

Maschinenstränge exakt ausrichten

JOHN EAST
**SULZER TURBO-
MACHINERY SERVICES**

Die Zuverlässigkeit eines Turbomaschinenverbundes hängt ganz wesentlich davon ab, wie präzise die Antriebsstränge der einzelnen Maschinen zueinander ausgerichtet sind. Sulzer Hickham, eine Gesellschaft der Division Sulzer Turbomachinery Services, besitzt große Erfahrung in der exakten Kopplung von Maschinensträngen und steigert damit deren Betriebssicherheit und Verfügbarkeit.

► Auch wenn in den letzten Jahren viel darüber geschrieben und diskutiert wurde, inwieweit sich eine präzise Kopplung auf die Zuverlässigkeit von rotierenden Maschinen auswirkt, sind auch heute noch bei den meisten Turbomaschinensträngen völlig inakzeptable Toleranzen gang und gäbe. Zu den möglichen negativen Konsequenzen gehören eine Verkürzung der Lebensdauer der Kupplungen und der Lager, ungeplante Stillstandszeiten oder sogar der Totalausfall der Maschinen. Darüber hinaus kann es zum Ausbruch von Bränden, zu Verletzungen oder gar dem Tod von Betriebspersonal kommen.

Ein einfaches Problem?

Meistens sind die Empfehlungen, die man in den Betriebsanleitun-

gen zur Ausrichtung von Maschinen findet, ungenau, wenn nicht sogar schlichtweg falsch. Zudem verfügen die wenigsten Betriebe über das Know-how, Flüchtigkeitsfehler korrekt zu diagnostizieren. Sulzer Hickham dagegen ist aufgrund ihrer Erfahrung und ihres Know-how in der Lage, die Fluchtung am gesamten Maschinenstrang zu berechnen und die Abweichungen sowohl im Stillstand als auch im Betrieb exakt zu messen. Diese geprüften und bewährten Methoden gewährleisten eine kollineare Ausrichtung der Maschinenwellen, was die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit der Anlagen erhöht.

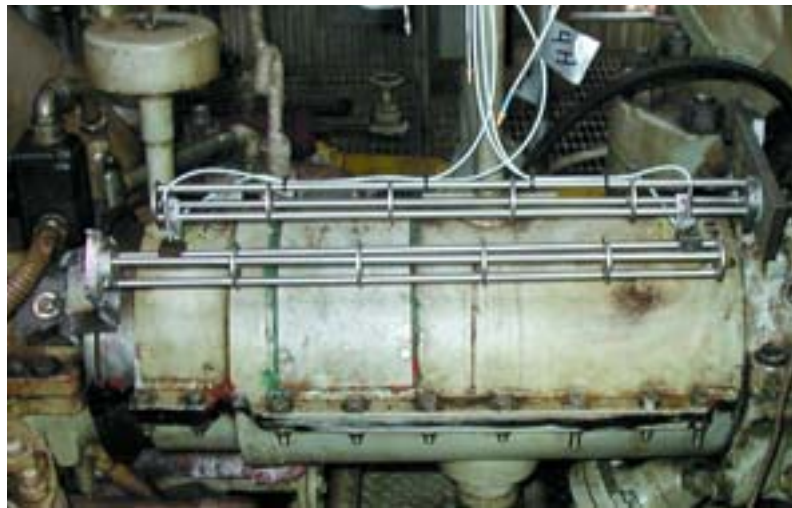
Anfang der 1970er-Jahre hatte sich eine Reihe von Technikern vorgenommen, die Methoden zur Vermessung von Maschinensträngen

zu verbessern. Daraus gingen mehrere Innovationen hervor – unter anderem ein Verfahren zur präzisen Vermessung der Mittelachsen der Maschinen mittels berührungsfreier (induktiver) Abstandsfühler. Der Autor selbst war an Fertigung und Einsatz von Justierschienen mit Abstandsfühlern beteiligt. Dieses System ist bei Sulzer Hickham mittlerweile seit zwölf Jahren im Einsatz.

Fluchtungsberechnungen

Meistens weisen erste Schätzungen erhebliche Fehler auf. Die Berechnung der Maschinenbewegungen beim Übergang vom Stillstand zu Betriebsbedingungen erfordert viel praktische Erfahrung, über die selbst altgediente Serviceingenieure selten verfügen.

Zur Abschätzung der Maschinenbewegungen sind unter anderem die folgenden Faktoren zu berücksichtigen: die durchschnittliche Umgebungstemperatur, Einlass- und Auslasstemperaturen, die Anordnung der Rohre, die Entfernung zwischen den Messebenen und den Maschinenfüßen usw. Die Verwendung einfacher Wärmeausdehnungskoeffizienten führt in diesem Zusammenhang zu keinen zufrieden stellenden Ergebnissen, da die Temperatur des Stahls zwischen der Mittelachse und den Füßen der Maschine variiert und nicht der Betriebstemperatur entspricht. Wenn man jahrelang die Antriebsstränge von Turbomaschinen vermessen hat, entwickelt man ein Gefühl für das Verhalten der Maschinen beim Übergang von kalt zu warm. Außerdem kann man intuitiv Faktoren berücksichtigen, die einem bei der ersten Abschätzung des Versatzes hilfreich sind. Bei dieser Fähigkeit



1 Justierschienen ermöglichen eine präzise Vermessung der Mittelachsen eines Maschinenstrangs. Werden die Toleranzen eingehalten, verlängert sich die Lebensdauer der Kupplungen und der Lager.

handelt es sich zweifellos eher um Kunst denn um exakte Wissenschaft.

Fluchtungstoleranzen und deren Vermessung

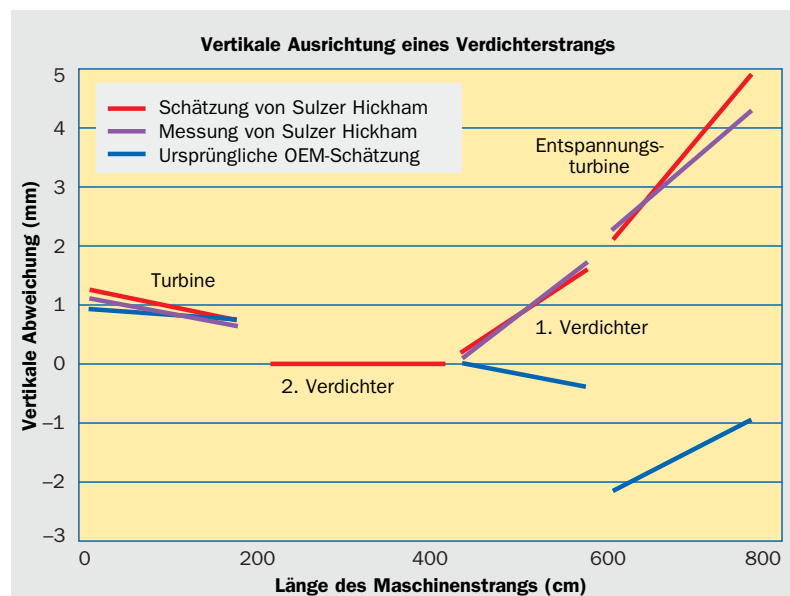
Nach Abschluss der ersten Schätzungen werden die Maschinen den Toleranzen entsprechend ausgerichtet. Beeinflusst werden die Fluchtungstoleranzen für flexible Kupplungen hauptsächlich durch die Länge der Kupplung und die Drehzahl. Für die meisten Turbomaschinen lässt sich die Toleranz

des Versatzes anhand folgender Gleichung ermitteln:

$$\text{Toleranz} = \frac{\text{Länge der Kupplung}}{\text{Drehzahl (min}^{-1}\text{)}} \times 5,66$$

Ein Beispiel: Beträgt der Abstand zwischen den Messebenen an den beiden Kupplungsnapen 400 mm und die Drehzahl 10 000 min⁻¹, ergibt sich eine Toleranz von 0,23 mm. Um diesen Wert darf die Mittelachse der Maschine vertikal oder horizontal von der Sollposition abweichen.

Nach Ausrichtung des Antriebs-



2 Fluchtungsabschätzung und -messung an einem Verdichterstrang. Während die Schätzung von Sulzer Hickham den gemessenen Werten sehr nahe kommt, weicht die ursprüngliche OEM-Schätzung erheblich davon ab.

strangs und Montage der Kupplungsabdeckungen werden die Justierschienen an den Lagergehäusen der Maschine angebracht (Bild 1). Sie bestehen aus Invar 36, einer Legierung mit hohem Nickelanteil und einem äußerst geringen Wärmedehnungskoeffizienten. Eine 150 mm lange Schiene dehnt sich beispielsweise bei einer Temperaturerhöhung um 80 °C um lediglich 36 µm aus. In einem besonders heißen Bereich, etwa an der Kupplung einer Heißgas-Entspannungsturbine, angebrachte Schienen werden durch flexible Schläuche mit Luft gekühlt, um die Gefahr von Messfehlern zu minimieren. Bei den Schienen kommen vier Abstandsfühler zum Einsatz – ein Fühler für jede Ebene (vertikal und horizontal an jeder Kupplung). Die Fühler sind auf Ziele kalibriert, die aus niedrig legiertem Vergütungsstahl (nach AISI 4140*) bestehen. Die Montage der mit den Fühlern ausgestatteten Schiene erfolgt an der

«stationären Maschine» (die nicht verschoben wird), während die mit den 4140er-Zielen versehene Schiene an der «beweglichen Maschine» montiert wird. Die von den Fühlern abgegebenen Spannungen entsprechen nun der bestehenden Ausrichtung. Von nun an ist die genaue Ausrichtung unter allen Bedingungen bekannt.

Typisches Beispiel

Sulzer Hickham hat an den Antriebssträngen zahlreicher Turbomaschinen in verschiedensten Werken und an unterschiedlichsten Maschinentypen Fluchtungs-berechnungen und -messungen vorgenommen – dazu gehörten Dampfturbinen, Turbo-, Axial- und Schneckenverdichter, Heißgas-Entspannungsturbinen, Getriebe usw. Die Bilder 2 und 3 zeigen hierzu ein Beispiel: einen Antriebsstrang, bestehend aus einer Dampfturbine, zwei Turboverdichtern und einer Heißgas-Entspannungsturbine. Der zweite Verdichter war in diesem Fall die «stationäre Maschine», an der die anderen Maschinen ausgerichtet wurden. Die roten Linien stellen die ursprünglichen Schätzungen

von Sulzer Hickham dar, während die violetten Linien die mit den Justierschienen gemessenen Sollachsen repräsentieren. Die blauen Linien zeigen die ursprünglichen Schätzungen des Originalherstellers (OEM). Wie man sieht, liegen die Schätzungen von Sulzer Hickham und die ermittelten Sollwerte für die Mittelachse eng beieinander, während die ursprünglichen OEM-Schätzungen doch erheblich abweichen.

Sulzer Hickham besitzt große Erfahrung in der Fluchtungs-berechnung von Kupplungen, in der Ausrichtung von Maschinen und im Vermessen der Mittelachsen und kann sicherstellen, dass alle Kupplungen innerhalb der zulässigen Toleranzen betrieben werden. In einem Fall erfolgten diese Tätigkeiten an allen Antriebssträngen von insgesamt elf Maschinen in einem neuen Ammoniakwerk. In diesem Fall wurden zudem alle Maschinen mit Membrankupplungen nachgerüstet, was Dehnungs-berechnungen und – zum Nachweis – Messungen vor Ort erforderlich machte. Auch diese Berechnungen erwiesen sich als korrekt. ◀

* Gewöhnliche wie auch legierte Stähle sind vom «American Iron and Steel Institute» (AISI) mit Nummern versehen worden. AISI 4140 ist das Standardmaterial, mit dem Abstandsfühler kalibriert werden.



3 Maschinenstrang, dessen vertikale Ausrichtung in Bild 2 ersichtlich ist.

KONTAKT

Hickham Industries, Inc.
John East
11518 Old La Porte Rd
La Porte, TX 77571
USA
Telefon +1 (1)713-567 27 72
Telefax +1 (1)713-567 28 30
E-Mail john.east
@hickham.com