

**„Beitrag zur Ermittlung der Gebrauchseigenschaften von
Schraubenverbindungen mit
Magnesiumkomponenten“**

Vom Fachbereich Maschinenbau
der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte
D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Wolfgang Scheiding
aus Karlsruhe

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Chr. Berger
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. H. Speckhardt

Tag der Einreichung: 04. Dezember 2000
Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 2001

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß die hier vorliegende Arbeit selbständig von mir verfaßt wurde.

Darmstadt, den 30.11.2000

Berichte aus der Werkstofftechnik
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Christina Berger

Band 2/2001

Wolfgang Scheiding

Beitrag zur Ermittlung der Gebrauchseigenschaften von Schraubenverbindungen mit Magnesiumkomponenten

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Scheidung, Wolfgang:

Beitrag zur Ermittlung der Gebrauchseigenschaften von
Schraubenverbindungen mit Magnesiumkomponenten/
Wolfgang Scheiding. Aachen: Shaker, 2001

(Berichte aus der Werkstofftechnik, hrsg. von Prof. Dr.-Ing.
Christina Berger; Bd. 2001,2)

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-8742-1

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-8742-1

ISSN 1617-3805

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand aus den Ergebnissen meiner Tätigkeit für das Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde der Technischen Universität Darmstadt, der Staatlichen Materialprüfungsanstalt des Landes Hessen sowie für den Deutschen Schraubenverband e.V. (DSV) an obengenannter Stelle in den Jahren 1997 bis 2000.

Für die Schaffung der Voraussetzung zur Durchführung meiner Tätigkeit danke ich der Leiterin des Instituts für Werkstoffkunde der TU Darmstadt und der Staatlichen Materialprüfungsanstalt des Landes Hessen, Frau Prof. Dr.-Ing. Chr. Berger, und dem Geschäftsführer des deutschen Schraubenverbands e.V., Herrn Frank Naumann, sowie seinem Vorgänger im Amt, Herrn Dieter Strelow.

Frau Prof. Dr.-Ing. Chr. Berger danke ich weiterhin für die freundliche Übernahme des Hauptreferates und Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Speckhardt für die freundliche Übernahme des Koreferates. Den Leitern der Abteilungen Bauteilfestigkeit, Herrn Dr.-Ing. B. Kaiser, und Metalle, Herrn Dr.-Ing. R. Landgrebe, danke ich für ihr lebhaftes Interesse und ihre Unterstützung gleichermaßen wie den Mitgliedern des Arbeitskreises Gemeinschaftsforschung des DSV.

Weiterhin danke ich den Herren W. Schüttler und W. Klinger für die sehr gute und freundschaftliche Zusammenarbeit und für die tatkräftige Unterstützung im Bereich der Probenfertigung und –dokumentation wie auch der Durchführung der Versuche. Mein Dank an dieser Stelle gilt ebenso den Studien- und Diplomarbeitern sowie den wissenschaftlichen Hilfskräften.

Für die finanzielle Unterstützung im Rahmen der verschiedenen Vorhaben sei der AiF gedankt. Den Firmen KAMAX-Werke Rudolf Kellermann GmbH & Co. KG, Leist Oberflächen-technik, Norsk Hydro ASA und Richard Bergner danke ich für die Bereitstellung des Probenmaterials.

Schlußendlich möchte ich mich ganz besonders bei meinen Eltern für die Unterstützung während meines Studiums und während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter bedanken.

Kurzfassung

Magnesium ist mit einer Dichte von 1,7 bis 1,8 g/cm³ das leichteste aller technisch genutzten Metalle und in seiner Dichte den Kunststoffen vergleichbar. Es bietet neben einem guten Verhältnis von Festigkeit zu Masse gute Dämpfungseigenschaften und eine gute Recycelfähigkeit bei legierungsabhängig stark unterschiedlichen Verarbeitungseigenschaften. Basierend auf der zunehmenden Notwendigkeit zum Leichtbau ist in den letzten Jahren besonders in der Kraftfahrzeugindustrie das Interesse an Magnesium als Gußwerkstoff für Bauteile verschiedenster Art trotz negativer Eigenschaften wie geringer Warmfestigkeit und Kriechbeständigkeit sowie hoher Reaktionsfähigkeit gestiegen. Demzufolge ist bei der Automobilindustrie und ihren Zulieferern ein steigender Bedarf an Magnesium und daraus hergestellten Bauteilen zu erwarten.

Im allgemeinen werden Bauteile aus Magnesium mit solchen aus anderen Werkstoffen durch Schrauben verbunden. Für die allgemeine Anwendung von Magnesium als Konstruktionswerkstoff ist somit die Kenntnis der Gebrauchseigenschaften der Schraubenverbindungen von entscheidender Bedeutung. Bislang wurden von einzelnen Anwendern im Regelfall lediglich die jeweils vorliegenden Einzelfälle untersucht und durch Versuche am Originalbauteil optimiert.

Durch die vorliegende Arbeit wird eine breite Grundlage übertragbarer Kennwerte zur Verwendung von Schraubenverbindungen mit Magnesiumkomponenten dargestellt. Die in diesen Referenzfällen erhaltenen Kennwerte bilden die Grundlage zur Auslegung geplanter Verbindungen und zeigen Einsatzgrenzen verschiedener Werkstoffe und Werkstoffkombinationen.

Es wurden Untersuchungen zu folgenden Teilzielen durchgeführt:

Ermittlung der kritischen Mindestschraubtiefe

Ermittlung der zulässigen Flächenpressung

Beschreibung des für den Langzeiteinsatz maßgeblichen Setz- und Relaxationsverhaltens

Bewertung des Kontaktkorrosionsverhaltens von Magnesiumlegierungen.

Durchgeführt wurden diese Untersuchungen an Probekörpern aus den Magnesiumlegierungen AZ91 hp, AS21 hp und AM50 hp sowie der Aluminiumlegierung A380 und an Schrauben aus niedriglegiertem Stahl der Festigkeitsklasse 8.8 sowie aus den Aluminiumlegierungen 6013 und 6082.

1	Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung	6
2	Stand der Kenntnisse	6
2.1	Der Werkstoff Magnesium	6
2.2	Magnesium als Konstruktionswerkstoff	6
2.3	Eigenschaften und Anwendungsgebiete von Magnesiumdruckgußlegierungen	6
2.4	Werkstoffkennwerte der verwendeten Magnesiumdruckgußlegierungen	6
2.5	Mindesteinschraubtiefe	6
2.6	Grenzflächenpressung	6
2.7	Reibungszahlen	6
2.8	Relaxationsverhalten	6
2.9	Korrosionsverhalten von Magnesium und Magnesiumlegierungen	6
3	Eigene Untersuchungen	6
3.1	Verwendete Werkstoffe und Proben	6
3.1.1	Begleitende Untersuchungen	6
3.1.1.1	Schrauben	6
3.1.1.2	Hülsen und Buchsen	6
3.1.2	Anwendungseigenschaften	6
3.1.2.1	Mindesteinschraubtiefe	6
3.1.2.2	Grenzflächenpressung	6
3.1.2.3	Reibungszahlen	6
3.1.3	Relaxationseigenschaften	6
3.1.4	Korrosionseigenschaften	6
3.1.4.1	Salzsprühnebeltest	6
3.1.4.2	Bewitterungsversuch	6
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	6
5	Bewertung	6
5.1	Allgemeine Bewertung	6
5.2	Konkrete Bewertung der verwendeten Materialien und Kombinationen	6
6	Ausblick	6
7	Literatur	6
8	Anhang	6

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen / Abkürzung	Einheit	Bedeutung
$A_{S,Bolzen}$	mm^2	Spannungsquerschnitt des Schraubengewindes
A_{SG}	mm^2	Scherfläche
C_1		Festigkeitsminderungsfaktor bezogen auf die Mutterwand- dicke
C_2, C_3		Festigkeitsminderungsfaktor infolge plastischer Verbiegung von Bolzen- und Muttergewidegängen
c687		Schichtsystem sauerverzinkt, chromatiert, silikatisch versie- gelt, geschmiert
d	mm	Außendurchmesser des Bolzengewindes
d_2	mm	Flankendurchmesser des Bolzengewindes
D_1	mm	Muttergewinde-Kerndurchmesser
D_2	mm	Flankendurchmesser des Muttergewindes
DC		Delta Coll
DS		Delta Seal
F_a	N	Amplitudenlast
F_m	N	Höchstkraft
$F_{p0,2}$	N	Kraft an der 0,2% Dehngrenze
F_v	N	Mittellast
HB		Brinellhärte
HBM		Hottinger Baldwin Meßtechnik
HRC		Rockwellhärte
m_{eff}	mm	Effektive Einschraubtiefe
MGC		Meßverstärker
m_{kr}		Kritische Einschraubtiefe
P		Gewindesteigung
R_m	MPa	Zugfestigkeit
$R_{m,Bolzen}$	MPa	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs
$R_{m,Mutter}$	MPa	Zugfestigkeit des Mutterwerkstoffs
R_s		Festigkeitsverhältnis
Rt		Raumtemperatur
S300		Aluminiumschraube mit Mindestfestigkeit von 300 MPa
S400		Aluminiumschraube mit Mindestfestigkeit von 400 MPa
S8.8		Stahlschraube der Festigkeitsklasse 8.8

SW	Schlüsselweite
T	Temperatur
TL	Technische Lieferbedingungen
TTF	Torque in Tension Fluid
T4WA	Drehmoment – Drehwinkel - Meßwelle
VDI 2230	Berechnungsvorschrift zur Auslegung von Schraubenverbindungen
VW	Volkswagen
W2TK	Induktiver Wegaufnehmer