

Werkstoffumstellung im Getriebebau

Von Dr.-Ing. habil. Fritz G. Altmann VDI, Düsseldorf

Im Zahnradgetriebebau werden Sparstoffe außer in den Schalen der Gleitlager in der Hauptsache für die Kränze der Zahnräder verbraucht. Die z. T. schon seit längerer Zeit durchgeführten Versuche über Umstellung auf Heimstoffe oder geringeren Verbrauch von Sparstoffen haben zu vielen bemerkenswerten Ergebnissen geführt, über die im folgenden ein Überblick gegeben wird¹⁾.

Bei Zahnradgetrieben bestehen neben den Schalen der Gleitlager in der Hauptsache die Zahnkränze der Räder aus Sparstoffen, und zwar wurden bisher bei den Rädern der Stirn- und Kegelartriebe die Sparstoffe Chrom, Nickel und Molybdän als Legierungsmetalle für die Stähle verbraucht, während Kupfer und Zinn vorzugsweise für die Bronze der Schneckenradkränze Verwendung fanden.

Ausgehend vom Standpunkt der Kinematik wird das gesamte Gebiet der Zahnradgetriebe zweckmäßig unterteilt nach der gegenseitigen Lage der Drehachsen der zusammenarbeitenden Räder in Wälzgetriebe mit parallelen und sich schneidenden Achsen (Stirnräder, Kegelartriebe) und Schraubgetriebe mit sich kreuzenden Achsen. Es empfiehlt sich, diese Unterteilung auch bei der Behandlung der Werkstoffe der Radkränze beizubehalten, denn beide Getriebearten — Wälzgetriebe und Schraubgetriebe — unterscheiden sich auf Grund der gegenseitigen Zusammenarbeit der Zähne von Rad und Gegenrad und auf Grund der Beanspruchung der Zahnflanken stark voneinander. Um nur einen wesentlichen Punkt herauszugreifen: Die Zahnflanken der Wälzgetriebe führen neben dem gegenseitigen Wälzen noch eine gegenseitige Gleitbewegung aus, die ausschließlich radial gerichtet ist; bei den Schraubgetrieben kommt zu diesem radialen Gleiten noch ein starkes Gleiten längs des Zahnes hinzu. Dieses starke Gleiten in Richtung des Zahnverlaufes schafft bei denjenigen Schraubgetrieben, deren Zähne sich in Linien berühren, Bewegungsverhältnisse zwischen den zusammenarbeitenden Zähnen, die einen gewissen Vergleich mit der Bewegung des Zapfens in der Lagerschale zulassen.

Schon diese flüchtige Betrachtung macht es verständlich, daß wir bei denjenigen Schraubgetrieben, deren Zähne Linien-Berührung haben, den Schneckengetrieben, den Radkranz aus einem verhältnismäßig „weichen“ Werkstoff, wie Bronze oder Aluminium-Legierungen, herstellen können im Gegensatz zu den Stirn- und Kegelartrieben, bei denen für höchste Belastung der Zähne auch Werkstoffe größter Härte erforderlich sind.

Wälzgetriebe

Chrom-Mangan-Stahl

An den Stellen des Getriebebaues, wo gehärtete Räder für das Übertragen höchster Belastungen bei hohen Umfangsgeschwindigkeiten erforderlich sind, so z. B. bei den Getrieben in Kraftfahrzeugen [1, 2, 3], ist man in den letzten Jahren von den früher verwendeten Cr-Ni-Stählen zu den Cr-Mo-Stählen übergegangen und versucht jetzt, mit Cr-Mn-Stählen auszukommen. Entsprechende Versuche, die von der Zahnradfabrik Friedrichshafen angestellt wurden [1] und die sich auf Laufverhalten, Festigkeitseigenschaften und Bearbeitbarkeit bezogen, haben ergeben, daß die Stähle ECMo 80 und ECMo 100 durch die molybdänfreien Stähle EC 80 und EC 100 ausgetauscht werden können.

Silizium-Mangan-Stahl

Im Großgetriebebau verbieten die Abmessungen der Räder das Härten der Zahnflanken. Bei diesen Getrieben haben sich für mittel- und hochbeanspruchte Räder Ver-

gütungsstähle, und zwar Si-Mn-Stähle von 60 bis 80 kg/mm² Festigkeit, gut bewährt [4]. Beim Ritzel wird die Festigkeit dieses Stahles zweckmäßig um rd. 10 kg/mm² höher gewählt als beim Rade, weil die Ritzelzähne, dem jeweiligen Übersetzungsverhältnis entsprechend, öfter in Eingriff kommen. Der Si-Mn-Stahl hat sich im Getriebebau vor allem deshalb durchgesetzt, weil er die für die Verzahnungen äußerst wichtige Eigenschaft besitzt, sich im Betriebe ausgezeichnet zu glätten und nach einiger Laufzeit eine Hochglanz-Politur auf der Zahnflanke zu ergeben.

Kohlenstoff-Stahl

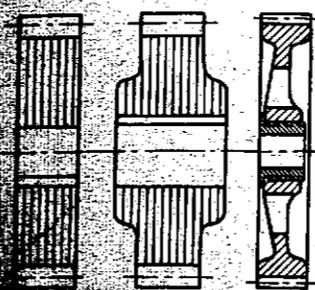
In der Flammenhärtung, die mit der Azetylen-Sauerstoff-Flamme oder mit der Leuchtgas-Sauerstoff-Flamme vorgenommen wird, ist uns ein Mittel an die Hand gegeben, eine harte und verschleißfeste Zahnflanke auf einem weichen zähen Zahnkern auch bei einem Rad aus unlegiertem Kohlenstoff-Stahl zu erzielen [5 bis 9]. Durch gleichzeitiges Härten von Rechts- und Linksflanke eines Zahnes wird dabei einmal eine wesentliche Verkürzung der Arbeitszeit gegenüber der Einflanken-Härtung erzielt und ferner die Gefahr des Verziehens stark herabgesetzt. Als untere Grenze für ein wirtschaftliches Flammenhärten der Zähne hat sich ein Modul von rd. 5 mm ergeben. Zahnräder mit kleinerem Modul können gegebenenfalls auf einfache Weise nach dem „Umlaufverfahren“ flammengehärtet werden.

Auch bei den Stahl-Schnecken der Schneckengetriebe ist es gelungen, die früher benutzten einsatzgehärteten Cr-Mo-Stähle durch einfache Kohlenstoff-Stähle zu ersetzen, die man flammenhärtet [10].

Kunsthartz-Preßstoff

An all den Stellen, wo heute noch Bronze für Stirn- und Kegelartriebe verwendet wird, kann dieser Sparstoff grundsätzlich vermieden werden abgesehen von korrosionsgefährdeten Getrieben für die chemische Industrie. Dort aber, wo man bisher eine gewisse Laufruhe nur durch Bronzeräder erzielen zu können glaubte, lassen sich diese Bronzeräder vollwertig austauschen. Dafür kommen Getriebe in Frage, bei denen ein Rad aus Kunsthartz-Hartgewebe oder aus Kunsthartz-Preßholz besteht oder bei denen zwei Stahl-Zahnräder miteinander gepaart sind, deren Werkstoff und Oberflächengüte so aufeinander abgestimmt sind, daß ein einwandfreier Lauf der Räder bei entsprechender Schmierung gewährleistet ist.

Bei den Zahnrädern aus Kunsthartz-Hartgewebe, die bereits seit einem Jahrzehnt für Sonderzwecke eingeführt sind, handelt es sich um Kresolharze mit einem Baumwoll- oder Zellwollgewebe als Festigkeitsträger. Für Zahnräder kommen Hartgewebe mit groben oder feinen Gewebelagen in Frage, die in Platten hergestellt werden; Hartgewebe-Rundstäbe sind wegen ihrer zylindrischen Schichtung für Zahnräder ungeeignet. Bei Kunsthartz-Preßhölzern dienen Holzfuernere als Festigkeitsträger, auch hier laufen die Schichten senkrecht zur Radachse. Beide Werkstoffe können sauber bearbeitet werden [11], sind verschleißfest, wirken geräuschkämpfend und zeichnen sich durch geringe Wichte von rd. 1,4 g/cm³ aus. Hinsichtlich ihrer Belastbarkeit können sie etwa mit Gußeisenträdern verglichen werden.



Bis 3. Formgebung von Zahnrädern aus Kunsthartz-Hartgewebe.

Während Räder aus Hartgewebe ihres höheren Harzgehaltes wegen gegenüber den Kunsthartz-Preßhölzern weniger quellen und deshalb bei Einwirkung von Öl oder feuchter Luft vorzuziehen sind, erweisen sich Räder aus Kunsthartz-Preßholz widerstandsfähiger bei stoßweiser Belastung [12, 13, 14].

Bei der Gestaltung der Räder ist eine Ausgestaltung des Radkörpers nach Bild 1 zu empfehlen; seitliche Nuten in den Radkörper sollen tunlichst vermieden werden. Sind seitlich vorspringende Nabenansätze erforderlich, so sind sie im Durchmesser möglichst groß zu gestalten und mit großen Ausrundungen am Radkörper anzufügen. Bild 2. Auch eine Ausbildung der Räder mit einer Nut zwischen Nabe und Kranz ist möglich, wenn hierfür erforderliche Preßform lohnt sich. Die Verwendung großer Stückzahlen, bietet aber gleichzeitig die Möglichkeit, im Radkörper eine Stahlnabe mit

zu verwenden auch Zahnradpumpen aus Hartgewebe für die Förderung kleiner Flüssigkeitsmengen, die in den Pumpen Verunreinigungen sein müssen, herzustellen. Diese Pumpen sind in einem Porzellangehäuse gelagert, die mit hoher Drehzahl laufen. Diese Hartporzellan-Räder stellen eine Alternative zu den Rädern aus säurebeständigen Kunststoffen dar, auf die hier hingewiesen, daß die Festigkeit von Hartporzellan meist unterschätzt wird. Die Festigkeit von Hartporzellan ist eine keramischen Sondermasse

Die Umstellung von Werkstoffen in den Getrieben ist größer als bei den Schraubgetrieben. Die Wasserfestigkeit der Werkstoffe ist ein wichtiger Faktor. Die Verwendung von Bronze der Schraubgetriebe ist heute noch in den Getrieben im allgemeinen üblich. Die Umstellung auf Stahl ist bei einem Schraubgetriebe ein Kraftanstrengung ohne besondere Vorteile gegen solche aus Bronze. Eine Nachrechnung auf die Oberflächenhärte der Zahnflanken zeigt, daß bei einem Austausch von Aluminium-Legierungen die Räder für Stirn- und Kegelartriebe verhindert werden müßten, was bei den Leichtmetallrädern bei Getrieben in Frage steht natürlich nichts anderes. In den Geräten, wo es sich in der Regel um einen bestimmten Übersetzungsverhältnis handeln, haben sich Leichtmetallräder durch die Umstellung der Räder soll sich als

Schraubgetriebe. Die Umstellung des Austausches der Bronze bei Schraubgetrieben ist ein wenig einfacher zu beantworten. Die Frage nach dem Austausch der

Bronze bei Schraubgetrieben, insbesondere bei deren hauptsächlichstem und fast ausschließlichem Vertreter, dem Schneckengetriebe, eine ausführlichere Behandlung.

Mit den Austauschwerkstoffen, die hier in Frage kommen — es sind dies Kunsthartz-Preßstoffe, Leichtmetall- und Zinklegierungen — liegen nun zwar auf anderem Gebiet, nämlich beim Gleitlager, bereits Erfahrungen vor, die uns wohl gewisse Aufschlüsse über die grundsätzliche Verwendungsmöglichkeit der Werkstoffe geben, die aber nicht ohne Einschränkung hierher übertragen werden können. Denn einmal unterscheiden sich die Antriebsverhältnisse der beiden gegeneinander bewegten Flächen stark voneinander — beim Lager gleiten zwei Zylinder ineinander, während beim Schneckengetriebe zwei Wölflflächen aneinander entlang gleiten — und ferner überlagert sich beim Schneckengetriebe dieser Gleitbewegung der Zahnflanken ein Wälzvorgang, der bei der Bewegung des Zapfens in der Lagerschale nicht vorhanden ist. Um deshalb einen Anhaltspunkt für die Auswahl und die gegenseitige Wertung der in Frage kommenden Austauschstoffe zu haben, seien zunächst die Forderungen kurz zusammengestellt, die an den Werkstoff der Schneckenradkränze gestellt werden.

Wir gehen dabei von den Hauptforderungen aus, die an das Getriebe gestellt werden: hoher Wirkungsgrad und lange Lebensdauer. Beide Forderungen müssen auch durch die Werkstoffe der Räder gewährleistet werden. Den Wirkungsgrad beeinflusst der Reibungswiderstand zwischen den Zahnflanken, der vom Werkstoff der zusammenarbeitenden Zähne abhängig ist. Für die Lebensdauer ist das Verschleißverhalten der Werkstoffe entscheidend. Erwünscht ist dabei, daß sich der Verschleiß nur an einem Getriebeteil zeigt und sich nicht etwa beide Werkstoffe gegenseitig verzehren. Jedenfalls muß durch geeignete Werkstoffauswahl vermieden werden, daß die weiche Rad seinerseits die harte Schnecke angreift, wie dies z. B. bei der Verwendung von Leichtmetall-Schneckenradkränzen aus gewissen Legierungen der Gattung Al-Si-Mg der Fall ist.

Neben der Verschleißfestigkeit wird vom Schneckenradwerkstoff noch eine genügend hohe Wechselbiegefestigkeit — genauer Schwellfestigkeit — und eine genügende Bruchdehnung gefordert, damit er den auftretenden Stößen gewachsen ist. Erwünscht sind schließlich noch günstige Notlaufeigenschaften.

Stahl

Im Hinblick auf das Zusammenarbeiten zweier Stahlzahnrad bei Stirn- und Kegelartrieben liegt es sehr nahe, auch für Schneckengetriebe ein solches Zusammenarbeiten von Stahl-Schnecke und Stahl-Schneckenrad vorzuschlagen. Wenn nun die bisher in dieser Richtung angestellten Versuche im allgemeinen noch nicht die erhofften Erfolge gebracht haben, so liegt dies an den wenig guten Gleiteigenschaften von Stahl auf Stahl, die sich besonders bei hohen Belastungen und hohen Umfangsgeschwindigkeiten geltend machen, und daran, daß ein Fressen der Zähne aufeinander sehr leicht eintritt. Dazu kommt, daß der Stahl-Schneckenradzahn sich wegen seines hohen Elastizitätsmoduls von rd. $2,2 \cdot 10^6$ kg/cm² gegenüber einem Bronze- oder Leichtmetallzahn mit $E = 1,2 \cdot 10^6$ bzw. $0,4 \cdot 10^6$ kg/cm² weniger leicht verformt, was zu erhöhten örtlichen Belastungen auf den Zahnflanken und damit zu Temperaturerhöhungen führen kann. Starke Übertemperaturen auf den Flanken können aber ein Nachlassen der Oberflächenhärte der Schnecke zur Folge haben, und dieses Nachlassen der Schneckenradzahn-Härte wiederum kann ein Fressen der Zähne bewirken. Darüber hinaus steht die Wärmeleitfähigkeit des Stahles zu der von Bronze oder zu jener von Leichtmetall im Verhältnis von 1 : 3 : 8, ein Umstand, der das schnelle Abfließen der Reibungswärme vom Stahl-Schneckenradzahn verzögert und einen Wärmestau auf den Flanken begünstigt.

¹⁾ Nach einem Vortrag in der VDI-Vortragsreihe „Werkstoffumstellung im Maschinen- und Apparatebau“.