

Innovative Leichtbau-Getriebe

Forschung für die Produktion von morgen

Limburg/Lahn (k) – Die Entwicklung neuer Leichtbaugetriebe im Rahmen eines BMBF-Projektes forderte den Harmonic-Drive-Ingenieuren besonderes Augenmerk auf erhöhte Leistungsdichte, verringerte Abmessungen und reduziertes Gewicht ab. Die ersten Ergebnisse können sich sehen lassen.

In Produktionsmaschinen sind Zahnradgetriebe ein wichtiger Bestandteil vieler Antriebsbaugruppen. In seltenen Fällen kommen auch Direktantriebe zum Einsatz. Sie haben ein vergleichsweise schlechtes Verhältnis von Drehmomentkapazität zu Gewicht. Daher beschränkt sich der praktische Einsatz von Direktantrieben meist auf »statische« Anwendungen, in denen der Antrieb nicht Teil einer bewegten Struktur ist.

Die für solche Aufgaben verwendeten Getriebebauarten sind weitestgehend optimiert, aber das Anforderungsprofil für Zahnradgetriebe wird immer anspruchsvoller. Industrieroboter dringen ständig in neue Anwendungsgebiete mit neuen Leistungsmerkmalen ein. Bei Werkzeugmaschinen gibt es eine Reihe von Entwicklungstendenzen, insbesondere zu möglichst hohen Verfahrgeschwindigkeiten, bei extremen Achsenbeschleunigungen, die weitere Leistungssteigerungen von den mechanischen Übertragungselementen fordern. Die hohen Anforderungen sind nicht nur durch die Entwicklung von neueren leichten Grundwerkstoffen zu lösen. Hier sind Technologien gefragt, die die beanspruchten Oberflächen technologisch veredeln, dass Verschleiß, Dauerfestigkeit, Gleit- und Korrosionsverhalten gesteigert werden.

Für die Entwicklung von Leichtbauprodukten kommen folgende Strategien in Frage:

■ Formleichtbau: hier wird ange-

strebt, durch die angepasste Dimensionierung von Bauelementen und die optimale Ausnutzung des Werkstoffes das Funktionsverhalten eines Produktes zu verbessern.

■ Stoffleichtbau: dabei soll mittels Substitution schwerer Werkstoffe durch leichtere bei gleichzeitigem Beibehalten oder Steigerung der Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaften die Masse von Produkten verringert werden.

■ Strukturleichtbau: hier sollen Produkte unter Nutzung von neuen Strukturen leichter ausgeführt werden.

■ Eine optimale Produktgestaltung erfordert dabei immer eine Kombination dieser Maßnahmen. Bis jetzt aber ist die Forschung in allen drei Richtungen stark auf die Bedürfnisse der Luft- und Raumfahrt und in der letzten Zeit auch den Fahrzeugbau ausgerichtet. Untersuchungen im Vorfeld des Projektes haben gezeigt, dass im Bereich Fertigungstechnik die Vorteile von Leichtbau erst jetzt erkannt werden. In diesem Bereich spielt Stahl aufgrund der starken Forderung nach thermischer Stabilität des Prozesses noch immer die entscheidende Rolle. Die Substitution durch andere Materialien wie Titan, Aluminium oder faserverstärkte Kunststoffe ist kaum vorzufinden.

Auf der Hannover Messe 2000 wurde erstmals ein Palletierroboter mit Armsegmenten aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) vorgestellt. Jedoch die in diesem Roboter eingesetzten hochuntersetzende Getriebe wurden weiterhin aus konventionellen Werkstoffen hergestellt. Daher gibt es weiterhin ein erhebliches Entwicklungspotenzial in Bezug auf die Minimierung des Eigengewichtes



Eine der in Prototypen getesteten Möglichkeiten war der Einsatz des Werkstoffes Titan. Eine Alu-Ausführung und Verbundwerkstoffe wurden ebenfalls getestet.

des gesamten Gerätes. Für Getriebehersteller ergibt sich daher folgender Entwicklungsbedarf: Eine Reduzierung der Getriebebaugröße, Gewicht und Geräuschemission bei Wartungsfreiheit durch

■ Einsatz tribologisch wirksamer Beschichtungen

■ Ersatz des Werkstoffes Stahl durch Leichtmetalle oder Sinterwerkstoffe

■ Einsatz und Optimierung von Sonderprofilen

■ Realisierung wartungsfreier oder trockenlaufender Getriebe
Ziel war also die Entwicklung leichter schmiermittelfreier bzw. -armer Zahnradgetriebe kleiner und mittlerer Leistung durch Sonderverzahnungen und Beschichtungen bei Verwendung von Leichtbauwerkstoffen (Leichtmetalle, Sinterwerkstoffe). Verschiedene Prototypen für neue Getriebeausführungen sollten entwickelt werden, die als Basis für neue Serienprodukte dienen können. Obwohl Harmonic Drive zu den Technologieführern im Bereich der benötigten Getriebe zählt, war diese Aufgabenstellung eine große Herausforderung. Denn bis jetzt wurden Harmonic Drive Getriebe

fast ausschließlich aus »konventionellen« Zahnradwerkstoffen wie Stahl oder Gusseisen hergestellt. Weiterhin wurde mit Öl bzw. Fett geschmiert. Auch bei dieser Getriebebauart ist eine Optimierung des Zahnprofils im Bezug eine Reduzierung der Hertzischen Pressung sowie Gleitgeschwindigkeiten möglich. Eine solche Optimierung ermöglicht den Einsatz von Leichtmetallen als Substitution für Stahl/Gusseisen sowie tribologisch wirksame Schichten.

Harmonic Drive hat die Zielsetzung im Teilprojekt ENGEL vier verschiedene Getriebearten innerhalb dieses Projektes zu entwickeln, die neue Maßstäbe bezüglich Leistungsdichte setzen sollen. Dabei sollen die bekannten Harmonic Drive Getriebeeigenschaften, wie hohe Positioniergenauigkeit und exzellente Zuverlässigkeit in vollem Maße erhalten bleiben.

Entwicklungsansätze in fünf Stufen

Weiterhin soll die Trockenschmierung von Harmonic Drive Getrieben für den Einsatz im Vakuum untersucht werden. Die Untersu-

chungen konzentrieren sich nur auf die Möglichkeit, Leichtmetall einzusetzen und berücksichtigt dabei zunächst nur den Getriebe-typ HFUC (Einbausatz und Unit). Die Entwicklungsziele sind:

■ Erhöhung der Tragfähigkeit von Getrieben aus Leichtmetall

■ Erhöhung der Tragfähigkeit der Standardwerkstoffe

■ Massenreduktion durch Formoptimierung (Minimierung der äußeren Abmessungen)

■ Reduktion der Schmiermittelmenge bis hin zur Trockenschmierung

■ Reduzierung der Massenträgheitsmomente

Harmonic Drive hat fünf mögliche Ansätze ausgemacht, die gleichzeitig fünf Stufen des erzielbaren Potenzials und der Herausforderung darstellen. Stufe eins ist die Modifikation der einzelnen Getriebebauteile, um die Einbindung in den Roboterarm zu vereinfachen und damit Gewicht zu minimieren. Stufe zwei ist die Integration von Planetengetrieben oder Stirnradvorstufen in das Harmonic Drive Getriebe, um eine sehr hohe Getriebeuntersetzung in kleinstmöglichem Bauraum zu realisieren. Hohe Untersetzungen erlauben die Benutzung von sehr kleinen, schnell drehenden Motoren, um eine hohe Leistungsdichte des gesamten Achsantriebs zu erreichen. Bei dieser Konstruktion sind Gesamtuntersetzungen von über 800:1 bei kleinstmöglichem Bauraum möglich. Auch bei diesem Getriebe wurde das Hohlrad stark modifiziert, um Gewicht zu reduzieren.

Möglichkeit drei ist die Kombination von konventionellen Getriebebauteilen mit Leichtbauwerkstoffen. Es ist z.B. möglich ein »Verbund Circular Spline«, bestehend aus einer verzahnten Guss Eisen Hülse, die im Aluminium Hohlrad eingegossen wird. Ähnliche Kombinationen mit kohlefaserverstärktem Kunststoff (KFK) sind auch möglich.

In der vierten Stufe wird eine weitere Steigerung der Leistungsdichte durch eine Verstärkung der Verzahnung ermöglicht insoweit,

dass die Tragfähigkeit der Verzahnung und dadurch die Drehmomentkapazität des Getriebes erhöht wird. In der neuen Getriebegeneration wird die Außenverzahnung des Flexsplines nitriert und die Innenverzahnung des Circular Splines chemisch vernickelt um eine solche Tragfähigkeitssteigerung zu erreichen. In vielen Anwendungen wird es dem Anwender ermöglicht eine kleinere Getriebebaugröße einzusetzen.

Die größten Fortschritte erwartet man von Stufe fünf, der Anwendung von neuen Werkstoffen für die einzelnen Getriebebauteile, womöglich in Kombination mit einer verstärkten Verzahnung. Ein Substitution von Stahl bzw. Guss-eisen für die schwersten Bauteile, d.h. für das Circular Spline, Wave Generator Plug und Kreuzrollenlager, mit Leichtmetallen könnte Gewichtersparnisse bis zu 50 Prozent ermöglichen. Erste Prototypen mit Bauteilen aus Aluminium

Aluminium bisher nicht befriedigend

sind hergestellt worden, erfüllen aber nicht die Anforderungen in Bezug auf Verschleißverhalten. Weiter muss, aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten von Leichtmetallbauteilen, über einen breiten Betriebstemperaturbereich untersucht werden. Tribologisch wirksame Schichten können hier Verschleißwiderstand, Tragfähigkeit und Ermüdungseigenschaften verbessern sowie die Reibung und Korrosionsneigung deutlich herabsetzen.

Erste Untersuchungen im Bereich Leichtbaugetriebe mit Aluminium als Werkstoff sind für spezielle Anwendungen erfolgt. Jedoch haben diese Getriebe die gewünschten Forderungen bzgl. Verschleißverhalten noch nicht erfüllt. Weiterhin gibt es Einsatzgebiete, z.B. im Bereich Medizinrobotik, wo zusätzliche Forderungen bezüglich Biokompatibilität oder Korrosionsbeständigkeit die Benutzung von Aluminium ausschließen. Für

diese Anwendungen sollen weitere Leichtmetalle, wie z.B. Titan, als Zahnradwerkstoff untersucht werden.

In den ersten 15 Monaten des Teilprojektes ENGEL konnten schon drei Prototypen in Leichtbauweise konstruiert und gefertigt werden. In einer Ausführung handelt es sich um Getriebe mit einem »Verbund Circular Spline«, wo ein schmaler Ring aus Grauguss für die Verzahnung in einer speziellen Aluminiumlegierung eingegossen

handelt sich um eine Legierung mit hohen Festigkeitswerten, größerem E-Modul und geringerem Wärmeausdehnungskoeffizient verglichen mit üblichen Alulegierungen. Beim dritten Prototypen wurden Circular Spline und Wave Generator aus Titan gefertigt. Parallel zu dem Testprogramm unter Laborbedingungen werden auch erste praktische Erfahrungen mit der Prototypgetriebeausführung gesammelt. Leichtbaugetriebe mit einem »Verbund Circular Spline« werden in allen sieben



Leichtbaugetriebe arbeiten auch im Leichtbauroboter der 3. Generation des DLR.

wird. Bei diesem Getriebe wird zudem die elliptische Scheibe mit einer anderen Aluminiumlegierung mit geringem Wärmeausdehnungskoeffizient ausgeführt. Mit dieser Maßnahme konnte das Gewicht gegenüber dem Standardgetriebe schon um nahe 50 Prozent verringert werden. Eine weitere Gewichtsreduzierung von ca. fünf Prozent wurde bei der zweiten Getriebeausführung erreicht, bei der der Circular Spline komplett aus Aluminium hergestellt wurde. Es

Achsen eines neuen Leichtbauroboters des Institutes für Robotik und Mechatronik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eingesetzt. Der Roboter verfügt über eine Nutzlast von 10 kg und eine Reichweite von 890 mm – bei einem Eigengewicht von nur 15 kg.

Dr. Rolf Slatter



Harmonic Drive

Kennziffer 318