



VERBESSERUNG DER KAVITATIONSVERCHLEISS-BESTÄNDIGKEIT VON TURBINENWERKSTOFFEN

DIE AUFGABE

Moderne Hochleistungswerkstoffe, die in Anlagen zur Energieerzeugung in Kraftwerken eingesetzt werden, sind bekanntermaßen sehr hohen Temperaturen und Verschleißintensitäten ausgesetzt. So werden die Eintrittskanten von Dampfturbinenschaufeln in der Niedertemperaturstufe der Turbine durch auskondensierende Wassertröpfchen, die mit bis zu Schallgeschwindigkeit auf die Oberflächen treffen, regelrecht abgetragen. Um dennoch eine hohe Lebensdauer der verschleißbelasteten Komponenten zu gewährleisten, müssen neben einer beanspruchungsgerechten Werkstoffauswahl zusätzliche Maßnahmen zum Verschleißschutz getroffen werden. Begleitend zur Optimierung der Werkstoffeigenschaften und Technologieparameter ist eine Prüfung der Verschleißbeständigkeit unerlässlich, um die Bauteileigenschaften an die Belastung unter realen Betriebsbedingungen anzupassen.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS Dresden wurden verschiedene Verschleißschutztechnologien für Hochleistungswerkstoffe aus dem Bereich der Energietechnik entwickelt. Als ein geeignetes Werkzeug hat sich dabei der Hochleistungsdiodenlaser mit Laserleistungen im Multi-Kilowatt-Bereich etabliert.

Grundsätzlich kann in drei verschiedene Technologievarianten unterschieden werden:

- Martensitisches Randschicht-Umwandlungshärten von härtbaren Stählen,
- Laserlösungsglühen einer Randschicht an ausscheidungshärtenden Stählen und nachfolgende Niedertemperatur-ausscheidungshärtung im Ofen ohne Beeinflussung des Grundwerkstoffs,

- Lasergaslegieren (z. B. von Titanwerkstoffen) durch Umschmelzen der Randschicht unter geeigneter Gasatmosphäre.

Für die technische Umsetzung der Härtetechnologien wurden verschiedene Anlagenkonzepte, basierend auf robotergeführten Bearbeitungsoptiken und optional mit bauteilangepassten Schutzgaskammern, entwickelt. Unter Verwendung einer zusätzlichen Dreh-Schwenk-Achse zur Bauteilbewegung können sehr flexibel 3D-Bearbeitungsspuren in die Bauteiloberflächen eingebracht werden. Die Realisierung eines stabilen und qualitätssicheren Laserprozesses erfolgt unter Verwendung einer Temperaturregelung (»LompocPro«) mit einer Wärmebildkamera (»E-FAqS«) zur Erfassung der Temperaturfelder. Für die Prüfung der Kavitationsbeständigkeit der auf diese Weise bearbeiteten Werkstoffe wurde am Fraunhofer IWS Dresden ein Prüfstand entwickelt (siehe Abb. 3). Unter genormten Prüfbedingungen wird die Probenoberfläche mittels Ultraschall-Sonotrode abgetragen. Der Volumenabtrag pro Zeit ergibt eine präzise Aussage zum Verschleißverhalten.

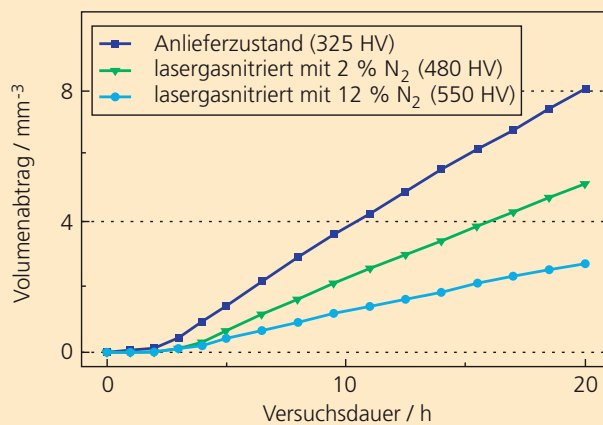
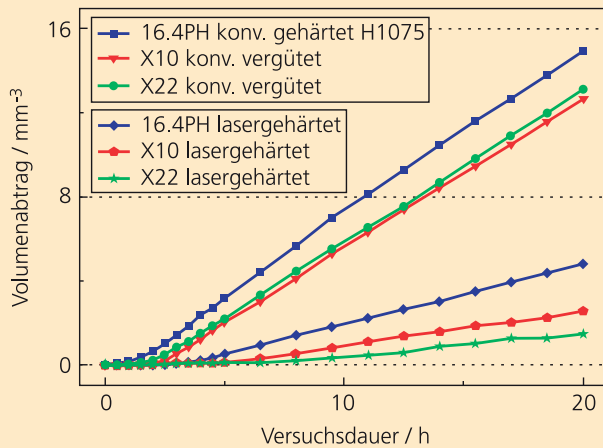
ERGEBNISSE

Die lasergehärteten Oberflächen weisen im Vergleich zu den konventionell bearbeiteten Werkstoffzuständen deutlich höhere Härtewerte auf. Bei den Stählen wird in der Regel die werkstoffspezifische Maximalhärte realisiert, bei Titanwerkstoffen gilt es, einen guten Kompromiss aus hoher Härte und gleichzeitig ausreichend hoher Dauerschwingfestigkeit zu finden.



3

Kavitationsverschleiß an verschiedenen Turbinenschaukelstählen (oben) und Titanwerkstoffen (unten)



Spezifikation des Prüfgerätes:
Ultraschall-Homogenisator VC 501

Prüfbedingungen nach ASTM G 32-92:

Prüfspitze: $\varnothing 15,9 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$
Eintauchtiefe: $12 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$
Amplitude: 100 %
Frequenz: 20 kHz
Destilliertes Wasser: $22 \text{ }^\circ\text{C} + 4 \text{ }^\circ\text{C}$

4

Mittels Laserhärten kann der Volumenabtrag an lasergehärteten Hochleistungsstählen unter Kavitationsverschleißbelastung auf etwa ein Drittel bis ein Achtel abgesenkt werden. Für gängige Titanlegierungen konnte eine Korrelation der Verschleißigenschaften mit dem Stickstoffgehalt in der Gasatmosphäre beim Lasergasnitrieren sowie der resultierenden Oberflächenhärte ermittelt werden. Der Verschleißabtrag lässt sich zum Beispiel bei der Titanlegierung Ti6Al-4V auf bis zu etwa ein Drittel reduzieren. Eine deutlich verlängerte Lebensdauer der laserbehandelten Bauteiloberflächen ist damit zu erwarten, auch wenn der Kavitationsprüfstand die realen Verschleißbedingungen nur modellhaft abbilden kann.

Die Verwendung des Kavitationsprüfstandes stellt eine vergleichsweise kostengünstige Lösung dar und ist neben der Härteprüfung und Gefügeanalyse im metallographischen Schliff eine geeignete Methode zur Bewertung der Verschleißfestigkeit von Werkstoffen und Oberflächen.

- 1 Ausgewählte Turbinenschaukeltypen für die Laserbearbeitung
- 2 Laserhärten einer Turbinenschaukel mit Scanneroptik (Typ »LASSY«)
- 3 Kavitationsverschleißprüfstand

KONTAKT

Dipl.-Phys. Marko Seifert

+49 351 83391-3204

marko.seifert@iws.fraunhofer.de

