

Diss. ETH ex. B

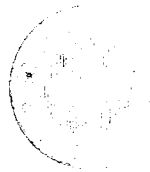
Diss. ETH Nr. 12407

Experimentelle Untersuchung der Rußbildung in einer Gasturbinenbrennkammer

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

RALPH SCHULZ
Dipl.-Ing. (RWTH Aachen)
geboren am 20.11.1965
Deutscher Staatsangehöriger



1000

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. P. Suter, Referent
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. Dibelius, Korreferent
Prof. Dr. D. Poulidakos, Korreferent

Zürich 1997

Kurzzusammenfassung

Die Rußbildung spielt insbesondere bei der druckbeaufschlagten Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Öl oder Gas im Hinblick auf die Strahlungsbelastung des Feuer-raums und das Temperaturfeld der Flamme eine entscheidende Rolle.

In der Gasturbinentechnologie geht der Trend in Richtung Wirkungsgraderhöhung durch steigende Verbrennungsdrücke, was tendenziell zu einer Begünstigung der Rußbildung und damit unter Umständen zu thermischen Problemen im Flammrohr und darüber hinaus zu erhöhten Partikelemissionen in die Umwelt führen kann.

In der Literatur finden sich bislang nur sehr wenige detaillierte Rußdaten für eine technische Feuerung unter Druck in einem für Gasturbinen relevanten Leistungs- und Druckbereich. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde daher eine auf dem Prinzip der Lichtextinktion beruhende, laseroptische Meßtechnik für die zuverlässige Mes-sung verschiedener Rußparameter, wie Volumenbruch und Partikelgrößenverteilung, in einer Gasturbinenbrennkammer konzipiert und erfolgreich an der zur Verfügung stehenden Versuchsbrennkammer appliziert. Zur Ergänzung der optischen Meßtech-nik wurden zusätzlich extraktive Sondenmessungen für die Bestimmung der lokalen Rußkonzentration in der Flamme durchgeführt, wobei sich diese Methode insbeson-dere hinsichtlich der Probenahme unter Hochdruckbedingungen als überaus proble-matisch und dementsprechend fehlerträchtig erwies.

Im Rahmen eines aus Kostengründen verhältnismäßig kleinen Versuchsprogramms konnten Messungen bei technisch relevanten Verbrennungsbedingungen am Hoch-druckprüfstand durchgeführt werden, so daß nun ein Datensatz für die Validie-rung von numerischen Rußbildungs- und Abbau-, sowie Strahlungsmodellen zur Verfügung steht.

Die Meßresultate lassen einen starken Einfluß der Verbrennungsführung auf die lokal in der Brennkammer vorliegende Rußkonzentration erkennen. Die Druckabhängig-keit der Rußbildung, die Einflüsse des Brennstoffs (Heizöl EL, Erdgas) und der Be-triebsart (Kopfstufe / Vormischung) des verwendeten Doppelkegelbrenners wurden in einem Bereich von 4 bis 14 bar Absolutdruck bei einem Luftverhältnis $\lambda = 2.0$ mit beiden Meßtechniken untersucht.

Die beiden eingesetzten Methoden werden hinsichtlich ihrer prinzipiellen Möglich-keiten und Grenzen diskutiert.

Abstract

In gas turbine combustion, soot formation can strongly affect the temperature field in the flame and the radiative heat transfer to the walls of the combustion chamber. In order to improve thermal efficiency, the pressure was continuously increased during the last years, causing the sooting tendency and radiation to increase as well.

Experimental data of soot formed at typical gas turbine conditions are rarely found in the literature. In the present experimental work, two different measurement techniques – one based on laser light extinction, the other one on extraction – are applied to a high-pressure test-rig. The extinction method, which gives a measure of the soot volume fraction and the particle size distribution, could be successfully applied. On the other hand the application of the extractive method, measuring the mass fraction of soot, led to various difficulties and errors, especially in regard to the sampling procedure.

Soot measurements were carried out at different burning conditions. Due to the very high operating expenses of the test-rig, it was only possible to obtain a relatively small data set. These experimental data can now be used for the validation of numerical models that predict soot formation and decay as well as radiation.

The influences of pressure, fuel (natural gas, fuel oil light) and burning mode (head-stage, premixed) of a double-cone burner were evaluated in a pressure range from 4 to 14 bar. The equivalence ratio was kept constant at $\Phi = 0.5$.

Advantages, disadvantages and the limits of both methods are discussed in the present study.