



Damit die Verbindung klappt: Zahnstangengetriebe zeichnen sich durch hohe Verfahrensgeschwindigkeiten, unbegrenzte Verfahrwege sowie hohe Positioniergenauigkeit und Steifigkeit aus. Bild: Fotolia, Ioannis Kounadeas

Reibungsfreie Verbindung

Spielfreie Welle-Nabe-Verbindung für Zahnstangengetriebe Durch die Schumpfscheiben-Lösung der Firma Atlanta kann eine deutliche Steigerung der mit der Welle übertragbaren Drehmomente erreicht werden.

Mehr Leistung, mehr Dynamik – mit diesen Anforderungen werden die Ingenieure in den Entwicklungsabteilungen zunehmend konfrontiert. Da die Qualität einer Systemlösung vom schwächsten Glied bestimmt wird müssen alle Elemente im Antriebsstrang höchsten Anforderungen genügen. Die Firma Atlanta Antriebssysteme aus Bietigheim-Bissingen, nach eigenen Angaben Weltmarktführer im Bereich hochgenauer Zahnstangengetriebe, hat sich dieser Herausforderung mit einer neuen, kombiniert form-/reibschlüssigen Welle-Nabe-Verbindung (WNV) am Ritzel gestellt.

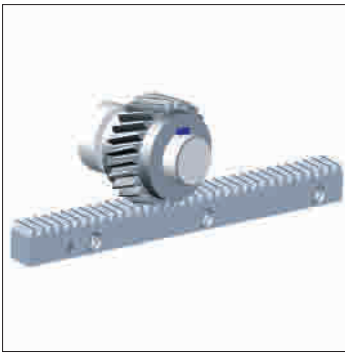
Einfache Montage, Spielfreiheit und hohe Momentübertragungsfähigkeit sind wesentliche Merkmale dieser Lösung und damit ein unverzichtbares Element bei der Systemoptimierung. Der Ritzel-Zahnstangentrieb von Atlanta wird in der Regel von einem hochdynamischen Servomotor über ein Getriebe angetrieben. In ihren eigenen Getrieben verwendet das Unternehmen einteilige Ritzelwellen, welche für diese Antriebe optimiert sind.

Soll das Ritzel auf einer Kundenwelle befestigt werden, so ist diese in der Regel mit einer Passfedernut ausgeführt. Neben der Drehmomentübertragung wird dadurch auch ein

Formschluss realisiert, der bei Überlasten (z.B. NOT-Stopp) sicher die Position hält. Obwohl die Passfederverbindung hinsichtlich Überlasten sehr vorteilhaft ist, genügt sie bei hochdynamischen Antrieben ohne weitere Maßnahmen nicht mehr den heutigen Anforderungen an Lebensdauer und Spielfreiheit. Bei häufigen Lastwechseln gibt es außerdem Probleme mit Reibkorrosion (Passungsrost).

Die für die Passfederdimensionierung maßgebende DIN 6892 weist für wechselnde Beanspruchungen erhebliche Abminderungsfaktoren aus, welche für die oben beschriebenen Einsatzfälle zu inakzeptablen Lebensdauern führen würden. In dieser Hinsicht sehr viel günstiger sind Pressverbindungen, welche bei konventioneller Bauweise (Übermaßpassung) aber erhebliche Probleme bei der Montage und Demontage bereiten. Da bei gehärteten Verzahnungen Füge­temperaturen oberhalb von 180°C nicht zulässig sind, scheiden traditionelle Pressverbindungen in vielen Fällen von vornherein aus.

Obwohl demnach beide Verbindungen Nachteile aufweisen, führt die Überlagerung beider Wirkprinzipien (Formschluss + Reibschluss) unter bestimmten Randbedingungen dennoch zu einer optimalen Lösung, d.h. Formschluss für



Links: Zahnstangentriebe bieten viele Vorteile und ein breitgefächertes Anwendungsspektrum für die optimale Realisierung fast aller denkbaren Applikationen.

Mitte: Ritzelbefestigung auf Welle mittels Passfeder ohne Fugenpressung.

Rechts: Atlanta-Schrumpfscheiben-Lösung: Ritzelbefestigung auf Welle mittels Passfeder und Schrumpfscheibe.

Überlasten und Reibschluss für die Spielfreiheit. Die unverzichtbare günstige Montage und Demontage ist dadurch sichergestellt, dass der Reibschluss erst nach der eigentlichen Montage realisiert wird. Möglich wird dies durch die Atlanta-Schrumpfscheiben-Lösung, die über eine radiale Verformung von außen eine Pressung in der Wirkfuge erzeugt. Diese Pressung eliminiert auch das Spiel beim Lastrichtungswechsel und die Neigung zu Reibkorrosion. Bei der Realisierung sind zwei Randbedingungen zu erfüllen:

- Gemäß DIN 6892 darf die zulässige Flächenpressung zwischen Passfeder und Naben- bzw. Wellennut nicht überschritten werden. Erfahrungsgemäß kann bei Servoanwendungen mit häufigen Lastwechseln die Passfeder ausschlagen – dies würde kein Kunde akzeptieren.

- Es muss die Dauerfestigkeit der Welle überprüft und sichergestellt werden. Durch die Einleitung des Drehmomentes über das Ritzel ergibt sich für die Welle zusätzlich ein Umlaufbiegemoment. Dadurch wird die Welle sowohl an der Passfedernut als auch im Übergangsradius dynamisch auf Biegung belastet.

Eine genauere Betrachtung dieser Stellen ermöglichen neue Forschungsergebnisse, die mit Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) innerhalb der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) gewonnen wurden. Wesentliche Erkenntnis: Eine der Passfederverbindung überlagerte Fugenpressung entlastet nicht nur die Passfeder, sondern wirkt sich auch positiv auf die Dauerfestigkeit der Welle aus. Maßge-

bend für die Nachprüfung der Wellenfestigkeit ist die DIN 743, die neben der verbindungsspezifischen Norm bei der Dimensionierung der WNV zusätzlich herangezogen werden muss. Ein Wellenbruch würde zu einem Totalausfall der Antriebseinheit führen, ist somit unter allen Umständen zu vermeiden.

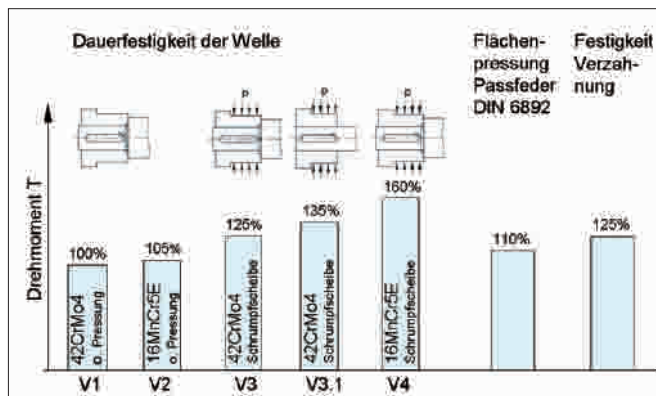
Die Vorteile einer überlagerten Fugenpressung sollen nachfolgend an einem Beispiel verdeutlicht werden. Den Berechnungen liegt ein Ritzel (Modul 3 mm, 25 Zähne) mit einem Bohrungsdurchmesser von 40 mm und einer tragenden Passfederränge von 50 mm zugrunde. Eine handelsüblich zu beziehende Passfeder ist aus dem Werkstoff C45k hergestellt, der eine Streckgrenze von $R_{p0,2} = 490 \text{ N/mm}^2$ besitzt. Die Verzahnung kann bei Sicherheit eins ein Drehmoment von 600 Nm übertragen.

Überprüfung der Flächenpressung: Nach DIN 6892, Methode B, ergibt sich mit $f_w=0,4$ und Sicherheit eins ein übertragbares Drehmoment von 540 Nm. Eine Verlängerung der Passfeder ist nicht zielführend, da $l_{ir}/d = 1,3$ nicht überschritten werden soll.

Überprüfung der Dauerfestigkeit der Welle: In der oben dargestellten Anordnung beträgt das Biegemoment am Wellenabsatz im Freistich 750 Nm. Dasselbe Biegemoment soll der Einfachheit halber am Beginn der Fuge wirken, so dass daraus das Verhältnis statische Torsionsspannung/ Umlauf-Biegespannung = 0,4 resultiert.

V1: Verbindung ohne Übermaß, Wellenwerkstoff 42CrMo4V: Aus den oben genannten, am Institut von Prof. Leidich (TU Chemnitz) durchgeführten, Forschungsarbeiten ist bekannt, dass bei der gezeigten Anordnung (Fugenpressung = 0) und nicht gehärtetem Wellenstumpf der Bruch im Freistich oder an der Passfedernut auftreten kann. Der Festigkeitsnachweis für den Freistich ergibt mit der Kerbwirkungszahl $\beta_{cb} = 2,9$ für den Freistichradius $R = 0,6 \text{ mm}$ ein übertragbares Drehmoment von ca. 600 Nm (bei Sicherheit eins). Die zulässige Belastung der Passfedernut ist jedoch niedriger, hier können nur ca. 480 Nm übertragen werden.

Die Vorteile einer überlagerten Fugenpressung werden an einem Beispiel verdeutlicht.



Vergleich der übertragbaren Drehmomente (x: Versagensort) und Dimensionierungskenngrößen.

Zahnstangengetriebe

Vielseitige Einsatzmöglichkeiten

Zahnstangengetriebe zeichnen sich durch hohe Verfahrgeschwindigkeiten, unbegrenzte Verfahrswege, hohe Positioniergenauigkeit und Steifigkeit aus. Diese Eigenschaften prädestinieren sie für den Einsatz etwa in Werkzeug- und Holzbearbeitungsmaschinen, Portalrobotern, Positionierantrieben sowie sonstigen Fahr- und Hubachsen. Durch die Verspannung zweier Ritzel sind zudem spielfreie Antriebe möglich. Wegen der hohen Leistungsdichte stellen sie eine interessante wirtschaftliche Lösung dar.

V2: Verbindung ohne Übermaß, Wellenwerkstoff 16MnCr5: Die Einsatzhärtung erhöht die Dauerfestigkeit im Freistich um nahezu 80 Prozent, so dass sich der potenzielle Bruchort gegenüber dem Vergütungsstahl in die Fuge beziehungsweise zur Passfedernut hin verschiebt. Das übertragbare Drehmoment an der Passfedernut beträgt hier ca. 510 Nm.

In beiden Fällen (V1, V2) ist die Passfedernut das begrenzen Element für die Dauerfestigkeit. Dieser Mangel kann durch eine überlagerte Pressung (z.B. erzeugt durch eine Schrupfscheibe) behoben werden.

V3: Verbindung mit Schrupfscheibe, Wellenwerkstoff 42CrMo4V: Die hier verwendete Schrupfscheibe kann gemäß Herstellerangaben ein Drehmoment von $T_{max} = 1050 \text{ Nm}$ übertragen. Daraus resultiert eine Rutschsicherheit von $S_R = 1,75$, so dass die Passfeder eigentlich entfallen könnte. Sie bleibt aber wegen der schon beschriebenen Spitzenmomente auf jeden Fall erhalten, zumal sie aufgrund der veränderten Kraftleitung auch nicht mehr festigkeitskritisch ist. Die genannten geometrischen Parameter gelten weiterhin.

Die Flächenpressung an der Passfederflanke ist wegen der hohen Rutschsicherheit nicht mehr auslegungsrelevant. Der potenzielle Versagensort befindet sich nunmehr im Freistich, wofür sich unter Einbeziehung der wirkenden Mittelspannungen ein übertragbares Drehmoment von ca. 600 Nm ergibt. V3.1: Verbindung mit Schrupfscheibe, Wellenwerkstoff 42CrMo4V, Welle ohne Absatz: Die Schrupfscheibe nimmt auch die Axialkräfte aus der Schrägverzahnung auf. Deshalb kann mit dieser Lösung auf die Anlage an einer Wellenschulter verzichtet werden. Damit wandert der potentielle Versagensort wieder in die Passfedernut. In diesem Fall können ca. 650 Nm Drehmoment übertragen werden.

V4: Verbindung mit Schrupfscheibe, Wellenwerkstoff 16MnCr5 einsatzgehärtet: Unabhängig davon, dass die Variante V3 für den zugrunde gelegten Lastfall bereits eine gute Lösung darstellt, ist mit einer gehärteten Welle eine weitere Steigerung zu erreichen. Der potenzielle Versagensort liegt auch hier in der Passfedernut, jedoch sinkt durch die überlagerte Pressung die Kerbwirkung. Abgeleitet aus den durchgeführten Versuchen lässt sich mit dieser Verbindung mindestens ein Drehmoment von 770 Nm übertragen.

Der links dargestellte Vergleich zeigt eindeutig den Werkstoffeinfluss und insbesondere den positiven Einfluss der Schrupfscheibe und der daraus resultierenden Fugenpressung.



Hannover Messe: Halle 16, Stand D26

ke-webCODE

www.konstruktion.de

Atlanta Antriebssysteme

www.atlantagmbh.de

Code eintragen und go drücken

ke9896