

Oberflächenbehandlung thermischer Strömungsmaschinen

Spezielle Beschichtungslösungen verlängern die Lebensdauer

PETER VAN NEERVEN
GARY LOGAN
MATT LAU
SULZER TURBO SERVICES

Thermische Strömungsmaschinen werden bei sehr hohen Temperaturen betrieben, manchmal mit korrosiven oder abrasiven Fluiden. Es stehen keine Werkstoffe zur Verfügung, die den Temperaturen im Hochtemperaturbereich einer modernen Gasturbine standhalten können und ausreichende Festigkeit und Lebensdauer aufweisen. Komplexe Kühlvorrichtungen und Wärmedämmschichten können die tatsächliche Bauteiltemperatur so weit reduzieren, dass moderne Superlegierungen den Anforderungen genügen. Andere Beschichtungen in Strömungsmaschinen schützen Oberflächen vor Oxidation, Korrosion und Erosion oder verringern den Dicht- oder Kopfspalt. Beim Instandsetzen von rotierenden Maschinen wendet Sulzer Turbo Services je nach Brennstoff und Betriebsmodus spezielle Beschichtungslösungen an.

► In einer Strömungsmaschine variieren Temperatur, Geschwindigkeit und Feuchtigkeitsgehalt des Fluids entlang des Strömungspfad durch die Maschine, abhängig von den Betriebsbedingungen. Der Werkstoff ist daher einer Reihe von Verschleißmechanismen ausgesetzt, darunter Korrosion, Oxidation und Erosion. Wärme kann die Struktur des Schaufelwerkstoffs verändern (thermische Ermüdung) und seine mechanischen Eigenschaften, z.B. die Festigkeit, beeinträchtigen. Verschiedene Beschichtungsarten schützen die Maschine vor den unterschiedlichen Angriffen (Bild 1).

Beständigkeit gegen Erosion, Korrosions und Oxidation

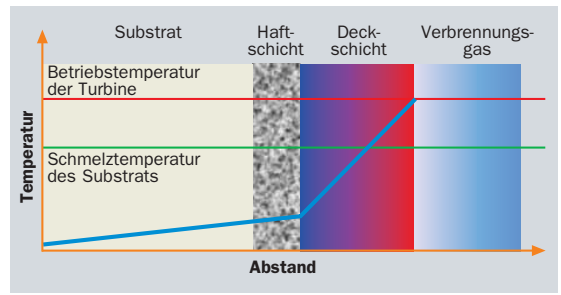
Während der Oxidation bildet Metall eine Metalloxidschicht auf der Oberfläche. Diese Oxidschicht schützt grundsätzlich das darunter liegende Material. Mit ihrer wachsenden Dicke verlangsamt sich daher der Oxidationsprozess. Die gezielte Bildung von Oxiden kann eine Schutzschicht erzeugen, die vor weiteren atmosphärischen Angriffen schützt. Korrosion ist eine kombinierte Oberflächenattacke von Sauerstoff

und meist Schwefel, welche Materialeigenschaften verschlechtert. Es lassen sich zwei Korrosionsarten unterscheiden:

- Hochtemperaturkorrosion (Korrosion Typ 1) erfolgt bei Temperaturen zwischen 800 und 900°C. Sie greift die gesamte Oberfläche an und entwickelt sich entlang der Korngrenzen.
- Korrosion Typ 2 mit meist lokalen starken Attacken, gekennzeichnet durch getrennte Schichten aus Oxid und Metall. Erosion im Sinne der Werkstoffkunde ist die Beschädigung von Oberflächen durch wiederholte lokale mechanische Attacken, beispielsweise durch Abrasivpartikel.

Schutz vor hohen Temperaturen

In modernen Turbinen wird eine Kombination verschiedener Verfahren zum besten Schutz vor unterschiedlichen Angriffen eingesetzt. Erosionsbeständige Beschichtungen bestehen u.a. aus harten Karbiden und werden hauptsächlich durch thermisches Spritzen aufgebracht. Oxidations- und korrosionsbeständige Beschichtungen sind üblicherweise Aluminide, die

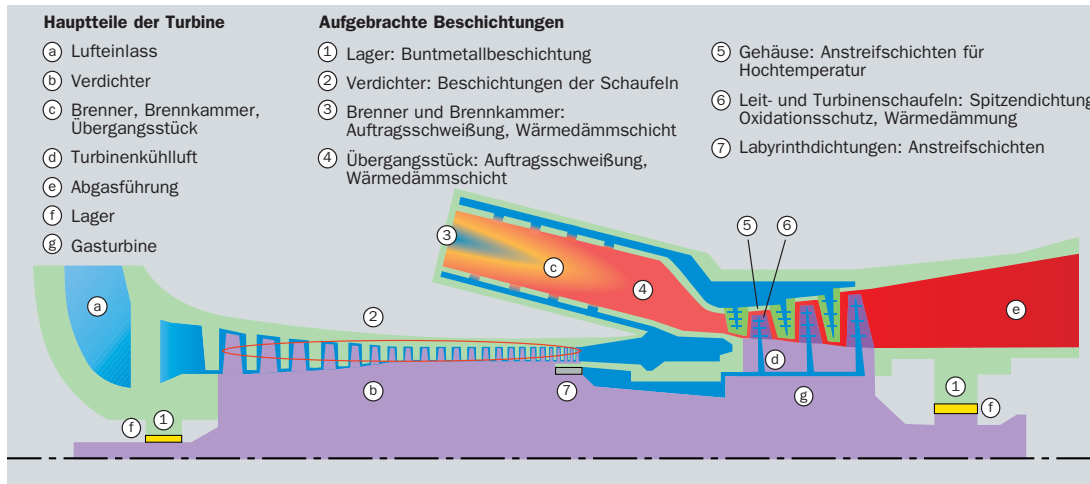


durch chemische Aufdampfung (*chemical vapor deposition, CVD*) erzeugt werden, sowie durch thermisches Spritzen oder kombinierte Methoden aufgebraute Beschichtungen.

Wärmedämmschichten erhöhen die Langlebigkeit beschichteter Teile bei höheren Temperaturen. Darüber hinaus werden diese keramischen Beschichtungen zur Spaltkontrolle im Hochtemperaturbereich eingesetzt.

Wärmedämmschichten auf der Grundlage von Zirkonoxid werden durch thermisches Spritzen oder physikalisches Elektronenstrahl-Aufdampfen (*physical vapor deposition, PVD*) produziert. Die Wärmeleitfähigkeit des hierfür verwendeten Zirkonoxids ist gering, etwa 1 W/m·K. Die Wärmeleitfähigkeit von z.B. Kupfer ist 3000-mal größer. Sulzer Turbo Services setzt ein 2-Schicht-Beschich-

2 Schematische Beschichtungsstruktur und Temperaturgradient (blaue Linie) einer Wärmedämmschicht als Funktion des Wegs.



1 Beschichtungen steigern den Wirkungsgrad und verlängern die Lebensdauer moderner Gasturbinen. Bei der Reparatur einer ausgefallenen Turbine setzen Ingenieure von Sulzer Turbo Services angepasste Beschichtungs-lösungen ein, die sogar manchmal die Leistungsfähigkeit verbessern.

tungssystem ein (Bild 2). Es besteht aus einer Haftschrift und einer Deckschrift. Die Haftschrift sorgt für eine gute Haftung zwischen Metallsubstrat und keramischer Deckschrift. Dieses Wärmeschild isoliert die Substratlegierung und ermöglicht höhere Betriebstemperaturen, reduzierten Kühlaufwand oder beides.

Spaltkontrolle

Diese Zirkon-Keramikwerkstoffe werden auch zur Spaltkontrolle im Hochtemperaturbereich eingesetzt. Kleinere Spalte verbessern den Turbinenwirkungsgrad. Bei der Spaltkontrolle schneidet ein rotierendes Teil (z.B. eine Schaufel) in eine Anstreifschicht auf dem Gehäuse, was zu einem minimalen Spalt führt (Bild 3). In vielen modernen Gasturbinen dient eine dicke Keramikbeschichtung als Wärmedämmsperre und Anstreifschicht.

Moderne Beschichtungstechnologie

Die grundlegenden Produktionsmethoden für Beschichtungen sind thermisches Spritzen und PVD oder CVD.

Thermisches Spritzen ist ein industrieller Beschichtungsprozess mit einer Wärmequelle und Beschichtungsmaterial in Pulver-

oder Drahtform. Hierbei wird das Material an- oder aufgeschmolzen und dann mit einem Gas- oder Druckluftstrom auf das zu beschichtende Material (Substrat) gespritzt. Beim Auftreffen bildet es eine neue Oberflächenstruktur. Die Beschichtungswerkstoffe können durch verschiedene Prozesse geschmolzen werden, darunter Verbrennung, Plasma und elektrische Lichtbogen. Der Prozess kann in einer Standardatmosphäre oder in einer speziellen, stark kontrollierten Atmosphäre erfolgen.

Die Geschwindigkeit des geschmolzenen Materials und die Atmosphäre, in welcher der Prozess abläuft, beeinflussen die Eigenschaften der Beschichtung, z.B. Dichte und Härte. Sulzer Turbo Services wendet je nach Anforderungen Niederdruckplasmaspritzen (*low-pressure plasma spray*, LPPS), atmosphärisches Plasmaspritzen (*atmospheric plasma spray*, APS) oder das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (*high-velocity oxygen fuel*, HVOF) an.

Umweltfreundlicher Prozess

Beschichtungen schützen vor Verschleiß, hohen Temperaturen oder chemischen Attacken und bieten umweltfreundlichen Korrosionsschutz als Alternative zur Hartver-

chromung. Sie können metallisch oder keramisch sein oder erfüllen durch gezielte Kombinationen beider Materialien vielfältige physikalische Anforderungen.

Bei der Diffusionsbeschichtung wird ein Bauteil aus reinem Metall oder einer Legierung mit einem Metall oder einer Legierung beschichtet und in einer geschlossenen Umgebung auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Unter Einfluss eines gasförmigen Mediums diffundiert die Beschichtung in die Bauteiloberfläche. Diffusionsbeschichtungen bieten überragende Oxidations-, Korrosions- und Erosionsbeständigkeit für Anwendungen wie interne Hohlräume und dienen oft als Standard-Oxidationsschutz für externe Oberflächen.

Reduzierte Betriebskosten

Die Notwendigkeit glatter, korrosionsbeständiger Beschichtungen für Gasturbinen-Verdichterschaukeln wurde bereits vor einiger Zeit erkannt. Bei der Erstinstallation weist die Basislegierung gute Korrosionsbeständigkeit und eine glatte Oberfläche auf, jedoch können sich diese Eigenschaften im Betrieb schnell verschlechtern. Sulzer Turbo Services hat verschiedene Verdichterbeschichtungen entwickelt. Die Crackgas-Verdichter in der Ethyleneinheit eines global arbeitenden Chemieunternehmens mussten regelmäßig heruntergefahren und gereinigt werden. Sulzer Turbo Services versah die Rotoren und Membranen des Verdichters mit verschmutzungsresistenten Beschichtungen, die das Waschen unnötig machten. Der Kunde spart nun jährlich über 1 Mio. USD, da das Waschöl eingespart wird und die Verfügbarkeit

3 Innenhaube einer Gasturbine, frisch beschichtet mit einer Wärmedämmschicht von Sulzer Turbo Services (links). Das Bild nach 18 000 Betriebsstunden zeigt die Einlauffähigkeit des Beschichtungssystems.



der Anlage höher ist. Der Kunde hatte Sulzer Turbo Services exklusiv beauftragt, da das Unternehmen die Ausführung während der kurzen geplanten Stillstandszeit garantieren konnte.

Verlängerte Lebensdauer

Für die Gasturbinen eines Kunden beschichtet Sulzer Turbo Services die Übergangsstücke, damit dieser die Teile nach einem Betriebszyklus von 8000–12000 Stunden wieder verwenden kann (Bild 4). Zuvor hatten andere Anbieter die Teile beschichtet. Nach einem Zyklus mussten die Übergangsstücke demontiert, die restliche Beschichtung vollständig entfernt und die Teile durch Schweißen repariert werden, bevor sie neu beschichtet werden konnten.

Im Jahr 2005 erhielt Sulzer Turbo Services den Auftrag zur Reparatur einer Einheit einer 25-MW-Dampfturbine eines indonesischen Unternehmens. Die Schaufeln der letzten Turbinenstufe waren an den Vorderkanten stark erodiert. An beiden Traglagern wurde zudem Buchsenabrieb festgestellt. Angesichts der Schäden an den Schaufeln der letzten Stufe wurde ein Austausch in Betracht gezogen.

4 Beschichtung des Innendurchmessers dieser Übergangskanäle erhöhte ihre Lebensdauer und reduzierte die Notwendigkeit für Schweißreparaturen.



Auf Grund finanzieller und zeitlicher Einschränkungen wollte der Kunde jedoch die Schaufeln weiter verwenden und dazu schnellstmöglich reparieren lassen. Sulzer Turbo Services setzte die Schaufeln durch Aufbereiten des Erosionsbereichs und Aufbringen einer Chromkarbid-Beschichtung durch HVOF-Spritzen instand (Bild 5). Die Traglager wurden ebenfalls mit einer HVOF-Beschichtung versehen. Die Beschichtung erfolgte zuerst für beide Traglager, danach für die Schaufeln der letzten 2 Stufen. Nach Abschluss der Instandsetzung wurde der Rotor an den Kunden zurückgeliefert, installiert und umgehend wieder in Betrieb genommen.

Angepasste Beschichtungen

Sulzer Turbo Services bietet eine Vielzahl von Beschichtungen zur Verlängerung der Lebensdauer prozesskritischer Strömungsmaschinen an, die an die Besonderheiten der entsprechenden Maschine und ihre Betriebsmodi angepasst sind. Mit diesen Beschichtungen laufen die Maschinen länger und oft auch wirtschaftlicher.

Kühlung und Beschichtung be-



5 Manuelle Beschichtung von Dampfturbinenschaufeln.

stimmen die Lebensdauer moderner Gasturbinen, die bei Temperaturen über dem Schmelzpunkt der Legierungen arbeiten. Die Reparatur der jüngsten Generation von Turbinenteilen ist eine Herausforderung, da die vielen kleinen Kühlbohrungen – oft mehr als 500 pro Bauteil – beim Beschichten nicht verschlossen werden dürfen. Herkömmliche Plasmaspritzverfahren sind deshalb dafür ungeeignet. Sulzer Turbo Services und Sulzer Metco haben gemeinsam neue Beschichtungen und Verfahren zu deren Aufbringung entwickelt, welche die Kühlbohrungen offenhalten.

Die Kombination der großen Erfahrung von Sulzer Turbo Services bei der Instandsetzung von Strömungsmaschinen und des Beschichtungs-Know-hows von Sulzer Metco garantiert, dass die Prozesse des Kunden nach einem Stillstand schnellstmöglich wieder laufen. ◀

► Kontakt

Sulzer Hickham Inc.	Sulzer Elbar B.V.
Gary Logan	Peter van Neerven
11518 Old La Porte Road	Spikweien 36
La Porte, TX 77571	5943 AD Lommel
USA	Niederlande
Telefon +1 713 567 28 97	Telefon +31 77 473 8659
Fax +1 713 567 28 31	Fax +31 77 473 2785
gary.logan@sulzer.com	peter.vanneerven@sulzer.com