

Axel Rossmann

Die Sicherheit von Turbo-Flugtriebwerken

problemorientierte Triebwerkstechnik für Praktiker

- Untersucher
- Gutachter
- Dienststellen und Behörden
- Betreiber
- Qualitätssicherung
- Konstrukteure
- Wartung und Kundendienst

Band 3

Verdichter, Brennkammer Turbine, Nachbrenner,
Schubdüse, schadensminimierende Konstruktion,
Werkstofftechnik, technologische Entwicklung

Dieser Band enthält über 800 Seiten, über 350 Bildtafeln mit mehr als 1000 Skizzen sowie ausführlichen Beschreibungen



1. Auflage
(Serie 1.05)

Bei der Erstellung dieses Buches wurde mit großer Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgend eine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

© 2003 by A.Rossmann, Turbo Consult, Karlsfeld

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung von Turbo Consult unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 3-00-017733-7

Bestellung dieses Buches: Fax Nr. (Deutschland) 08131 50 50 67

Vorwort

„Das Erkennen eines Problems ist meist wichtiger als seine Lösung, die lediglich von dem mathematischen oder experimentellen Geschick abhängen dürfte. Neue Fragen zu stellen, neue Möglichkeiten zu eröffnen, alte Probleme aus einem neuen Blickwinkel zu sehen, erfordert schöpferische Vorstellungskraft und bedeutet wirklichen Fortschritt in der Wissenschaft.“

(Albert Einstein)

Wer nach einer technischen Ausbildung in die Industrie kommt, erfährt nicht selten einen „Kulturschock“. Plötzlich wird der Wert der hervorragenden Kenntnisse in ihrer Anerkennung von berufsspezifischem Können relativiert. Das neue Maßsystem beruht nicht zuletzt auf der Aussage des zitierten Satzes. In unserer Ausbildung werden uns gewöhnlich Aufgaben gestellt. Die Wertschätzung der fachlichen Arbeit hängt in erster Linie von der richtigen und effektiven Lösung dieser Aufgabe ab.

In der Industrie ist das Neue, dass die fachliche Anerkennung sich besonders daran orientieren sollte, wie weit wir in der Lage sind Probleme zu erkennen und daraus Aufgaben selbst zu formulieren. Die richtige und schnelle Lösung wird dann von uns als eine Selbstverständlichkeit erwartet. Wichtig ist, dass die von uns erarbeitete Aufgabenstellung für das Team in dem wir arbeiten verständlich ist und zur Lösung motiviert. Hierzu gehören natürlich neue Blickwinkel und das Stellen neuer Fragen. Es gehört aber auch das Verständnis für den Anteil der Anderen, die zur Lösung der Aufgabe beitragen müssen, dazu. Dies ist besonders wichtig, weil die Lösung der typischerweise komplexen Zusammenhänge immer auch ein Kompromiss sein wird.

Aber auch im Beruf gestellte Aufgaben unterscheiden sich von denjenigen der schulischen Ausbildung. Geht es in der Ausbildung vorrangig um die richtige Lösung, über den „richtigen“ Lösungsweg, wird von uns im Beruf das gewünschte, in seiner praktischen Anwendung und Konsequenz verstandene, Endergebnis erwartet. Dabei haben wir Freiheiten, den Lösungsweg selbst zu suchen. Die Einsicht in die Notwendigkeit des eigenen Beitrags in einem größeren Rahmen fördert kreative und intuitive Ansätze und ist wichtige Motivation. So ist es z.B. möglich, nach Neigung den Lösungsweg mehr analytisch oder eher versuchstechnisch zu suchen. Erfahrung ist bei dieser Suche eine große Hilfe, sie kann den Zeit- und Kostenaufwand vermindern und dabei die Sicherheit erhöhen.

Eine zu geringe Risikobereitschaft im eigenen Beitrag mindert die Erfolgchancen des Teams. Die Erfahrung kann das Risiko überschaubarer machen, entscheidende Hilfestellung für den Lösungsweg geben, früher beschrittene Irrwege vermeiden helfen und dazu beitragen, dass „Showstopper“, d.h. unüberwindliche technisch-wissenschaftlich begründete Hürden, rechtzeitig erkannt werden.

Dieser Band 3 soll, wie die vorhergehenden, das Erkennen von Problemen und das Definieren der Aufgaben unterstützen und zu deren Lösung durch Erfahrung beitragen.

Ich danke meiner Frau Dr. Daniela Rossmann für das jahrelange Verständnis, den Verzicht auf gemeinsame Zeit und für viele hilfreiche Hinweise zur Gestaltung, ohne die dieses Buch nie möglich geworden wäre.

Mein besonderer Dank gilt

dem Lektor, Herrn Dipl.-Dokumentar Reinhard Glander,

für fachliche Korrekturen und Beratung:

Herrn Dr. Ernst Affeldt (Schwerpunkt: Thermoermüdung)

Herrn Reinhold Gräter (Schwerpunkt: Werkstoffverhalten und Werkstofftechnik)

Herrn Dr. Ing. Klemens Hain (Schwerpunkt: Konstruktion und Technologie)

Herrn Dipl. Ing. Wolfgang Krüger (Schwerpunkt: Konstruktion und Technologie)

Herrn Dipl. Ing. (Univ.) Otto Liebscher (Schwerpunkt: Labyrinth)

Herrn Dipl. Ing. Arthur Schäffler (Schwerpunkt: Verdichter)

Herrn Dipl. Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Helmut Schubert (Schwerpunkt: Technologie, Literatur)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Einführung

11. Besonderheiten und Probleme im Betriebsverhalten des Triebwerks und seiner Komponenten

11.1 Das Triebwerk

Historische Trends, Anforderungen, Betriebsphasen

11.2 Die Komponenten

11.2.1 Der Verdichter

11.2.1.1 Grundlagen

11.2.1.2 Schäden

11.2.1.3 Abhilfen

11.2.2 Die Brennkammer

11.2.2.1 Grundlagen

11.2.2.2 Schäden an Brennkammern

11.2.2.3 Abhilfen gegen Schäden an Brennkammern

11.2.3 Die Turbine

11.2.3.1 Grundlagen

11.2.3.2 Turbinenschäden

11.2.3.3 Abhilfen gegen Turbinenschäden

11.2.4 Nachbrenner, Schubdüse und Schubumkehrer

11.2.4.1 Grundlagen

11.2.4.2 Schäden

11.2.4.3 Abhilfen

11.2.5 Anbaugeräte und Peripherie

11.2.5.1 Grundlagen

11.2.5.2 Schäden an Anbaugeräten

11.2.5.3 Abhilfe gegen Schäden an Anbaugeräten

12. Das Werkstoffverhalten unter Betriebsbelastung

- 12.1 Anforderungen an die Werkstofftechnik
- 12.2 Anriss und Rissfortschritt
 - 12.2.1 Auswertung von Bruchflächen und Rissbildern
- 12.3 Gewaltbrüche und Restbrüche
- 12.4 Schadensursächliche Temperatur- und Umgebungseinflüsse
- 12.5 Zeitstand und Kriechen
 - 12.5.1 Grundlagen
 - 12.5.2 Zeitstandschäden
 - 12.5.3 Abhilfen gegen Zeitstandschäden
- 12.6 Schwingermüdung
 - 12.6.1 LCF
 - 12.6.1.1 Grundlagen zum LCF-Verhalten
 - 12.6.1.2 Schäden durch LCF
 - 12.6.1.3 Abhilfen gegen LCF-Schäden
 - 12.6.2 Thermoermüdung
 - 12.6.2.1 Grundlagen der Thermoermüdung
 - 12.6.2.2 Schäden durch Thermoermüdung
 - 12.6.2.3 Abhilfen gegen Thermoermüdungsschäden
 - 12.6.3 HCF
 - 12.6.3.1 Schwingungsanregungen und Beanspruchungen
 - 12.6.3.2 Grundlagen zum HCF-Verhalten
 - 12.6.3.3 Schäden durch HCF
 - 12.6.3.4 Abhilfen gegen HCF-Schäden

13. Schadensminimierende Konstruktion

- 13.1 Gestaltungsregeln
- 13.2 Sichere Lebensdauer

14. Technologische Entwicklung

- 14.1 Der Entwicklungsprozess
- 14.2 Risiken und Probleme
- 14.3 Minimieren des Entwicklungsrisikos

Sachregister
