



Instand gesetzt und verbessert

Notreparatur einer Dampfturbine

ROBERT C. EISENMANN, SR.
SULZER TURBO SERVICES

In einer australischen Raffinerie erlitt eine Dampfturbine während eines routinemäßigen Überdrehzahlversuchs eine Havarie, die zu schweren Schäden an Rotor und Gehäuse führte. Die Raffinerie beauftragte Sulzer Hickham, eine Gesellschaft von Sulzer Turbo Services, mit der Notreparatur. Wegen des großen Schadenumfangs wurden die Turbine und verfügbare Ersatzteile nach La Porte, TX (USA), zu Sulzer Hickham gesandt, wo die Turbine möglichst schnell wieder betriebsfähig zu machen war. Sulzer Hickham modifizierte auch die ursprüngliche Lagerkonstruktion, um das Betriebsverhalten der Maschine zu verbessern.

▶ Diese Hochdruckturbine hat eine maximale Dauerbetriebsdrehzahl (MCOS) von $10\,450\text{ min}^{-1}$ und einen Überdrehzahl-Auslösepunkt von $11\,400\text{ min}^{-1}$. Während einer wartungsbedingten Stillstandsperiode wurde der Ersatzrotor eingebaut. Nach der Wiedermontage wurde die nicht angekuppelte Turbine ohne Probleme

stufenweise bis auf $10\,000\text{ min}^{-1}$ hochgefahren. Der Drehzahlregler wurde nach festgelegten Verfahren mechanisch überbrückt, um die Überdrehzahl zu erreichen. Dabei stieg die Drehzahl rasch von $10\,000\text{ min}^{-1}$ auf $15\,400\text{ min}^{-1}$, worauf aus der Turbine ein lauter Knall ertönte. Die Maschine wurde abgeschaltet und zwecks



1 Dampfturbinschaufelungs- und Deckbandhavarie. Sulzer Turbo Services reparierte diese Dampfturbine einer australischen Raffinerie in nur 10 Tagen.

mechanischer Inspektion demonstriert. Dabei traten schwere Schäden an Gehäuse, Rotor und Beschaufelung zutage (Bild 1).

Untersuchung der Rotordynamik

Bei dieser Turbine waren bereits früher Vibrationsprobleme aufgetreten. Vor 20 Jahren war am abdampfseitigen Lagergehäuse ein Massendämpfer angebracht worden, um die Doppellamplituden der Wellenschwingung zwischen 50 und 75 μm_{pp} zu halten. In den oberen Lagerhälften waren Druckbarrieren eingebracht und in den unteren Lagermetall entfernt worden, wie eine Inspektion zeigte. Offensichtlich war die Maschine instabil gelaufen, und durch die Modifikation der Lagerhülsen sollte dieses Problem behoben werden. Aufgrund dieser Beob-

achtung entwickelte Sulzer Hickham ein analytisches Rotormodell und führte eine rotordynamische Analyse (RDA) durch, deren Ergebnisse zeigten, dass die Gleitlager abgeändert werden mussten.

Die Turbine war ursprünglich mit ungeteilten, ausgegossenen Gleitlagern ausgerüstet, die sich für Maschinen mit niedrigen Drehzahlen eignen, aber nicht die erforderliche Steifigkeit und Maßhaltigkeit für schnell laufende Turbomaschinen aufweisen. Die RDA zeigte, dass die Konstruktion der ursprünglichen Gleitlager die Anforderungen nur knapp erfüllte. Es wurde berechnet, dass die erste kritische Drehzahl bei 5500 min^{-1} lag, also sehr nahe an der halben Betriebsdrehzahl. Die zweite kritische Drehzahl lag der Berechnung zufolge bei 11 500 min^{-1} , also nur 10% über der MCOS. Jede Verschlechterung der Lagersteifigkeit musste somit die zweite kritische Drehzahl in den Bereich der Betriebsdrehzahl hinunter verschieben (Bild 2).

Die RDA zeigte klar, dass ein Kippsegmentlager mit 4 Segmenten die bestgeeignete Lagerkonfiguration ist. Jedoch gestattete die Größe der Turbinenlagergehäuse den Einbau eines herkömmlichen Kippsegmentlagers mit Kniehebeln nicht. Der Außendurchmesser der Lager musste deshalb minimal gehalten werden, was zur Wahl der Flexure-Pivot™-Konstruktion führte (Bild 3).

Verbesserte Lagerkonstruktion

Das Flexure-Pivot-Lager ist eine einteilige Konstruktion, die frei ist von potenziellen Montagefehlern, Verschleißteilen und Flattern entlasteter Teile. Diese Konfiguration

unterdrückte die Reaktion auf die erste kritische Drehzahl wirkungsvoll und steigerte die zweite kritische Drehzahl auf 13 500 min^{-1} (29% Drehzahlabstand). Die synchronen Schwingungsamplituden wurden reduziert und die Stabilität verbessert. Zusätzlich wurden die Lagerbelastungen bei Betriebsdrehzahl im Vergleich zu den ursprünglichen Lagern um 48% vermindert. Insgesamt verbessern die Flexure-Pivot-Lager das Betriebsverhalten dieses 50 Jahre alten Turbinenrotors deutlich.

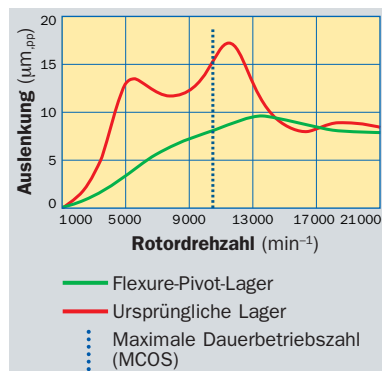
Das Rotorverhalten und die Reaktionen des Lagergehäuses bei Verwendung der Flexure-Pivot-Lager wurden weiter untersucht. Es zeigte sich, dass es für das untersuchte Betriebsgebiet keinen Grund mehr gab, den 20 Jahre alten Massendämpfer weiter zu verwenden. Sulzer Hickham empfahl, diese mechanische Vorrichtung vom abdampfseitigen Lagergehäuse zu entfernen.

Mechanische Reparaturen

Da der havarierte Rotor schwere Schaufel- und Deckbandschäden aufwies, war die Verwendung des früher eingesetzten Rotors die einzige kurzfristig mögliche Lösung. Die Lagerzapfen dieses Rotors wurden mit Wolframkarbid beschichtet und auf Maß geschliffen. Der Wellenkupplungssitz und beide Dichtungsbereiche wurden mit Inconel 718 beschichtet und ebenfalls auf Maß geschliffen. Der Rotor wurde ausgewuchtet und die Wellenoberflächen wurden für neue Überwachungsgeber poliert. Ferner reparierte Sulzer Enpro den Ölrelais-Fliehkraftregler und Servo, zudem wurde ein verbesserter Überdrehzahl-Auslösemechanismus eingebaut.

2 Das berechnete Ansprechverhalten des Rotors mit den ursprünglichen und den Flexure Pivot™-Lagern zeigt eine reduzierte Wellenauslenkung mit den neuen Lagern.

Flexure Pivot™ ist von KMC patentiert und von Bearings Plus Inc. Houston, TX lizenziert.





3 Das Flexure-Pivot-Gleitlager ergibt wegen der engen Bearbeitungstoleranzen für die summierten Lagereinbaumasse eine Nulltoleranz.

Nachrüstung der Instrumentierung

Der Kunde verlangte nebst den offensichtlich nötigen mechanischen Reparaturen einen vollständigen Satz von 10 Überwachungsfühlern. Der Satz umfasste doppelte Schubgeber, X-Y-Geber an jedem Lagerzapfen, einen Phasengeber und ein mit 3 Drehzahlgebern abgetastetes Schlitzrad, was eine 3-fach redundante Überdrehzahlmessung ermöglichte.

Der Einbau erwies sich wegen des knappen Platzes an beiden Turbi-

nenenden als eine echte Herausforderung. Die X-Y-Radialgeber am abdampfseitigen Lagergehäuse wurden mit nur geringen Modifikationen an der Turbine eingebaut. Für die Geber am Fliehkraftreglerende musste jedoch eine Instrumentennabe fabriziert werden, um die doppelten Schubgeber, die 3 Synchronisiergeber und den Phasengeber unterzubringen (Bild 4). Alle Messwandlerkabel sind außerhalb des Drehzahlreglergehäuses geerdet und alle Koaxialkabel entsprechend abgedichtet. (Bild 5).

Erfolgreiche Inbetriebsetzung

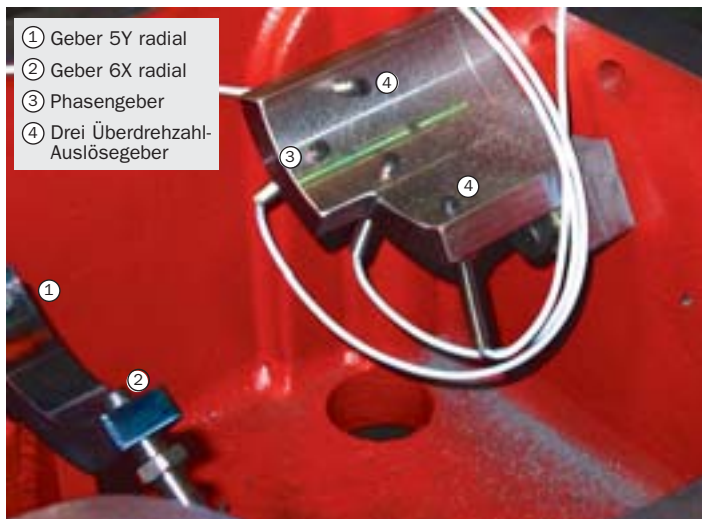
Der ganze Auftrag, bestehend aus den mechanischen Reparaturen, der rotordynamischen Analyse und Lageroptimierung sowie der anschließenden mechanischen Konstruktion und Fabrikation der Lager, dem Einbau von 10 Überwachungsgebern und der Überholung des Drehzahlreglers, der Wiedermontage und dem abschließenden Versand, wurde in 10 Kalendertagen abgewickelt.

Der Einbau vor Ort und die Inbetriebsetzung verliefen erfolgreich, mit Wellenschwingungsamplituden von weniger als $20 \mu\text{m}_{pp}$ an allen Stellen. Dank der mechanischen Nachrüstung der Maschine werden deren Lebensdauer beträchtlich verlängert und die langfristigen Unterhaltskosten reduziert. Um die künftigen Stillstandszeiten minimal zu halten, fabriziert Sulzer gegenwärtig eine komplette Ersatzrotorbaugruppe für diese Turbine. Insgesamt war der Betreiber dieser australischen Raffinerie mit der Arbeit von Sulzer Turbo Services außerordentlich zufrieden. ◀

Kontakt

Sulzer Hickham Inc.
Robert. C. Eisenmann, Sr.
11518 Old La Porte Road
La Porte, TX 77571
USA
Telefon +1 713 567 27 91
Telefax +1 713 567 28 44
bob.eisenmann@sulzer.com

4 Die radialen Schwingungsgeber am Drehzahlreglerende sind in eine von Sulzer Hickham konstruierte und hergestellte Halterung eingebaut.



5 Im Reglergehäuse wird zwischen den Gebern ein korrekter Abstand eingehalten, um eine gegenseitige Beeinflussung auszuschließen.

