

Fluidtechnik:

Hydraulik und Elektrotechnik in anspruchsvollen Prüfmaschinen

Automatisierungstechnik:

Sensor-, Feldbus- und Anschlusstechnik sorgen für Sicherheit

Special:

Medizintechnik – Maschinenelemente im Dienst der Gesundheit

Antriebstechnik:

Kupplungskombination schützt
weltgrößtes Schiffshebewerk





Auf dem Prüfstand

Merkmale und Anforderungen an Hochleistungs-Kugelgewindetriebe

Ralf Wohlbrück

Der erfolgreiche Betrieb anspruchsvoller Werkzeugmaschinen hängt u. a. von der Leistung der eingesetzten Kugelgewindetriebe ab. Neben einer ausgereiften Konstruktion und Werkstoffauswahl spielen die exakte Auslegung, Verarbeitung sowie qualitätssichernde Maßnahmen bei Montage und Einbau eine wichtige Rolle. Neben einer Fülle weiterer konstruktiver und technischer Merkmale sind die Muttervorspannung und das Leerlaufdrehmoment zwei wichtige Qualitätsparameter, die das Laufverhalten, den Wärmegang und die Lebensdauer eines Kugelgewindetriebs wesentlich bestimmen.

Dr. Ralf Wohlbrück, A.MANNESMANN
MASCHINENFABRIK GmbH, Remscheid

Muttervorspannung und Leerlaufdrehmoment werden dem Kugelgewindetrieb vom Hersteller gewissermaßen „von Geburt an“ mitgegeben und haben starken Einfluss auf den gesamten Lebenszyklus. Wünschenswert ist ein möglichst kleines Leerlaufdrehmoment, weil davon auszugehen ist, dass damit auch die unter Betriebslasten verursachten Reibdrehmomente entsprechend klein ausfallen, der mechanische Wirkungsgrad hoch ist und die auftretende Wärmeentwicklung, der Wärmegang sowie der Energieverbrauch minimiert werden.

Anforderungen an die Konstruktion

Die Muttersteifigkeit ist ein anerkannt bewährtes Maß für den Nachweis der eingestellten Muttervorspannkraft eines Kugelgewindetriebs. Sie kann messtechnisch ermittelt werden und dient als wichtige Prüfgröße bei der Herstellung von Kugelgewindetriebsen. Sie soll – entsprechend den Vorgaben – bei der Herstellung des Kugelgewindetriebs exakt eingestellt werden, damit über eine möglichst lange Einsatzdauer und unter allen Betriebsbedingungen eine genügend hohe Restvorspannkraft verbleibt. Ein Abheben der Kugeln von den Gewindegängen der Spindel und der Mutter muss sicher verhindert werden, um den einwandfreien Lauf von Kugelgewindetriebsen über eine lange Gebrauchsdauer sicher zu gewährleisten.

Das Abheben der Kugeln wäre mit einem – den Bearbeitungsprozess störenden – Umkehrspiel verbunden und würde darüber hinaus dazu führen, dass die Kugeln nicht mehr in ihren vorgeschriebenen Soll-Laufbahnen rollen. Dann wür-

den sie auch Drehbewegungen senkrecht zur ihrer Soll-Drehrichtung ausüben.

Diese Drehungen der Kugeln werden als Bohrbewegung bezeichnet. Diese hätte erhebliche Festkörperreibungsanteile zur Folge, die so genannte Bohrreibung. Bekanntlich ist Bohrreibung mit äußerst starken Festkörperkontakten und daraus resultierendem Verschleiß verbunden, was den Abbau der Muttervorspannung stark beschleunigen und in deren Folge rasch zu einem vollständigen Ausfall des Kugelgewindetriebs führen kann.

Dem Wunsch nach hoher Muttervorspannkraft, also einer hohen Muttersteifigkeit, sind zwei physikalische Grenzen gesetzt. Denn die Muttervorspannkraft wirkt zusätzlich zu den Betriebslasten auf die Kugeln und reduziert die so genannte nominelle Lebensdauer (Materialermüdungsdauer). Mit Erhöhung der Muttervorspannung erhöht sich auch das Leerlaufdrehmoment.

Um eine ausreichend hohe nominelle Lebensdauer bei der technischen Auslegung in Nachweis bringen zu können, ist es notwendig, den Kugelgewindetrieb konstruktiv mit einer genügend hohen dynamischen Tragzahl auszustatten. Damit der Kugelgewindetrieb auch bei hoher Muttervorspannung ein geringes Leerlaufdrehmoment aufweist, müssen darüber hinaus die Kugellaufbahnen und Umlenkssysteme



Bild 2:
AM-Kugelgewindetriebe mit vorgespannter Doppelmutter und tiefnitrierter, geschliffener Spindel

bestmöglich konstruiert sein und mit höchster Präzision hergestellt werden.

Schließlich sei noch bemerkt, dass selbstverständlich Leerlaufdrehmoment und Muttersteifigkeit – an jeder Position der Mutter auf dem Gewinde der Spindel gemessen – innerhalb vorgegebener Schwankungsgrenzen liegen müssen. Auch deshalb sind höchste Genauigkeit und Präzision bei der Herstellung von Hochleistungs-Kugelgewindetrieben unabdingbar.

Wesentliche Parameter einer Kugelgewindetriebsvariante sind der Nenndurchmesser der Spindel, die Gewindesteigung und der Kugeldurchmesser. Abhängig von der konstruktiv festgelegten und bei der Herstellung eingestellten Muttervorspannkraft, müssen – über die Gewindelänge der Spindel gemessen – Leerlaufdrehmoment und Muttersteifigkeit in vorgegebenen Grenzen liegen.

Überprüfung der Muttervorspannung

Zwecks Überprüfung der Muttervorspannung wird die Spindel des Kugelgewindetriebs in einer Prüfeinrichtung unmittelbar vor und hinter der Mutter eingespannt. Zunächst wird der Kugelgewindetrieb axial in die eine und anschließend in die andere Richtung belastet und ein Kraft-Weg-Diagramm – die so genannte Federkennlinie der Mutter – aufgenommen (Bild 3). Die Federkennlinie darf im Ursprung des Kraft-

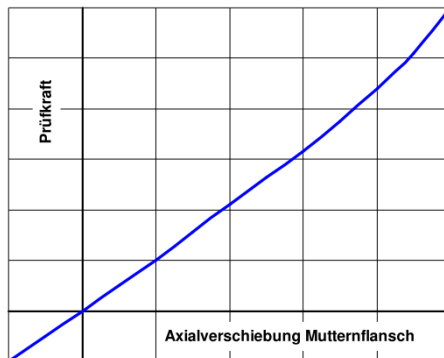


Bild 3: Federkennlinie der Mutter

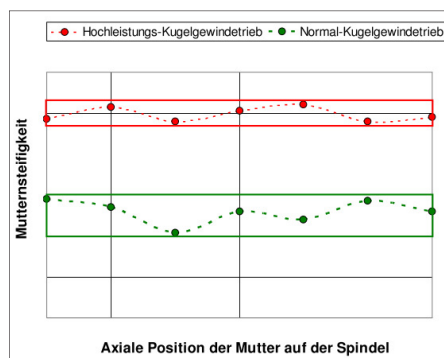


Bild 4: Muttersteifigkeit in Abhängigkeit von der Position der Mutter auf der Spindel

verhalten der Kugeln führt und vermehrt verschleißbedingten Materialabtrag. Neben dieser funktionellen Störung, die nachteilig auf Bearbeitungsprozesse wirken kann,

Maßhaltigkeiten im Mikrometer-Bereich sind Vorsetzung für Hochleistungs-Kugelgewindetriebe

Weg-Diagramms keine Unstetigkeit und Hysterese aufweisen, was als zusätzliches, die Qualität sicherndes Prüfkriterium verwendet wird. Aus der maximalen Prüfkraft und der maximalen Axialverschiebung des Mutterflanschs wird die Muttersteifigkeit ermittelt. Diese muss – unabhängig von der Position der Mutter auf der Spindelachse – stets oberhalb des vorgegebenen Soll-Werts liegen (Bild 4).

Hochleistungs-Kugelgewindetriebe zeichnen sich gegenüber Normal-Kugelgewindetrieben durch höhere Muttersteifigkeiten und geringere Schwankungen in Achsrichtung aus. An Mutterpositionen mit zu geringer Muttersteifigkeit kann ein Abheben der Kugeln in den Gewindegängen auftreten, was zu kinematisch ungünstigem Roll-

würde der Vorspannungsabbau stark beschleunigt. Das Ende der Gebrauchsdauer des Kugelgewindetriebs wäre kurzfristig zu erwarten.

Messung des Leerlaufdrehmoments

Die Messung des Leerlaufdrehmoments erfolgt bei einer vorgegebenen Prüfdrehzahl. Sie wird für beide Drehrichtungen über die Gewindelänge durchgeführt. Dabei wird die Mutter an einem festgelegten Hebelarm unterstützt. Die gemessene Unterstützungskraft, multipliziert mit diesem Hebelarm, ergibt den Wert des – an der aktuellen Position der Mutter auf der Spindel – wirkenden Leerlaufdrehmoments (Bild 5).

> Ich habe Traum-Maße ... <



Partner: Customer Quality Manager Metrology

> ... mit denen müssen sich alle messen lassen. Das Kern-Hier und die Regelstermg dafür, die haben wir beim Bühler-Messprozess sogar im Übermaß.<

- Präzision hat bei Bühler Motor oberste Priorität. Präzision bei der Entwicklung, Präzision beim Prototyping, Präzision bei der Industriellherstellung. Präzision über die gesamte Serie.

www.buehlermotor.de

Wir freuen uns auf Ihren Kontakt
 Büro Europa
 Leinfelden
 D-91052, 0911 255 2000
 Fax: - 255 2000

Bühler Motor GmbH
 Postfach 450155
 90012 Nürnberg
 Tel.: +49 9101/911 / 45 04 - 0
 Fax: +49 9101/911 / 45 46 24
 info@buehlermotor.de

Je höher das Leerlaufdrehmoment desto mehr Wärmeentwicklung und höhere Temperaturen sind unter Betriebslasten zu erwarten. Kleine Leerlaufdrehmomente bei geringsten Drehmomentschwankungen führen zu hoher Laufruhe, was sich bei vielen Anwendungen in Werkzeugmaschinen positiv auf die Ergebnisse der Bearbeitungsprozesse auswirkt.

Vergleichsmessungen

In Bild 6 sind Messergebnisse an Normal- und Hochleistungs-Kugelgewindrieben dargestellt. Die Messungen zeigen deutlich, dass die Normal-Kugelgewindriebe mit den geringsten Leerlaufdrehmomenten (Bild links unten) gleichzeitig sehr geringe Muttersteifigkeiten aufweisen. Die Leichtigängigkeit ist also bereits im Neuzustand mit einer geringen Muttervorspannung verbunden und bietet geringe Reserven für Verschleiß bedingten Vorspannungsabbau im späteren Betrieb. Obwohl die AM-Hochleistungs-Kugelgewindriebe im Mittel doppelt so hohe Muttersteifigkeiten aufweisen, blei-

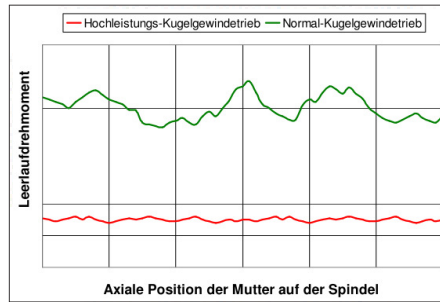
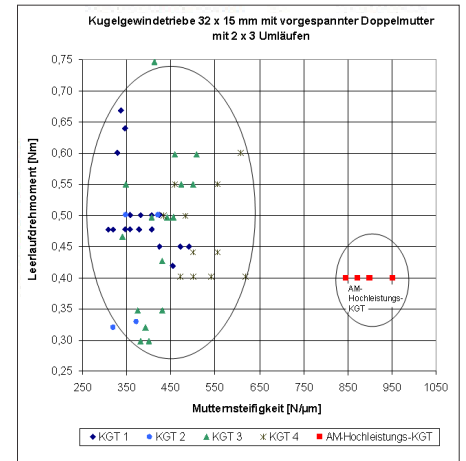


Bild 5: Leerlaufdrehmoment in Abhängigkeit von der Position der Mutter auf der Spindel

Bild 6: Messwerte Leerlaufdrehmoment und Muttersteifigkeit Kugelgewindriebe gleichen Typs



ben die Messwerte für das Leerlaufdrehmoment dennoch auf einem niedrigen Niveau.

Hingegen weisen die Normal-Kugelgewindriebe trotz der geringeren Muttersteifigkeit im Mittel um ca. 20 % höhere Leerlaufdrehmomente auf. Deutlich zu erkennen ist ferner die erheblich höhere Streuung der Messwerte der Normal-Kugel-

gewindriebe gegenüber denen der AM-Hochleistungs-Kugelgewindriebe, sowohl beim Leerlaufdrehmoment als auch bei der Muttersteifigkeit.

Fazit

Die alleinige Messung des Leerlaufdrehmoments, bzw. das manuelle „Erfühlen“ des Leerlaufdrehmoments, reicht für eine Qualitätsbeurteilung eines Kugelgewindriebs nicht aus. Es ist zwar in der Regel so, dass die Muttervorspannung mit sinkendem Leerlaufdrehmoment ebenfalls abnimmt, eine geschlossen analytische Umrechnung von der einen in die andere Größe ist jedoch nicht möglich. Deshalb werden Muttervorspannung und Leerlaufdrehmoment bei der Herstellung von Hochleistungs-Kugelgewindrieben messtechnisch separat ermittelt und dokumentiert.

A. Mannesmann
Maschinenfabrik

www.vfmz.net/1078030

Maschinenelemente hoher Maßhaltigkeit

Die A.Mannesmann Maschinenfabrik ist Spezialist in der Herstellung geometrisch anspruchsvoller, hochpräziser Maschinenelemente und Hochleistungs-Kugelgewindriebe, wie sie z. B. in Werkzeugmaschinen zum Einsatz kommen. In dem 1796 gegründeten Unternehmen werden Werkstücke mit hohem Schlankheitsgrad in Längen bis 15 m und mehr gefertigt. Die Maßeinheit für Fertigungstoleranzen auch bei großen Abmessungen liegt dabei im Mikrometer-Bereich. Die Produkte, die neben Kugelgewindrieben u.a. Bohr- und Frässpindeln, Schleifspindeln und komplette Spindelsätze, Antriebswellen, Keilwellen, Gewinde- und Drallspindeln sowie Kolbenstangen umfassen, finden bei vielen Anwendungen im Allgemeinen Maschinen- und Werkzeugmaschinenbau weltweit Einsatz.

Dezentrales Antriebssystem

Unterstützt funktionale Sicherheit

Metronix stellt die sicherheitsgerichteten Ausführungen seiner dezentralen Antriebslösung DIS-2 vor. Sie kann als intelligenter Servopositionierregler abgesetzt vom Motor oder direkt auf einem Servomotor montiert eingesetzt werden. Das neue, kompakte Modul bietet Anlagen- und Maschinenbauern laut Hersteller eine kosteneffektive Antriebslösung.

Die STO-Funktionalität für sicher abgeschaltetes Moment (PLe-Kategorie 3 nach ISO 13849-1) eröffnet Maschinenbauern eine kostengünstige Möglichkeit zur Integration von zusätzlichen Sicherheitsfunktionen in ihre Produkte. Separate Sicherheitskomponenten entfallen und der Aufwand für die Verdrahtung wird reduziert. DIS-2-Servopositionierregler lassen sich zur Drehmoment-, Drehzahl- oder Positionierregelung einsetzen und bieten Lösungen für viele gängige Bearbeitungs- und Verpackungsanforderungen. Die DIS-2-Module lassen sich über digitale und analoge Schnittstellen sowie die serienmäßige Feldbuschnittstelle einfach in Automationslösungen integrieren.

Frequenzumrichter

Pumpen- und Wassermanagement

Mitsubishi Electric hat seine Frequenzumrichter-Serie FR-F700-EC mit Funktionen ausgerüstet, die auch die speziellen Anforderungen des Pumpen- und Wassermanagements erfüllen. Hierzu zählen ein Vorfüllmodus, eine integrierte SPS-Funktion, sowie erweiterbare E/A. Somit werden Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Einsatzmöglichkeiten der FR-F700-EC-Serie gesteigert und die Steuerung optimiert. Gleichzeitig lassen sich Kosten und Komplexität in vielen Applikationen reduzieren, da zusätzliche Komponenten entfallen.

Die ausgerüsteten Frequenzumrichter von Mitsubishi Electric sind bereits in einer Vielzahl von Pumpen- und Wasseranlagen im Einsatz. In einem Wasserkreislauf z. B., in dem Pipelines unterschiedlicher Höhe und Länge über einen einzigen Pumpen- und Drucksensor verfügen, können jetzt mit der integrierten SPS-Funktion sechs unterschiedliche PID-Grenzwerte gespeichert und ausgewählt werden. Ein umfangreiches Fachwissen über Frequenzumrichter ist hierbei nicht erforderlich.