

Einmal Weltall und zurück

Warum sich Harmonic-Drive-Getriebe für den Einsatz im Weltall eignen, welche konstruktiven Herausforderungen es gibt und wie sich diese bewältigen lassen, verraten wir hier.

AUTOR



Markus Jansson,

Teamleiter Entwicklung nicht industrieller Getriebe, Harmonic Drive AG, Limburg

Getriebe des Typs Harmonic Drive sind mittlerweile nicht mehr aus der Raumfahrt wegzudenken. 1970 erstmals in Radantrieben für das Lunar Rover Vehicle der NASA im Einsatz, ist das Getriebe heute beispielsweise in Antriebslösungen für Solar Array Drive Mechanisms oder Antenna Pointing Mechanisms zu finden. Vor allem die technischen Merkmale dieser Getriebe prädestinieren sie für den Einsatz in der Raumfahrt. Die Einbausätze mit ihrer hohen einstufigen Übersetzung in einer Stufe sind kompakt und spielfrei. Außerdem zeichnen sie sich durch eine hohe Torsionssteifigkeit und Übertragungsgenauigkeit aus. Vor allem die geltenden Umgebungsbedingungen im Weltall stellen besonders hohe Ansprüche an die Getriebe und Schmierstoffe: zum Beispiel das vorherrschende Vakuum von bis 10^{-17} mbar und extreme Temperaturen, welche je nach

Einsatz mit zwischen -150 °C und 200 °C auf einen Mechanismus wirken. Dennoch muss dieser zuverlässig funktionieren, da bei einem Ausfall keine Reparatur möglich ist.

Schmierfette für den Einsatz im Vakuum

Aus diesem Grund wurde der Einbausatz Harmonic Drive für Anwendungen im Weltraum an die Umgebungsbedingungen angepasst. Dies betrifft im Wesentlichen die verwendeten Werkstoffe, die den hohen Ansprüchen der ESA-Standards genügen müssen. Aber auch die ausgewählten Schmierstoffe, die für den zuverlässigen Betrieb des Getriebes eine Schlüsselrolle einnehmen, spielen eine entscheidende Rolle. Schließlich können nur einige wenige Schmierfette überhaupt im Vakuum eingesetzt werden und genügen dabei noch den hohen Ansprüchen der europäischen Raumfahrtbehörden.

Seit mehr als vier Jahrzehnten ist der Getriebetyp Harmonic Drive in Raumfahrtanwendungen im Einsatz.



de. Hinzu kommt, dass sich diese Sonderschmierstoffe im Getriebe gänzlich anders verhalten als jene, die im industriellen Umfeld verwendet werden. Mit Testreihen und Entwicklungstätigkeiten konnte die Harmonic Drive AG, mit Unterstützung der ESA Getriebe mit raumfahrttauglichen Schmierstoffen immer weiter verbessern. Detaillierte Informationen dazu liefert der Wissenskasten auf Seite 60.

Dennoch bringen fettgeschmierte Getriebe einen wesentlichen Nachteil mit sich: Der Temperatureinsatzbereich ist – aufgrund des Schmierstoffes – stark eingeschränkt. Bei Temperaturen unterhalb von -60 °C werden die Schmierstoffe so hochviskos, dass ein Betrieb kaum mehr möglich ist. Steigt die Temperatur über 90 °C , wird der Schmierstoffverlust durch Ausgasung zu hoch, da ein exponentieller Zusammenhang zwischen Ausgasung und Temperatur besteht. Dies stellt insbesondere dann ein Risiko dar, wenn sich optische Instrumente in der Nähe befinden. Schlägt sich der Schmierstoff beispielsweise auf Linsen nieder, kann die Funktion der Optik stark beeinträchtigt werden. Um dieses Problem zu umgehen, können anstelle von Schmierfetten tribologisch wirksame Schichten eingesetzt werden. Dies ist im Raumfahrtbereich insbesondere bei Wälzlagern eine gängige Praxis. Dabei werden vorrangig Molybdändisulfid (MoS₂) oder Blei (Pb) eingesetzt. Beide Materialien erzielen die besten Standzeiten, wenn sie im PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) abgeschieden werden. Die Schichtdicken können bei diesem Verfahren gut kontrolliert werden und liegen in aller Regel im niedrigen einstelligen μm -Bereich, wodurch sich beide Materialien grundsätzlich auch zur Beschichtung von Getriebekomponenten eignen.

Geometrie für Trockenlauf optimiert

An diesem Punkt setzt die Entwicklung eines trocken laufenden Harmonic-Drive-Getriebes mit Namen Zirconline an: In einem europäischen Förderprojekt verfolgte die Harmonic Drive AG – gemeinsam mit Projektpartnern aus Österreich (AAC, AC2T) und Spanien (Tecnalia) – das Ziel, den Prototyp eines beschichteten Einbausatzes für den Vakuumbetrieb zu entwickeln. Ein ganzheitlicher Ansatz fokussiert dabei sowohl die Getriebegeometrie als auch die Entwicklung einer speziellen Beschichtung.

Bisher sind Getriebe des Typs Harmonic Drive in ihrer Geometrie auf den Betrieb mit Schmierfett optimiert. Sollen tribologisch wirksame Schichten optimal eingesetzt werden, führt dies zu speziellen Anforderungen sowohl an die Oberflächen des Getriebes als auch an die Getriebekinematik. Es ist zwar durchaus möglich, die Beschichtung auf ein Stan-

Im **Weltraumeinsatz** stellen das vorherrschende Vakuum von bis zu 10^{-17} mbar und extreme Temperaturen zwischen -150 °C und 200 °C eine **Herausforderung für Getriebe und Schmierstoff** dar.



TIPP

Die Baureihe Zircoline des Getriebetyps Harmonic Drive gehört zu der Gruppe der Wellgetriebe. Diese bestehen aus drei einzelnen Präzisionsteilen: Wave Generator, Flexspline und Circular Spline. Online zeigen wir zu diesem Fachbeitrag ein Video der Harmonic Drive AG, das das Funktionsprinzip der Wellgetriebe anschaulich erklärt. Kurzlink: kurzlink.de/harmonic-drive

Sandra Häuslein
sandra.hauslein@vogel.de

Sandra Häuslein

FAKT

Franke Kompetenz Dünnringlager

NEU:
Dünnringlager
mit Elastomer-
ummantelung



Halle 16, Stand F10
25. – 29. April 2016

Light Bearings for Innovation

Im Gegensatz zu herkömmlichen Wälzlagern laufen die Kugeln beim Franke-Drehwälzlager nicht direkt in den Lagerschalen, sondern bewegen sich auf eingelegten Laufringen - unabhängig von Material und Form der umschließenden Konstruktion.

Unser **neues Dünnringlager LSC** mit Elastomerprofil ist erstmalig auf der Hannover Messe zu sehen. Das Elastomer übernimmt Abdichtung, Toleranzausgleich und Schwingungsentkopplung des Lagers. Dadurch kann eine separate Abdichtung der Lagerung entfallen.

Wir freuen uns auf Ihren Besuch an unserem Messestand.

www.franke-gmbh.de





BILDER: HARMONIC DRIVE



Das Bild zeigt den trocken geschmierten Getriebetyp Harmonic Drive der Baureihe Zirconline.

Die auf den Flexspline aufgetragene Kriechbarriere verhindert das Ausbreiten des Schmierstoffes.

dardgetriebe zu applizieren, die erreichbare Lebensdauer ist dann jedoch eher gering. Während des Entwicklungsprozesses wurden geometrische Optimierungen daher Schritt für Schritt eingeführt. Der daraus entstandene Prototyp weist im Vergleich zum Standardgetriebe eine verringerte Oberflächenrauheit auf, hat ein angepasstes Zahnprofil sowie eine veränderte Kinematik. Daraus resultieren ein deutlich verringerter Gleitweg und eine wesentlich geringere Pressung in der Verzahnung bei kleinen Drehmomenten, die typisch für Raumfahrtanwendungen sind.

Der Schmierstoff stellt ein Schlüsselement für die Funktion des fettgeschmierten Getriebes dar. Dies trifft bei dem beschichteten Getriebe gleichermaßen auf die Beschichtung

zu. Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Auswahl der Beschichtung ist die Vakuumtauglichkeit, da bei weitem nicht alle Schichttypen im Vakuum funktionieren. Umgekehrt gilt dies genauso: Eine Schicht, die im Vakuum gut schmiert, versagt unter normalen Bedingungen im Allgemeinen schnell. Für die vorliegende Entwicklung wurde eine Multilayer-Beschichtung aus MoS₂ und Wolframcarbid (WC) ausgewählt. Dieser Schichttyp zeichnet sich gegenüber dem klassischen MoS₂ durch eine erhöhte Verschleißbeständigkeit aus. Im Rahmen des Projektes wurde sowohl das Verhältnis aus MoS₂ und WC als auch die Schichtdicke optimal an die Anforderungen im Getriebe angepasst. Des Weiteren konnte die Schichthaftung auf der metallischen Oberfläche der Komponenten wesentlich verbessert werden.

Prototyp entwickelt und getestet

Schließlich konnte das Entwicklerteam am Ende des Projektes den Prototyp des neuen Getriebetyps mit Namen Zirconline-20-100 unter Realbedingungen testen. Im Hochvakuum konnte bei 4 Nm Last am Abtrieb im besten Fall eine Betriebsdauer von mehr als 20.000 Umdrehungen erreicht werden. Das Getriebe weist dabei nach wie vor die typischen Eigenschaften eines Harmonic-Drive-Getriebes wie eine absolute Spielfreiheit, eine exzellente Übertragungsgenauigkeit und eine hohe Torsionssteifigkeit auf. Der trocken geschmierte Prototyp unterscheidet sich in den genannten Charakteristika also nur geringfügig von der fettgeschmierten Getriebevariante.

Mit der Entwicklung des Prototyps eines trocken laufenden Getriebes konnte die Harmonic Drive AG einen wesentlichen Schritt zur Erweiterung ihres Produktportfolios machen und zudem wertvolle Erkenntnisse gewinnen, die sowohl in die Entwicklung anderer Produkte als auch in die Kundenberatung einfließen können. (sh)

WISSEN

Aufwendige Testreihen für raumfahrttaugliche Harmonic-Drive-Einbausätze

Um detaillierte Kenntnisse über das Verhalten der Einbausätze des Typs Harmonic Drive unter realen Einsatzbedingungen zu gewinnen, führte die Harmonic Drive AG aufwendige Testreihen durch. Beispielsweise wurden Getriebe vom Typ HFUC-20-160 mit raumfahrttauglichen Schmierstoffen versehen und Dauertests unter Vakuum durchgeführt. Diese Getriebe finden verbreitet in Solar Array Drive Mechanisms (Mechanismus zum Drehen von Solarmodulen) Einsatz – eines der wesentlichen Einsatzfelder. Mit diesen Tests und daraus resultierenden Entwicklungstätigkeiten, die von der ESA unterstützt wurden, ließ sich die erreichbare Betriebsdauer der Getriebe für diesen Anwendungsfall nahezu verdoppeln. Die Erkenntnisse, wie sich Getriebe im Hochvakuum verhalten, nutzt das Unternehmen, um seine Kunden bei der Auswahl des richtigen Getriebes noch besser unterstützen zu können.