

Verbessertes Betrieb mit modifizierten Gasturbinenteilen

SJEF MATTHEIJ
RENE VIJGEN
**SULZER TURBO-
MACHINERY SERVICES**

Bei der Wartung von Turbinen ergibt sich jeweils die Gelegenheit, den Zustand von Bauteilen zu beurteilen. In den vergangenen Jahren hat Sulzer Elbar, ein Unternehmen von Sulzer Turbomachinery Services, zahlreiche Bauteile modifiziert. In einem Fall wurden Leitschaufeln der zweiten Stufe einer Gasturbine untersucht und angepasst. Nach 24 000 Betriebsstunden zeigten diese Teile eine höhere Duktilität und weniger Korrosion als das Originalteil.

▶ Bei Komponenten, vor allem solchen, die nicht zum ersten Mal repariert werden, treten beim Reparaturschweißen häufig Probleme auf. Sulzer Elbar untersuchte einige Bauteil-Sätze, die in Intervallen von 24000 Betriebsstunden jeweils repariert worden waren. Eine Analyse der Schaufeln ergab, dass die Ursache für diese Schwierigkeiten in einer nicht mehr rückgängig zu machenden Werkstoffdegeneration lag. Im Weiteren zeigte sich, dass der verwendete Grundwerkstoff, Inconel® 939, bei den auftretenden hohen Temperaturen sehr anfällig für interne Nitridbildung und Oxidation ist. Die dabei entstehenden Aluminiumoxide und Titanitride setzen Kriechfestigkeit und Duktilität deutlich herab, sind aber wegen ihrer hohen Stabilität weder zu reduzieren noch zu entfernen.

Die Entwicklung von Oxiden und Nitriden ist sehr stark temperaturabhängig: Bei einer Werkstofftemperatur von 900–950 °C entsteht in 40 000 Betriebsstunden eine rund

400 µm dicke Zone mit erhöhtem Oxid- und Nitridgehalt, während bei 850 °C nach dem gleichen Zeitraum kaum Spuren davon zu finden sind.

Konstruktion des Originalteils

Die hohl gegossene Leitschaufel aus dem Werkstoff Inconel 939 hat mit rund 1 mm nur eine geringe Wandstärke bei der Austrittskante. Ein Schlibbild (Bild 1) zeigte, dass sowohl an der Außen- als auch an der Innenoberfläche eine tief gehende Gefügeänderung stattgefunden hatte. Diese war begrenzt auf ein großes, halbkreisförmiges Stück an der Austrittskante und reichte etwa über die halbe Länge der Schaufel.

Modifikation der Schaufel

Im vorliegenden Fall wären so umfangreiche Reparaturen notwendig gewesen, dass ein Ersatz des ganzen Schaufelblattes die beste Lösung war. Dabei wurden folgende Anpassungen vorgenommen:

- ▶ Die Wandstärke wurde auf 2,0 mm erhöht.

▶ Die Kühlluftöffnungen wurden durch massive Verbindungselemente getrennt, um den Temperaturengleich zwischen der saug- und der druckseitigen Wand zu verbessern.

▶ Die verfügbare Kühlluftmenge wurde durch eine bessere Verteilung innerhalb der Komponenten effizienter genutzt.

▶ Als Grundwerkstoff wurde nicht Inconel 939, sondern Inconel 738LC gewählt, das eine hohe, langfristige Stabilität aufweist.

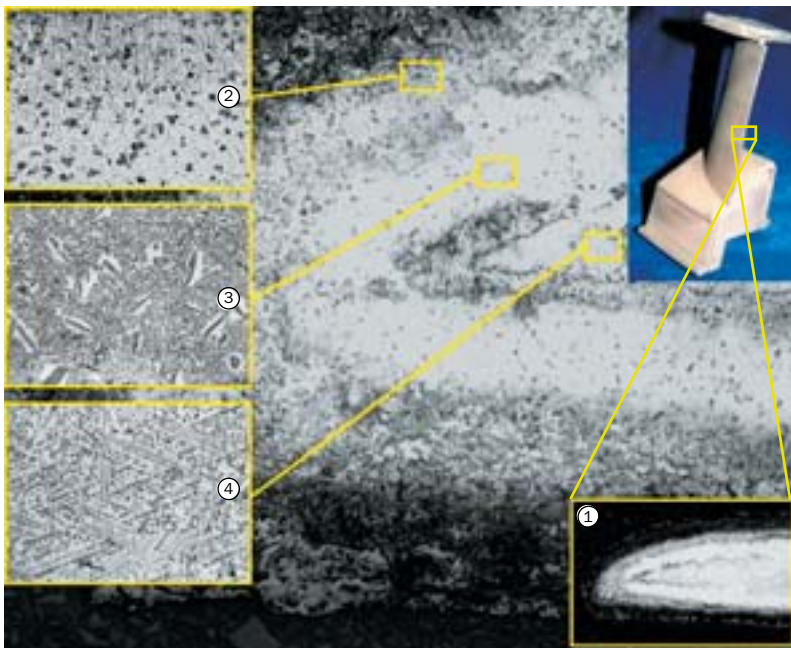
▶ Eine Chrom-Aluminium-Diffusionsschicht wurde aufgetragen, um die Oxidationsbeständigkeit zu verbessern.

Erfolgreicher Betrieb

Weder bei der Inbetriebnahme noch nach 24000 Betriebsstunden waren Abweichungen vom normalen Verhalten festzustellen – Leistung, Wirkungsgrad und Austrittstemperatur blieben konstant. Auch regelmäßige boroskopische Untersuchungen zeigten keinerlei Abweichungen, sodass die nächste Instandhaltung planmäßig durchgeführt werden konnte.

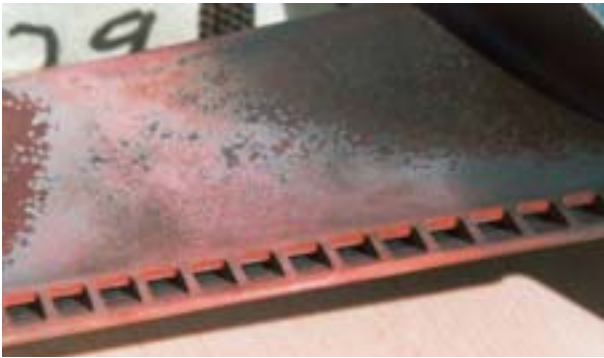
Niedrigere Temperaturen, weniger Oxidation

Die Oberfläche der modifizierten Schaufeln war nach 24.000 Be-



- ① Querschnitt der Saugseite bei der Nennseite
- ② Oxide
- ③ Nitride
- ④ α -Phase

1 Beim Reparieren von Komponenten treten häufig ernsthafte Probleme auf. Erst starke Vergrößerungen bringen irreversible Versprödungen durch Oxide und Nitride zum Vorschein.



2 Nach 24 000 Betriebsstunden zeigten die von Sulzer Elbar modifizierten Turbinenteile eine relativ niedrige Werkstoffdegeneration, was auch durch die ziegelroten Verfärbungen durch Eisenoxid angedeutet wird.

etriebsstunden zu einem großen Teil mit ziegelsteinrotem Eisenoxid bedeckt. Dies weist auf eine mäßige Betriebstemperatur hin, bei der die Werkstoffdegeneration niedrig ist (Bild 2).

In der Mitte der Schaufelblätter waren hellere und dunklere grünliche Verfärbungen sichtbar, die auf höhere Werkstofftemperaturen hinweisen. Im Vergleich zum Originalbauteil zeigten sich an der Austrittskante weniger Anzeichen von hoher Werkstofftemperatur.

Höhere Duktilität

Eine der am deutlichsten verfärb-

ten Schaufeln wurde aufgeschnitten und untersucht. Dabei wurden Art und Tiefe der Oberflächenveränderung und der Werkstoffdegeneration erfasst. Der Werkstoff wurde mit Hilfe von γ' -Phasen und Karbiden beurteilt (Bild 3). Einen generellen Eindruck geben kontinuierliche Ablagerungen dieser Phasen an den Korngrenzen und um die Karbide. Aufgrund solcher Ablagerungen konnte ermittelt werden, dass die Blattmitte und hier vor allem die Ein- und Austrittskante Temperaturen um 925°C erreicht hatten. Da diese Art von Werkstoffdegeneration mit einer Wärmebehandlung behoben werden kann, liegt in diesem Fall kein Schaden im eigentlichen Sinne vor.

Bei der modifizierten Schaufel hatte keine Ausscheidung von σ -Phasen stattgefunden, sodass die Duktilität des Grundwerkstoffes höher war als beim Originalteil.

Oberfläche und Schutzschicht

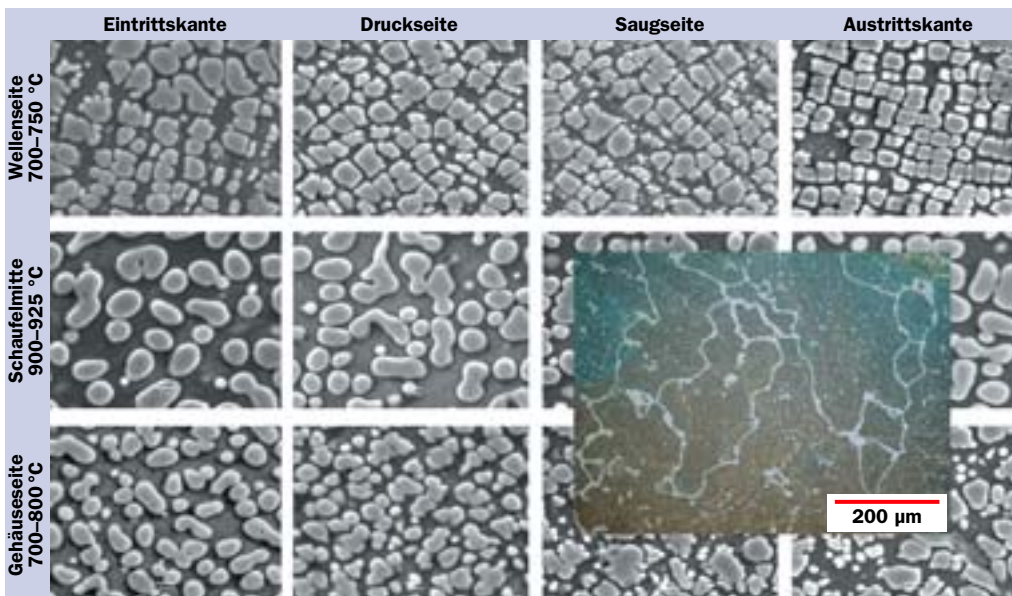
Das Schliffbild zeigt, dass auch nach der Modifikation noch an

verschiedenen Stellen erhöhte Oberflächenveränderung stattfindet, vor allem an der Außenseite. An den nicht oder wenig verfärbten Teilen der Oberfläche war die Schutzschicht noch intakt. Hier konnte der ursprüngliche Zustand des Teils durch Entfernen der alten und Auftragen einer neuen Schicht wiederhergestellt werden.

Verdreifachte Lebensdauer

Mit einer Kombination von verbesserter Kühlluftverteilung, anderem Grundwerkstoff, erhöhter Wandstärke und einer Schutzschicht konnte der Verschleiß der Leitschaufeln der zweiten Stufe stark vermindert und auf kleinere Bereiche des Bauteils beschränkt werden. Das modifizierte Bauteil zeigte nach 24 000 Betriebsstunden nur an einigen wenigen Stellen eine mit der Originalschaufel übereinstimmende negative Veränderung. Der Zustand des Grundwerkstoffes und das geringe Ausmaß der zudem leicht zu behebbenden Schäden lassen die Schlussfolgerung zu, dass die modifizierte Schaufel noch mehrere Male revidiert werden kann. Bei diesem Teil darf deshalb mit einer Lebensdauer von 72 000 oder mehr Betriebsstunden gerechnet werden, was einer Verdreifachung der bisherigen Einsatzzeit entspricht. ◀

3 Der Grundwerkstoff des modifizierten Teils war auch nach 24 000 Betriebsstunden noch stabil und zeigte keine Anzeichen von irreparablen Schäden.



KONTAKT

Sulzer Elbar BV
Rene Vijgen
Spikweien 36
5943 AD Lomm
Niederlande
Telefon +31 (0)77 473 86 66
Telefax +31 (0)77 473 27 85
rene.vijgen@sulzer.com