 3) ... vollzieht sich nach einer halben Umdre- hung 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 entgegenge- setzt zum Antrieb.

Der Zahneingriff bei Harmonic Drive Getrieben ist nicht das bekannte Abwälzen wie bei Stirnradver- zahnungen. Durch eine mathematische Funktion

Autor

Dr. Matthias Mendel
Leiter Konstruktion & Entwicklung
Harmonic Drive AG
Hoenbergstraße 14
65555 Limburg/Lahn
Tel.: 0 64 31/50 08-0
Fax: 0 64 31/50 08-18
E-Mail: info@harmonicdrive.de
www.harmonicdrive.de

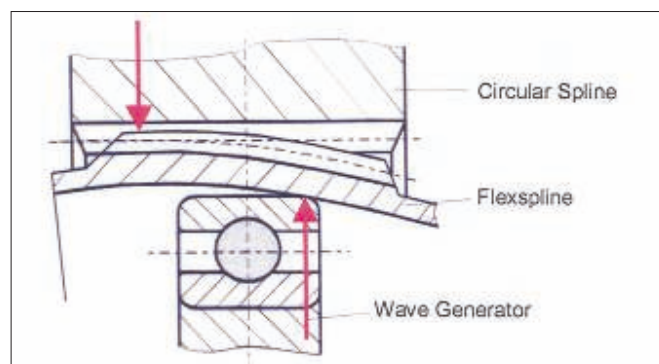


Bild 2
Verformung des Flex- spline im Zahneingriffs- bereich

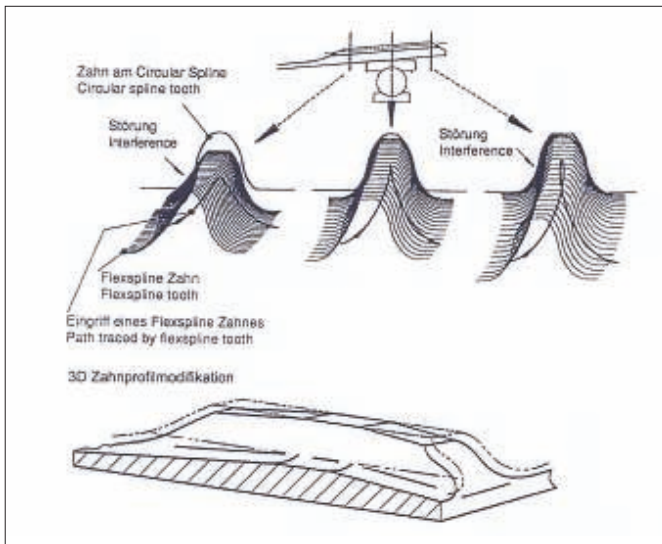


Bild 4

Zahneingriffsverhalten in
Abhängigkeit der axialen
Position und Koningeffekt

der elliptischen Scheibe und die damit verbundene Verformung des Flexspline mit Außenverzahnung ergeben sich spezifische Eingriffsbahnen der Verzahnungen (Bild 4). Der Flexsplinezahn wandert in einer vorgeschriebenen definierten Bahn in die Zahnluke des Circular Spline. Durch den vorwiegend in radialer Richtung stattfindenden Zahneingriff und die Verformbarkeit des Flexspline ist es möglich, die Verzahnungen radial soweit ineinander zu pressen, dass die Getriebe absolut spielfrei sind. Die große Anzahl der im Zahneingriff befindlichen Zähne ermöglicht eine hervorragende Lastverteilung, was die Basis für eine sehr hohe Drehmomentkapazität ist.

CPU-Kompaktpräzisionsgetriebe und CHA-Servoantriebe als neues Baukastensystem

Die Harmonic Drive AG führt eine neue Baureihe in den Markt ein, die dem Anwender

neue Möglichkeiten eröffnet, indem eine höhere Getriebege nauigkeit, eine höhere Führungsgenauigkeit und Belastbarkeit des Abtriebslagers erreicht werden, ohne dass dies einhergeht mit höheren Kosten.

Mit der neuen Produktfamilie wurde erstmals baureihenübergreifend konsequent ein Baukastensystem für die funktionsrelevanten Teile entwickelt, um die Teilevielfalt zu minimieren, die Qualitätssicherung zu optimieren und die Kosten zu reduzieren. Die CPU-Units bestehen aus den bewährten HFUC-Getriebeeinbausätzen, kombiniert mit neu entwickelten großen und kipfstifen Präzisionsabtriebslagern. Als Basis des Baukastensystems werden diese beiden funktionsrelevanten Bauteile jeweils vormontiert. Dabei wird der Flexspline des Harmonic Drive Einbausatzes fest mit dem Innenring des Abtriebslagers verbunden. Flexspline und Innenring der CPU-Getriebe sind so ausgeführt, dass sie als Basis des

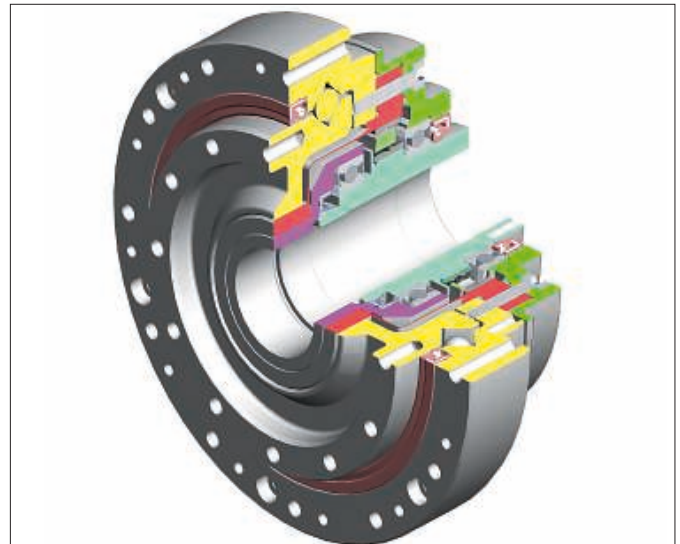


Bild 5

CPU-H Hohlwelleneinheit

Baukastensystems sowohl zu Hohlwellengetrieben als auch zu Vollwellengetrieben komplettiert werden können.

Der CP-Baukasten umfasst folgende Varianten:

- CPU-H: mit Hohlwelle (Hollow-Shaft)
- CPU-S: mit Eingangswelle (Shaft)
- CPU-M: Motoranbau-Version (Motor adaption)
- CHA: Hohlwellenantrieb (Compact Hollow-shaft Actuator)

Die CP-Produktfamilie (Bild 5, 6) ist so konzipiert, dass komplett abgedichtete Getriebeboxen mit Hohlwelle und Eingangswelle (CPU-H und CPU-S) angeboten werden. Parallel dazu kann an die gleiche Basis-Unit jeder beliebige Servomotor mit Hilfe eines Zwischenflansches angebaut werden (CPU-M). Zusätzlich zu diesen drei Getriebebauteypen wird die Basis-Unit ebenfalls für den neuen Hohlwellenantrieb CHA verwendet. Die drei



Bild 6

Einige Mitglieder der CP-Produktfamilie. Links: CPU-S, mit Eingangswelle (Shaft), rechts: CHA, Hohlwellenantrieb (Compact Hollow-shaft Actuator)

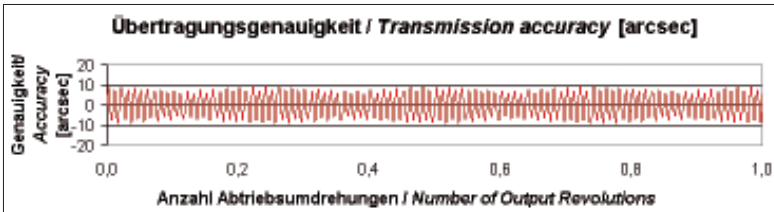


Bild 7

Typische Übertragungsgenauigkeit einer CPU Unit oder eines CHA-Hohlwellenantriebes mittlerer Baugröße



Bild 8

3D-Modell Zwei-Achs-Fräskopf

Getriebe und der Hohlwellenantrieb haben durch das konsequente Baukastensystem eine identische Abtriebsflanschgeometrie und gleiche Abtriebslagerleistungs- und Genauigkeitsdaten. Im Vergleich zur Vorgängerbaureihe FHA bietet der CHA-Hohlwellenantrieb je nach Baugröße um bis zu 30 % höhere Leistungsdaten des Getriebes und des Motors. Insbesondere das Abtriebslager hat eine höhere Lagerkapazität und verbesserte Laufeigenschaften bzgl. Rund- und Planlauf. Die Torsionssteifigkeit wird um 10 % erhöht, die Hystereseverluste von 2 auf 1 Winkelminute reduziert. Zur bereits erwähnten Funktionsintegration gehört ebenfalls, dass geplant ist, die CHA-Baureihe auch mit integriertem Momentensensor als Option anzubieten. Diese Option ist derzeit in Planung

und wird in einem zweiten Entwicklungsschritt nach der Einführung der CHA-Baureihe verfügbar sein.

Eigenschaften der CP-Einheiten

Die für Harmonic Drive Units bisher in der Serie garantierte Übertragungsgenauigkeit (auch Absolute Genauigkeit oder Positioniergenauigkeit genannt) wurde je nach Baugröße um bis zu 50 % verbessert (Bild 7). Da die Übertragungsgenauigkeit bei vielen Anwendungen von Präzisionsantrieben und -getrieben eine große Rolle spielt, stellt die o. g. Verbesserung einen entscheidenden Entwicklungsschritt dar. So kann beispielsweise bei B-Achsen von Schleifmaschinen die Übertragungsgenauigkeit des eingesetzten Getriebes

direkt am Schleifergebnis „abgelesen“ werden. Für zufriedenstellende Schleifergebnisse sind an diesen Achsen im allgemeinen Übertragungsgenauigkeiten im Bereich < 30 arcsec erforderlich. Weitere Beispiele für hohe Anforderungen an die Übertragungsgenauigkeit der eingesetzten Getriebe sind das Laserschweißen bei 6-Achs-Robotern oder der Einsatz in Fräsköpfen.

Anwendung: Fräskopfantriebe für Holz-, Kunststoff- und Aluminiumbearbeitung

Zwei-Achs-Fräsköpfe verschiedenster Leistung werden typischerweise in Portalmaschinen für Kunststoff-, Holz- und Leichtmetallbaubearbeitung eingesetzt. Insbesondere für Fräsköpfe mit HSC-Spindeln kleinerer Leistung (ca. 1 kW) können für solche Anwendungen die sehr kompakten und präzisen Harmonic Drive Getriebe und auch Hohlwellenantriebe eingesetzt werden. Eine kostengünstige Alternative besteht ebenfalls in der Verwendung einer roboterähnlichen, vollseriellen Kinematik mit integrierter Frässpindel. Eine solche Konstruktion bietet Vorteile im Hinblick auf größeren Arbeitsraum und Anwendungsflexibilität. Bild 8 zeigt die 3D Modellierung eines extrem kompakten Zwei-Achs-Fräskopfes, wobei in der A-Achse der neue Hohlwellenantrieb CHA eingesetzt ist und in der B-Achse die neue kompakte CPU-Hohlwellenunit. Diese wird angetrieben über den parallel angeordneten, sehr kompakten Harmonic Drive CHA-Hohlwellenmotor. Der realisierte Fräskopf mit Blick auf das Antriebsmodul der B-Achse ist in Bild 1 zu sehen. Die Fräskopfanwendung zeigt die flexiblen Einsatzmöglichkeiten der Komponenten des CPU- und CHA-Baukastensystems.

Hintergrund Harmonic Drive

Die Harmonic Drive AG in Deutschland hat sich seit Anfang der siebziger Jahre aus einem reinen Vertriebsunternehmen, welches die Harmonic Drive-Produkte der japanischen Schwestergesellschaft Harmonic Drive Systems Inc. vertrieben hat, zu einem leistungsfähigen Unternehmen mit Vertrieb und Marketing, Getriebeproduktion und Produktentwicklung im Bereich der mechanischen und elektrischen Antriebstechnik entwickelt. Die Harmonic Drive AG hat heute rund 185 Mitarbeiter und einen Jahresumsatz im Jahr 2005 von ca. 35 Mio. EUR. Der Exportanteil beträgt ca. 45 %. Die Harmonic Drive AG entwickelt und fertigt mechanische Präzisionsgetriebe, Ser-

vomotoren, Servoantriebe mit integriertem Präzisionsgetriebe und komplette kundenspezifische Antriebssysteme. Die mechanischen Komponenten, z. B. Einbausätze oder Getriebeeinheiten mit Gehäuse und Lagerung, erfordern in der Regel bei den Kunden höheren Konstruktionsaufwand bei der Einbindung der Komponenten in die Maschine. Die Servoantriebe und kundenspezifischen Antriebssysteme verfügen über einen sehr hohen Integrationsgrad, was den Konstruktionsaufwand beim Kunden erheblich reduziert. Basis für alle Produkte ist in der Regel ein Harmonic Drive Präzisionsgetriebe oder ein Harmonic Planetengetriebe.