

Was hat ein Strahltriebwerk mit einem Heissgaslüfter gemeinsam?

Grünendick, T., Klemp, E.

Um bei Luftfahrzeugtriebwerken ein Versagen durch Heißgaskorrosion und zu hohen thermischen Belastungen zu verhindern, werden thermische Schutzschichten zur Lösung dieses Problems aufgebracht. Diese Artikel stellt zunächst die Grundlagen der Wärmedämmschichten im Triebwerk dar und projiziert diese dann auf den Heißgasventilator. Ein Ausblick zeigt eine mögliche Anwendung der thermischen Schutzschichten als Welle-Nabe Verbindung.

In order to avoid breakdowns and failures in airplane-engines by hot-gas-corrosion and high temperatures, thermal sprayed protection layers were used to solve this problem. This article explains at the beginning the basics of function layers used in engines and applicatas this knowledge to the hot gas fan. At the end an outview is given in order to show a possible application for the thermal spraying of protection layers in the area of shaft-hub-connections.

1 Das Strahltriebwerk

Strahltriebwerke finden ihre Anwendung in Luftfahrzeugen. Die Anforderungen, die dabei an ein solches Triebwerk gestellt werden, sind unter anderem die konstante Bereitstellung von hohen Leistungen und eine überdurchschnittlich hohe Zuverlässigkeit, insbesondere in Hinblick auf die Umweltproblematik haben die Anforderungen an einen niedrigeren Brennstoffverbrauch bei gleichzeitig höheren Verbrennungstemperaturen an Bedeutung gewonnen. Daß eine Verringerung des Gewichts zu einer Senkung des Kraftstoffverbrauches führt, ist besonders in der Luftfahrttechnik relevant. Bei Neukonstruktionen muß jede Komponenten hinsichtlich ihres Potentials zur Gewichtseinsparung untersucht werden.

In der Vergangenheit wurden neue Legierungen erprobt und mit Erfolg eingesetzt: Titan- oder neuzeitliche Superlegierungen. Sie bieten bei hohen Werkstoffanforderungen eine große Zuverlässigkeit und zusätzlich die Möglichkeit mit thermischen Spritzschichten, den besonderen Anforderungen an Hochwarmfestigkeit und Heißgas-Oxidationsbeständigkeit zu erfüllen. Daneben können durch Be-

schichtungen, hohe Betriebsstandzeiten erreicht werden. In **Bild 1** ist eine beschichtete Brennkammer zu sehen. Durch diese Beschichtungen wurden die Funktionsflächen der Brennkammern thermisch isoliert und vor Oxidation geschützt.

Hierzu verwendet man sogenannte thermische Barrierschichten (TBC), die aus einer oxidationsbeständigen Grundschicht und einer thermisch isolierten keramischen Deckschicht bestehen.



Funktionsflächen geschützt durch Wärmedämmschichten

Bild 1: Beschichtete Brennkammer

Auf den Grundwerkstoff der Brennkammer - meist eine Nickelbasislegierung wie NiM 75, IN 617 oder Hastelloy X - wird als Grundschicht zunächst eine Ni-Basis-Legierung aufgespritzt und dann ZrO_2 mit verschiedenen Stabilisatoren als Deckschicht. Als Teilstabilisator wird Yttriumoxid [Y_2O_3] (früher CaO, MgO) verwendet. $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ (93/7) ist voll tetragonal stabilisiert und liefert unter $1400^\circ C$ die besten Ergebnisse. Um höhere Temperaturen zu erreichen, muß die Stabilisator-Verteilung und -Wirkung optimiert werden. ZrO_2 -Schichten sind Sauerstoffdurchlässig, daher wird eine oxidationsbeständige MCrAlY - Haftschrift aufgespritzt. Die Eigenschaften des Schichtsystemes müssen mit denen des Substrates abgestimmt sein, besondere Bedeutung findet dabei der Wärmeausdehnungskoeffizient, dieser liegt für ZrO_2 bei $10 \sum 10^6$ 1/K, für ferriti-

sche Stähle bei $12 \sum 10^6$ 1/K und für andere Keramiken bei ca. $4 \sum 10^6$ 1/K, /1/.

2 Der Heißgaslüfter

Heißgasventilatoren dienen im Industrieofenbereich und in der Verbrennungstechnik dazu, die Prozeßführung zu verbessern, die Produktqualität zu steigern, den Energieeinsatz zu optimieren und Schadstoffe durch gezielte Luftführung zu reduzieren. Das Interesse an solchen Ventilatoren für Gastemperaturen um 1300°C und mehr ist unvermindert groß.

Der Stand der Technik hat sich während der letzten Jahre in Hinblick auf den Einsatz keramischer Werkstoffe praktisch nicht geändert: Derzeit werden Gase bis etwa 800°C mit ungekühlten metallischen Ventilatoren gefördert; bei höheren Temperaturen werden Injektoren mit dem großen Nachteil des Einblasen kalter Treibluft in den Ofenprozeß verwendet. Durch diese Randbedingungen ist es für eine zuverlässige industrielle Anwendung zwingend erforderlich, neben den gesammelten Betriebserfahrungen, die Konstruktion anhand moderner Werkstoffe und neuer Fertigungsverfahren zu optimieren, mit dem Ziel, eine Anwendung bei höheren Temperaturen unter besonderer Berücksichtigung von Kosten und Dauerfestigkeit bzw. Betriebszuverlässigkeit zu erreichen. Um eine Anwendung bei Temperaturen über 1300°C zu ermöglichen, sind viele Detaillösungen an den besonders gefährdeten Stellen notwendig. Hierzu wurden am IMW eine spezielle Welle/Nabe-Verbindung entwickelt, die eine Befestigung eines keramischen Lüfterrades an einer Stahlwelle ermöglicht. Besonderen Einfluß hierbei haben die stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der beiden Werkstoffe. Speziell ist darauf zu achten, daß sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 1300°C eine sichere und zuverlässige Befestigung gewährleistet ist.

3 Der Vergleich

Neben allen Parallelitäten wie zum Beispiel Luftmassenstrom, Abdichtung des Massenstroms, Verhinderung von Leckverlusten und Anwendung bei hohen Drehzahlen wird bei Heißgasventilatoren ein besonderes Augenmerk auf die Heißgaskorrosionsbeständigkeit und der thermischen Isolation gelegt. Sowohl Strahltriebwerke als auch Heißgasventilatoren benötigen Maßnahmen, um die Funktionsflächen vor der thermischen Überlastung und

Heißgaskorrosion zu schützen. Mit Einführung des thermischen Metallspritzens in die Luftfahrtindustrie in den 60er Jahren sind die Erfahrungen auf diesem Gebiet ständig gewachsen. Diese Entwicklungen haben bei den Strahltriebwerken zu einer hohen Zuverlässigkeit und hohen Funktionalität geführt, zwei erforderliche Eigenschaften, die auf den Heißgaslüfter ebenso zutreffen.

Durch die Ähnlichkeit der Problematik beim Strahltriebwerk hinsichtlich der Heißgaskorrosion und der thermischen Isolation kann eine Übertragung auf den Heißgaslüfter insbesondere bei der Welle/Nabe Verbindung durchgeführt werden. Damit werden die Forderungen nach immer höheren Temperaturen und Förderung von immer aggressiveren Medien erfüllt.

Um ein breiteres Anwendungsgebiet zu erreichen, bietet sich es sich an, die Erfahrungen aus der Luftfahrtindustrie zu nutzen. Dieser Transfer kann den Einsatz des Heißgaslüfters bei höheren Temperaturen gewährleisten, was letztlich auch zur Erlangung höherer Wirkungsgrade führt.

4 Der Ausblick

Die Domaine des thermischen Spritzens liegt nach wie vor im Bereich der Luftfahrtindustrie. Durch die bereits erlangte hohe Erfahrung in diesem Bereich erscheint die Nutzung in anderen Fertigungszweigen zum Erreichen eines technischen und wirtschaftlichen Vorteils, insbesondere im Bereich der erhöhten Standzeiten und damit verringerten Instandhaltungskosten als notwendig. Nicht zuletzt gingen bisher viele Produktinnovationen aus „high-tech“ Industrien hervor, zum Beispiel aus der Raumfahrtindustrie. Es ist zu erwarten, daß in Zukunft durch weitere Forschungen auf diesem Gebiet eine höhere Nachfrage nach thermischen Spritzschichten entsteht.

5 Literatur

- /1/ Adam, P.: Wärmedämmschichten in Luftfahrttriebwerken, MTU Focus, München, 1989
- /2/ Jakel, R.: Ein Beitrag zur Berechnung und konstruktiven Gestaltung keramischer Bauteile, Dissertation, 1996