

Diss. ETH Nr. 12287

**Thermische Aufbereitung
von Heizöl EL für schadstoffarme
Vormischverbrennung in Gasturbinen**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

YUNHONG WANG

Dipl. -Ing. TH Karlsruhe
geboren am 27. Juni 1961
von Beijing, China

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. L. Reh, Referent
Prof. Dr. F. Widmer, Korreferent
Dr.-Ing. K. Döbbling, Korreferent

Zürich 1997

Zusammenfassung

Von stationären Gasturbinen zur Stromerzeugung werden immer strengere Schadstoffemissionen und auch verstärkt Brennstoffflexibilität gefordert. In neueren Brennkammern von Gasturbinen werden Vormischbrenner mit hohem Luftüberschuss eingesetzt, die besonders niedrige Schadstoffemissionen beim Betrieb mit gasförmigen Brennstoffen, wie beispielsweise Erdgas, aufweisen. Beim Einsatz von flüssigen Brennstoffen müssen im Vergleich zum Betrieb mit Erdgas jedoch stark erhöhte Emissionen und ein leicht verringerter Wirkungsgrad sowie eine möglicherweise instabile Flamme in Kauf genommen werden. Es besteht die Möglichkeit betriebliche Schwierigkeiten bei flüssigen Brennstoffen zu verringern, wenn der Brennstoff extern vorverdampft wird und dann über das für Erdgas vorhandene Brennstoffverteilsystem auf die Brenner verteilt werden kann.

Die Hauptprozessschritte bei der Verbrennung flüssiger Brennstoffe, bestehend aus Zerstäubung, Brennstoffverdampfung und Mischung mit der Verbrennungsluft, werden dabei vollständig räumlich und zeitlich getrennt. Der flüssige Brennstoff wurde in einem im Rahmen dieser Arbeit errichteten externen Sprüh-Verdampfer unter erhöhtem Druck bis max. 30 bar rückstandsfrei verdampft und teilweise thermisch in niedermolekulare Komponenten gespalten. Durch Zugabe kleiner Mengen möglichst hoch überhitzten Wasserdampfes (Wasser/Brennstoff-Massenverhältnis $0.3 < \omega < 1 \text{ kg/kg}$) bei der Verdüsung konnte bei hohem Druck und relativ niedriger Temperatur ($< 650^\circ\text{C}$) durch eine Herabsetzung des Brennstoffpartialdrucks Heizöl EL vollständig verdampft werden. Zusätzlich konnte mit diesem Verfahren die Bildung von Teer-Ablagerungen und Russ vollständig unterdrückt werden. Die Zugabe einer kleinen Luftmenge von bis zu 5% der für die stöchiometrische Verbrennungsreaktion benötigten Luftmenge, führt zu einer zusätzlichen Wärmefreisetzung durch partielle Oxidation und zur Erhöhung des Anteils der niedermolekularen Komponenten im Brennstoffdampf. Die Produkte aus dieser kombinierten Verdampfung und Teilsplaltung bzw. Teiloxidation führen im Anschluss an eine möglichst homogene Mischung mit Verbrennungsluft sowohl bei der atmosphärischen Verbrennung als auch bei der Verbrennung unter erhöhtem Druck zu sehr niedrigen Schadstoffemissionen im Verbrennungsabgas.

Die Verbrennungsuntersuchungen wurden mit mehreren für gasförmige Brennstoffe entwickelten Brennern, einem Keramik-Oberflächenbrenner (25kW), einem Gasturbinenbrenner (150kW) unter atmosphärischem Druck sowie einem Hochdruckbrenner(150kW) unter

erhöhten Drücken von bis zu 23bar, über einen weiten Bereich des Luftüberschusses vorgenommen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass das Konzept zur thermischen Aufbereitung flüssiger Brennstoffe durch Sprüh-Vorverdampfung und Teilspaltung den gesamten Betriebsbereich der Gasturbinenfeuerungen abdecken kann und dabei hinsichtlich der Schadstoffemissionen zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Bei allen Versuchen wurde eine stabile Vormischverbrennung von Heizöldampf ohne Rückzündung im Betriebsbereich der Brenner beobachtet. Bei magerer Verbrennung ($\lambda > 2$) wurden NO_x -Emissionen von etwa 8 bis 10 ppmv bezogen auf 15% O_2 beim Verbrennung des Heizöldampfs im Keramik-Oberflächenbrenner und etwa 4.5 bis 20 ppmv bezogen auf 15% O_2 bei Gasturbinenbrenner gemessen. Diese Werte belegen, dass mit Hilfe eines thermischen Aufbereitungsverfahrens für die Umwandlung flüssiger in dampfförmige Brennstoffe ähnlich niedrige Emissionswerte wie bei der Erdgasvormischverbrennung erreicht werden können.

Dieses Verfahren eröffnet die Möglichkeit neben den Einsparungen im Bereich des Brennstoffverteilsystems und den Vorteilen bezüglich der Emissionen auch den Wirkungsgrad zu erhöhen. Bei der externen Vorverdampfung kann die zur Erwärmung und Verdampfung des Brennstoffes erforderliche Energie aus Niedertemperaturwärme (z.B. Abgas der Gasturbinen) gewonnen und anschliessend in der Brennkammer ein entsprechender Anteil an arbeitsfähiger Hochtemperaturwärme freigesetzt werden.

Abstract

Stationary gas turbines for power generation are increasingly demanded for low emissions and fuel flexibility. Very low NO_x -emissions can be achieved using the lean premixed combustion for gas fired burners in modern gas turbines. Compared to premixed combustion of gaseous fuel, in combustion of liquid fuels emissions increase, efficiency decreases and autoignition can arise. However, it is possible to overcome such complications, if analogous premix techniques are applied to liquid fuels. One option is to pre-vaporize the liquid fuel, subsequently supply the fuel vapor to the gaseous fuel injection system and fire it in burners originally designed for burning gaseous fuel.

In this concept the combustion of liquid fuel is spatially and temporally subdivided into four basic processing steps, namely atomization, evaporation, mixing and combustion. Liquid fuels are completely evaporated and partly thermal cracked into smaller molecules in a separate fuel vaporizer, which was constructed in this project to allow investigation at simulated gas turbine conditions (30bar). By adding superheated steam (steam/fuel mass ratios $0.3 < \omega < 1 \text{ kg/kg}$), which was used as atomization gas, the partial vapor pressure and hence the boiling points of the fuel components are lowered. Flash evaporation can be achieved at high pressure and typical exhaust gas temperature ($< 650^\circ\text{C}$). Furthermore, the presence of steam inhibits the carbon deposits formation on the vaporizer walls. The addition of a very low amount of air (substoichiometric air/fuel ratio: 0.01 to 0.05) leads to heat supply by exothermally partial oxidation and reforms part of the fuel into smaller molecules. The generated gaseous product from the vaporizer is mixed homogeneously with preheated combustion air and finally the mixture is burned in the premixed mode, resulting in low emissions under atmospheric as well as high pressure conditions.

The combustion tests have been performed for a wide range of excess air with several burners designed for premixed combustion of gaseous fuels: a ceramics surface burner (25kW), a gas turbine burner (ABB-EV-burner) (150kW) at ambient pressure and a laboratory-scale high-pressure burner (150kW) at a operating pressure up to 23 bar.

The experimental results show that this concept of conversion of liquid to gaseous fuel and burning using premixing lean combustion can be applied in the complete operation range of gas turbine combustion. A stable, non luminous premixed flame was observed for combustion of

oil vapor. The tests have produced emissions of NO_x between 8 to 10 ppmv (corrected to 15% O_2) by lean premixed combustion ($\lambda > 2$) in the ceramics surface burner and 4.5 ppmv to 10 ppmv in the gas turbine burners. These results prove, that with the aid of this concept low emission values similar to premixed combustion of gas can be achieved.

Furthermore, this concept can be advantageously exploited not only to reduce the pollutant emissions and to attain savings for the liquid fuel supply system but also to improve the thermal efficiency of gas turbine processes. The separate fuel vaporizer can utilize the waste heat from a gas turbine exhaust for evaporation and thermal cracking of liquid fuel as well as steam generation. Thus a significant proportion of the exhaust heat is recycled to the high temperature zone of the process and hence increases overall efficiency.