

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON SPIROIDGETRIEBEN

J. HEGYHÁTI

Institut für Maschinenkonstruktionslehre
Technische Universität, H-1521, Budapest
Eingegangen am 7 December 1989
Vorgelegt von Prof. Dr. L. Varga

Abstract

Experimental investigation of spiroid gear drives

Spiroid gear drive — composed of a tapered pinion and a gear — considering the arrangement of axis belongs to hypoid gear drives, while considering the shape of mating surfaces to wormgear drives. Test results permitted both to quality of the manufactured mating pair and to compare its performance with those of wormgear drives of the same ratio. Tests prove, that the efficiency and load carrying capacity of spiroid gear drives are suitable for practice.

Einleitung

Im Jahre 1956 wurde von F. Bohle (2) von einem in den Illinois Tool Works (USA) entwickelten, sog. Spiroidtriebepaar berichtet, das an der Grenze des gemeinsamen Übersetzungsbereichs der Kegelrad- und der Schneckengetriebe günstige Betriebseigenschaften aufweist, mit dessen Hilfe sich jedoch auch grössere Übersetzungen in einer Stufe realisieren lassen. Das Getriebepaar besteht aus einem Tellerrad und — im Allgemeinfall — einer in dieses eingreifenden konischen Schnecke (Bild 1). Der in einer einzigen Stufe realisierte Übersetzungsbereich wird zwischen 10 und 110 angegeben, kann aber bei geeigneter Wahl der geometrischen Parameter auch 360 erreichen (kinematisches Getriebe mit kleinem Modul).

Die Zahnflanke der Schnecke ist eine Schraubensfläche, die durch die Schraubensbewegung einer Erzeugungslinie gebildet wird. In Abhängigkeit von der Form oder Lage der Erzeugungslinie können alle allgemein bekannten Zylinderschnecken (archimedische, evolventische, Konvolutenschnecke, Schnecken mit bogenförmigem Profil usw.) wie auch die kegelige Schnecke beschrieben werden. Die Zahnflanke des Tellerrades wird mit Hilfe eines konischen Abwälzfräasers mit gleicher Grundgeometrie wie die Schnecke bearbeitet (sog. direkte Bewegungsnachbildung).

einem in Ungarn unter gleichen Bedingungen in Serie hergestellten Zylinder-Schneckengetriebe.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wurden die Ergebnisse der experimentelle Untersuchungen von Spiroidgetrieben zusammengefaßt.

1. Fertigung der Prüfelemente und experimentelle Untersuchungen

1.1. Fertigung der Prüfelemente

Setzt man eine durch die direkte Bewegungsnachbildung des Tellerrades des Spiroidgetriebes erreichte Verzahnung voraus (Herstellung der Verzahnung von Tellerrad mit einem Wälzfräser, der dieselben Grundparameter wie die Kegelschnecke hat) wird eindeutig, daß die Qualität des Eingriffs zwischen Schnecke und Tellerrad grundlegend von der geometrischen Gleichheit von Schnecke und Werkzeug bzw. deren geometrischer Formgenauigkeit bestimmt wird.

Selbstverständlich sind die Maßabweichungen, die sich aus der Funktion des Werkzeugs und der Schnecke ergeben, in Betracht zu ziehen. Im Interesse der Formgenauigkeit des Werkzeugs und der Schnecke sollte als Abschlußbearbeitung das Schleifen der Schraubenflächen bzw. der Schneidkanten zur Anwendung kommen. In diesem Falle ist jedoch das Profil der Schleifscheibe so zu bestimmen, daß das Schneckenprofil weder im Normalschnitt noch im Axialschnitt einen Profilfehler aufweist, bzw. so, daß der Wert der Profilabweichung innerhalb der gegebenen Toleranzgrenze liegt. Es ist bekannt, daß die Profilabweichung mit dem Durchmesser der Schleifscheibe wächst. Das Verwenden von Scheiben mit kleinem Durchmesser löst jedoch noch nicht die Probleme, die sich aus dem Scharfschleifen, aus dem Verschleiß der Scheibe bzw. aus der ständigen Veränderung der Berührungseigenschaften zwischen dem kegeligen Wälzfräser und der scheibenförmigen Schleifscheibe ergeben.

Zur Entwicklung von Werkzeug und Fertigungsgeometrie von Spiroidgetrieben bzw. zur Realisierung der eigenen Fertigung von Verzahnungswerkzeugen entwickelte sich eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Maschinenkonstruktionslehre der TU Budapest und dem Lehrstuhl für Fertigungstechnik des Maschinenbaus der TU für Schwerindustrie Miskolc.

Durch die Anwendung der in den vorangegangenen Abschnitten der Arbeit bestimmten Flächen- und Eingriffsgleichungen, ebenso durch die Anwendung der kinematischen Methode zur Bestimmung der Berührungsverhältnisse zwischen der Schleifscheibe und der Schnecke bzw. dem Wälzfräser, konnte als Ergebnis der mit den Technologen betriebenen Zusammenarbeit das mathematische Modell zur Bestimmung des Werkzeugs und der Fertigungsgeometrie von Spiroidgetrieben ausgearbeitet werden [4]. Das Berechnungsmodell erlaubt es, das Profil der Schleifscheibe über die mit der gewünschten Geometrie versehene kegelige Schnecke zurück-

zuwälzen. Außerdem optimiert die Methode unter Berücksichtigung der gewünschten Formgenauigkeit der Schnecke und des Wälzfräasers den Ort des Zurückwälzens der Schleifscheibe und bestimmt den Achsabstand zwischen der Schnecke bzw. dem Wälzfräser und der Schleifscheibe.

Die hergestellten linienflächigen Schnecken wurden mit archimedischem und evolventischem Grundprofil gefertigt. Werkstoff der Schnecke war BC 3 nach MSZ 31—74.

Die auf der Drehmaschine vorbearbeitete Schnecke wurde einsatzgehärtet und danach mit der obengenannten Schleifmethode geschliffen.

Die an der Oberfläche des Zahnes gemessene Härte hat sich innerhalb der Grenzen 60,8—61,7 HCR geändert. Die Oberflächenrauheit betrug $R_z = 3,1—4,6 \mu\text{m}$. Das Tellerrad wurde aus den folgenden Werkstoffen gefertigt:

1. Öv 20 nach MSZ 8280—66.
2. Bzö 12 nach MSZ 8579—76.
3. Polyamid 6.

Das Verzahnen des Tellerrades erfolgte auf der Universalabwälzfräsmaschine von Typ PFAUTER. Während des Verzahnens wurde der Fräser von der Berührungstellung an gerechnet bis zum Erreichen der vorgeschriebenen Zahnhöhe in axialer Richtung des Rades verschoben. Die relative Lage zwischen Fräser und Tellerrad auch während des Fräsens genau an der Stelle war, an der das Tellerrad mit der mußte so bestimmt werden, daß der theoretische Polpunkt P des Spiroidgetriebes kegligen Schnecke in Eingriff kommt. Zu dieser Einstellung diente eine am Fräser ausgebildete geschliffene Bezugsfläche.

Die geometrischen Abmessungen des Radkörpers wurden innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzgrenzen gefertigt. Da die Bewegung des Fräasers nur auf die axiale Richtung des Tellerrades beschränkt ist, ist die Umhüllung der Zahnfläche wegen der Spanntheit nicht kontinuierlich, d. h., daß die Umhüllungsfläche geometrisch gesehen nicht glatt ist. Deshalb war ein Einlauf des Spiroidgetriebes mit größter Aufmerksamkeit unbedingt erforderlich. Die Genauigkeitsklasse der gefertigten Elementen der Getriebe entsprach der Genauigkeitsklasse nach ST RGW 7493—82. Im Verlaufe der Laboruntersuchungen wurde sowohl das Spiroidgetriebe als auch das zum Vergleich dienende zylindrische Schneckengetriebe in dasselbe Getriebegehäuse eingebaut. Das Getriebegehäuse hat einen Achsabstand von $a_w = 100 \text{ mm}$ und stellt eine geschweisste Ausführung dar. Nach dem Schweißen wurde es spannungsfrei gegläht.

Werkstoff des Getriebegehäuses: A 38 B nach MSZ 21.

1.2. Experimentelle Untersuchungen

Da die ungarischen Technologen [4] entsprechende Methoden zur Fertigbearbeitung von keglichen Schraubenflächen bzw. von Spiroidschnellen bei ausreichender Genauigkeit entwickelt haben, ist die eigene Produktion von Spiroidgetrieben bei Bedarf praktisch möglich. Damit die Konstrukteure den Einbau von Spiroidgetrieben in eine beliebige Antriebskette richtig abwägen können, bedarf es jedoch unter anderen Informationen über den Wirkungsgrad der von der ungarischen Industrie hergestellten Spiroidgetriebe bzw. über deren Herstellungskosten und die auf das Gewicht oder das Volumen bezogene Tragfähigkeit. Die Kosten von Tragfähigkeitsuntersuchungen für Getriebe mit einem breiten Übersetzungs- und Achsabstandsbereich sind wesentlich höher, als der Vergleich des Wirkungsgrades eines neu zu entwickelnden Getriebes mit demjenigen eines handelsüblichen und in Serie gefertigten.

Zur Entscheidung über eigene Entwicklung von Spiroidgetrieben sind deshalb vor den teureren Tragfähigkeitsuntersuchungen Wirkungsgradangaben notwendig. Das Ziel der experimentellen Untersuchungen war deshalb:

Das vom ungarischen Getriebewerk (Budapest HAFE) in Serie gefertigte Zylinder-Schneckengetriebe in dasselbe Getriebegehäuse einzubauen, das zur Erprobung des Spiroidgetriebes hergestellt wurde. In beiden Fällen ist der Wirkungsgrad zu messen.

Die Messungen sind mit verschiedenen viskosen Getriebeölen bei unterschiedlicher Belastung und Drehzahl durchzuführen. Es ist zu untersuchen, bei welchem Belastungsniveau das Zylinder-Schnecken- und das Spiroidgetriebe den maximalen Wirkungsgrad erreicht.

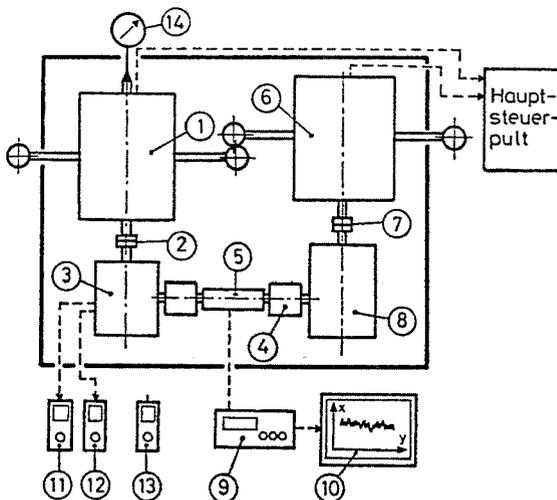


Bild 2. Prüfstand zur Untersuchung des Spiroid bzw. Schneckengetriebes

Aus den Wirkungsgradmessungen sind allgemeingültige Schlußfolgerungen über die Verlustleistung von Spiroidgetriebepaarungen zu ziehen. Die Versuchseinrichtung ist im Bild 2. dargestellt. *Parameter des Zylinder-Schneckengetriebepaars:*

Typ: HAFE N. 41.65.100—57.40

Übersetzung: 39

Achsabstand: 100 mm

Flankenform der Schnecke: ZK2

Werkstoff der Schnecke: BC 3 (MSZ 31—74) (einsatzgehärtet und geschliffen)

Werkstoff des Schneckenrades: Bzö 12 (MSZ 8679—76)

Parameter des Spiroidgetriebepaars:

Flankenform der Schnecke: evolventisch

Werkstoff des Schneckenrades: Bzö 12 (MSZ 8679—76)

Übersetzung: 41

Achsabstand: 100 mm

Parameter der während der Untersuchungen angewandten Getriebeöle: Kinematische Viskosität ν (mm²/s):

Mineralöl	Typ 1	Typ 2	Typ 3
ν bei 40 °C	37,88	242,70	499,19
ν bei 100 °C	6,18	20,08	33,09

Vor Beginn der Versuche wurde das Tragbild und das Flankenspiel des Getriebe-paares überprüft bzw. eingestellt.

Bei Aufnahme eines jeden Meßpunktes (bei konstanter Drehzahl und Belastung) wurde das Antriebssystem so lange betrieben, bis die Temperatur des Schmieröls einen konstanten Wert angenommen, d. h. sich zwischen dem Getriebe und seiner Umgebung ein Energiegleichgewicht herausgebildet hatte. Bei Eintreten dieses Betriebszustandes wurden die wirkliche Motordrehzahl und das An- und Abtriebsmoment (T_1 und T_2) zur gleichen Zeit registriert. Anschließend wurde ein neues Belastungsniveau eingestellt. Der Wirkungsgrad des Getriebes beträgt

$$\eta = \frac{T_2}{i_{12} \cdot T_1}.$$

Die Untersuchungen wurden für beide Drehrichtungen der Schneckenachse durchgeführt.

Die Definitionen der Drehrichtungen lautet wie folgt: Rechter Drehsinn: In diesem Falle arbeitet die Vorderflanke der Schnecke mit der konvexen Zahnflanke des Tellerrades. (Sehe Bild 1.) Linker Drehsinn: In diesem Falle arbeitet die Rückflanke der Schnecke mit der konkaven Zahnflanke des Tellerrades. Die Bilder 3., 4., 5., 6., 7. und 8. zeigen die Ergebnisse der mit dem eingebauten Spiroidtellerrad aus Bzö 12 durchgeführten Experimente.

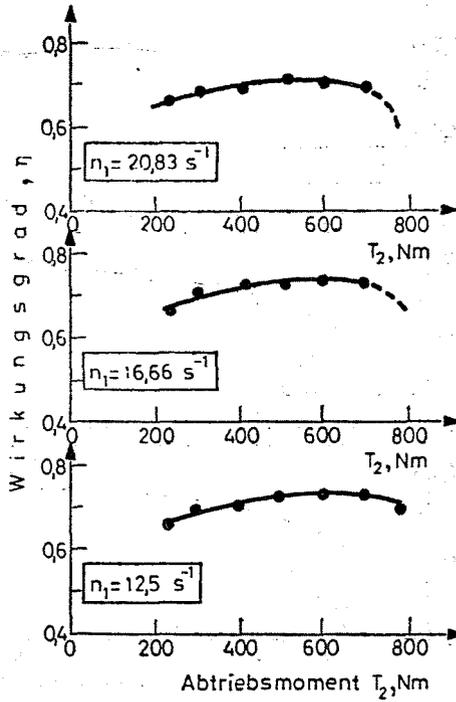


Bild 3. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes
Drehrichtung; rechts Öl: Typ 1.

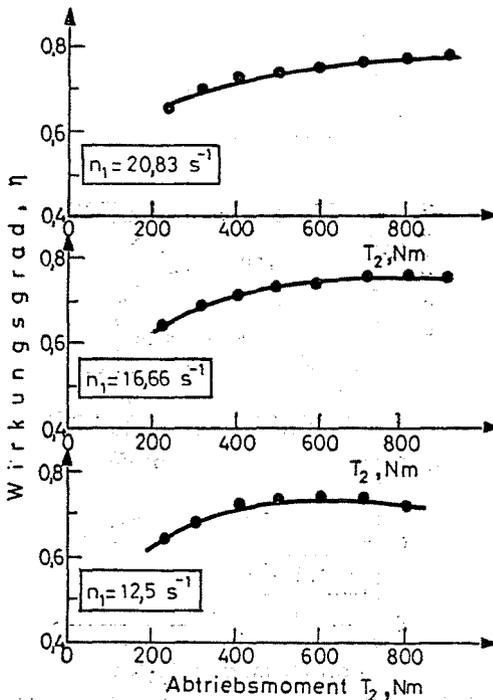


Bild 4. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes
Drehrichtung; rechts Öl: Typ 2.

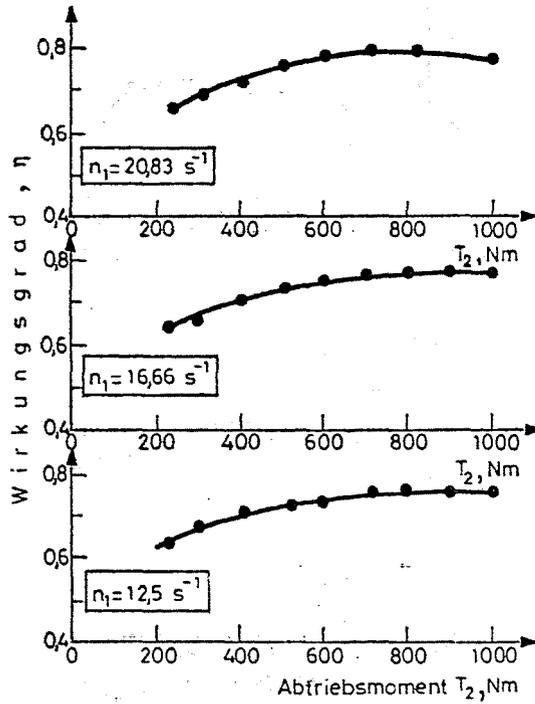


Bild 5. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes Drehrichtung; rechts Öl: Typ 3.

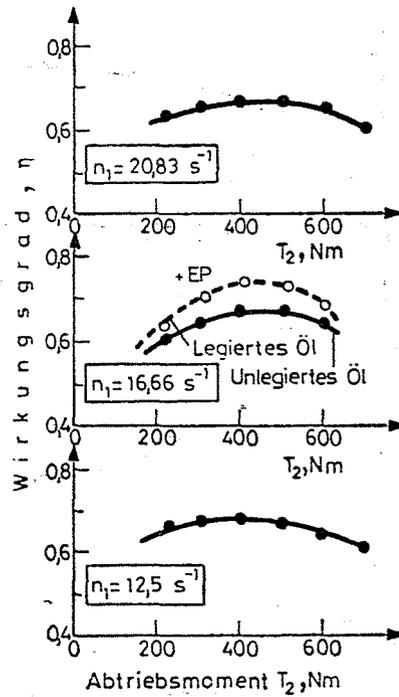


Bild 6. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes Drehrichtung; links Öl: Typ 1.

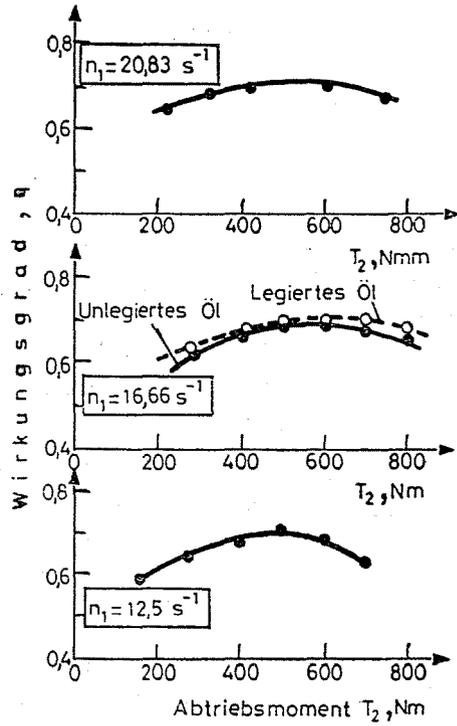


Bild 7. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes Drehrichtung; links Öl: Typ 2.

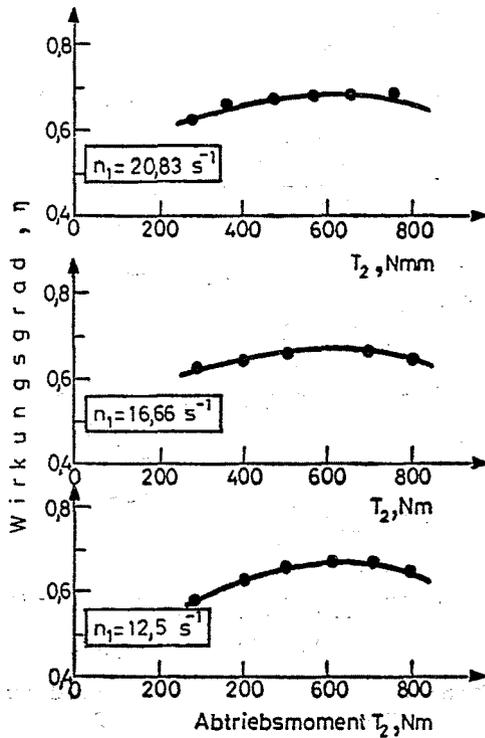


Bild 8. Meßergebnisse des Wirkungsgrades als Funktion des Abtriebsmomentes Drehrichtung; links Öl: Typ 3.

2. Zusammenfassung

Auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen kann folgendes festgestellt werden: Die Fertigung nach dem Prinzip der direkten Abbildung von drei Spiroidtriebepaaren für die experimentelle Untersuchung zeigte, daß auch bei mittlerem technologischem Aufwand Getriebe mit guter Qualität (Genauigkeitsklasse 7) hergestellt werden können.

Die experimentelle Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades des evolventischen Spiroidgetriebes und des gewählten Industrie-Zylinder-Schneckengetriebes bestätigten die theoretischen Ergebnisse in ihrer Tendenz:

- beim Spiroidgetriebe war beim Eingriff der Vorderflanke der Schnecke der Gesamtwirkungsgrad 5 bis 13% höher als beim Eingriff der Rückflanke.
- Im Vergleich zum Zylinder-Schneckengetriebe war beim Eingriff der Rückflanke der Wirkungsgrad etwa gleich, beim Eingriff der Vorderflanke dagegen auch 5 bis 13% höher. (Bild 9, 10, 11, 12).

Durch Untersuchung von drei unlegierten Ölen im Viskositätsbereich bei 40 °C von 37 bis 500 mm²/s konnte festgestellt werden, daß mit steigender Ölviskosität

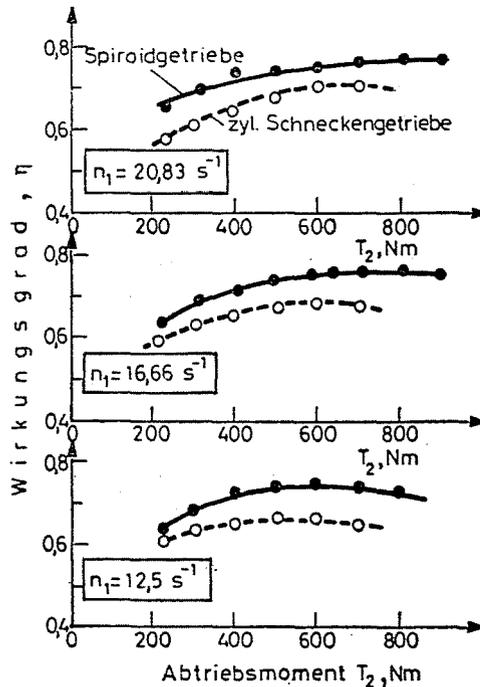


Bild 9. Vergleich des Wirkungsgrades des Schnecken und Spiroidgetriebes.
Drehrichtung; rechts Öl: Typ 2.

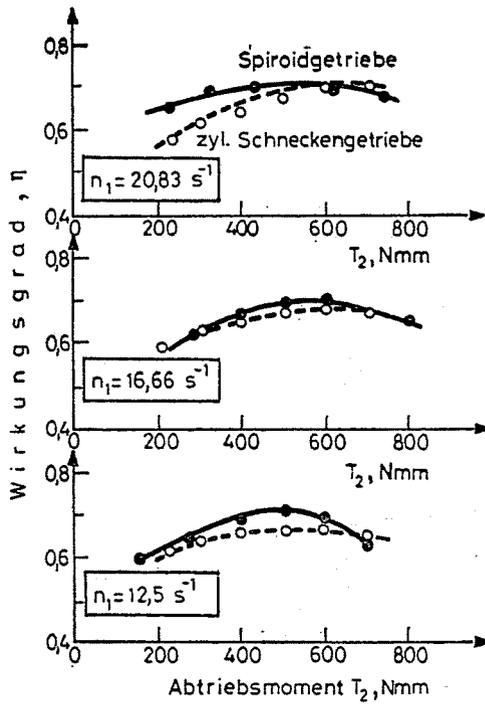


Bild 10. Vergleich des Wirkungsgrades des Schnecken- und Spiroidgetriebes Drehrichtung; links Öl: Typ 2.

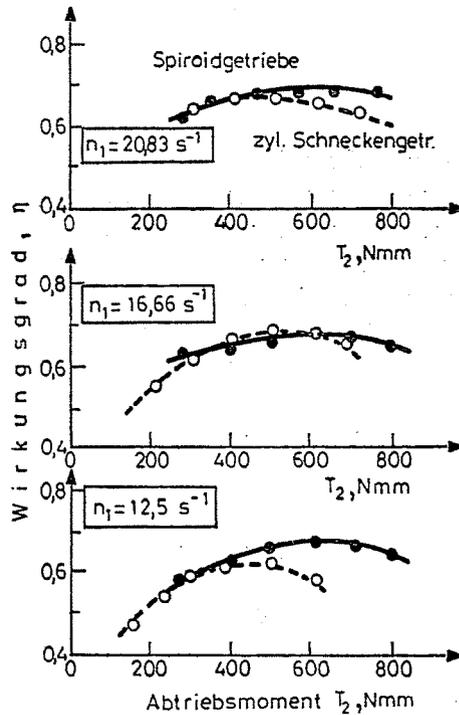


Bild 11. Vergleich des Wirkungsgrades des Schnecken- und Spiroidgetriebes. Drehrichtung; links Öl: Typ 3.

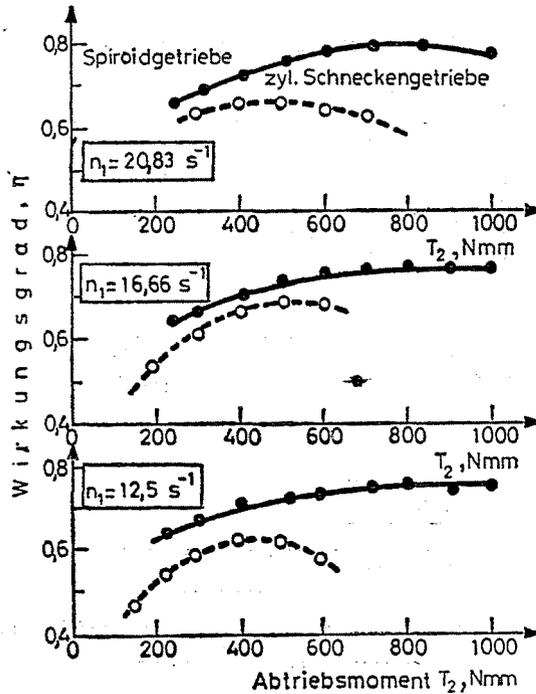


Bild 12. Vergleich des Wirkungsgrades des Schnecken- und Spiroidgetriebes.
Drehrichtung; rechts Öl: Typ 3.

eine Wirkungsgradzunahme auftritt. Diese war besonders an der Vorderflanke, die auch theoretisch günstigere hydrodynamische Verhältnisse aufweist, ausgeprägt.

Dementsprechend ergab die Anwendung eines Schmierstoffadditives an der Rückflanke eine stärkere Wirkungsgradzunahme, die auf eine Verbesserung des Festkörperreibungsanteils zurückzuführen ist.

Die Untersuchungen bestätigen, daß bei Optimierung der Parameter die Spiroidgetriebe durchaus günstigere Betriebsparameter als Zylinder-Schneckengetriebe besitzen können. Durch die Anwendung frei programmierbarer Werkzeugmaschinen wird es in naher Zukunft möglich sein, Spiroidgetriebepaare ökonomisch fertigen zu können.

Literature

1. ABADZIEW, W.—MINKOW, K.: O geometrii wintowüh powerhnošej spiroidnüh peredac. Teoreticna i prilozna mehanika, Sofia (1981) No. 2. Bulgarska Akademia.
2. BOHLE, F.: Spiroid Gears and their Characteristics. Machinery, 6. January, 1956.
3. BERCEY, T.: Toroid hajtások elmélete. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1977.
4. DUDÁS, I.: Spiroid hajtások szerszám és gyártásgeometriájának elemzése. Gépgyártás-technológia, Budapest, (1985). No. 4.

5. GANSIN, W. A.: Sintezu evolventnoj spiroidnoj peredaci. *Mechanika Maschin* (1972) S. 31—32.
6. GEORGIEW, A. K.: Elementü geometriceskoj teorii spiroidnüh peredac. *Izw. Wuzow. Maschinostrojenie* (1963). No. 8.
7. HEGYHÁTI, J.: Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben. Dissertation, TU Dresden, 1988.
8. LANGE, St.: Untersuchung von Helicon- und Spiroid-Getrieben mit abwickelbaren Schneckenflanken/Evolventenschnecken nach der Hertzschen und hydrodynamischen Theorie. Dissertation, TH. München, 1967.
9. LITWIN, F. L.: Teorija zubcatüh saceplanij. Izd. Nauka, Moskau 1968.
10. MINKOW, K.—ABADZIEW, W.: Spiroidni zubni predawki-geometrii. *Technologicni i eksploatacionni osobenosti. Maschinostroenije Scfia* (1980) No. 1.
11. NELSON, W. D.: Spiroid Gearing. *Maschine Design*, February 16. March 2 und 16. (1961).

Dr. József HEGYHÁTI, H-1521, Budapest