

Tropfenerosion und Korrosionsermüdung an einer Turbinenschaufel

1. Allgemeines

In der Endstufe einer Kondensationsdampfturbine kühlt der Dampf soweit ab, dass sich Tropfen bilden. Diese treffen mit hoher Geschwindigkeit auf die Schaufelblätter. Als Folge dieses „Tropfenschlages“ werden die Schaufeln abgezehrt (erodiert).

Leistung der Turbine: 210 MW, Breite der Schaufel: etwa 100 mm,
Wanddicke: max. 7 mm, Stahl: X20Cr13, vergütet.

2. Untersuchungen

Lichtoptische Aufnahmen

Der Anriss liegt auf Seiten der Anströmkante und nimmt knapp die Hälfte des Querschnittes ein. Der Anriss erscheint hier hell, das ergibt sich aus seiner 90° -Lage zur Blattebene. Der Restbruch orientiert sich unter 45° und erscheint deshalb dunkel; hier wurde der Querschnitt abgeschert. Auf einer Breite etwa 20 mm wurde der Anströmbereich aufgeraut (Bild 1).



Bild 1:

Übersichtsaufnahme,
Anriss links (hell),
Restbruch dunkel,
Erosionszone ganz
links

Der Anriss ist vorwiegend am intakten Schaufelrücken gestartet; anteilig geht der Riss auch von der Abzehrungszone aus (Bild 2).

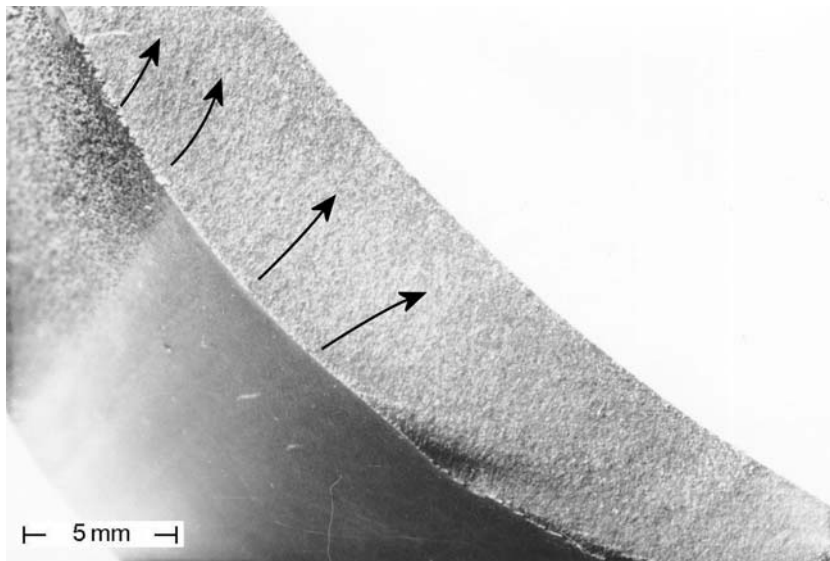


Bild 2:
Riss-Start
teilweise an der
Abzehrungszone
(Ausschnitt aus
Bild 1, links)

Der direkte Blick auf die Anströmkante offenbart, dass die Aufrauung ein beträchtliches Ausmaß angenommen hat (Bild 3).

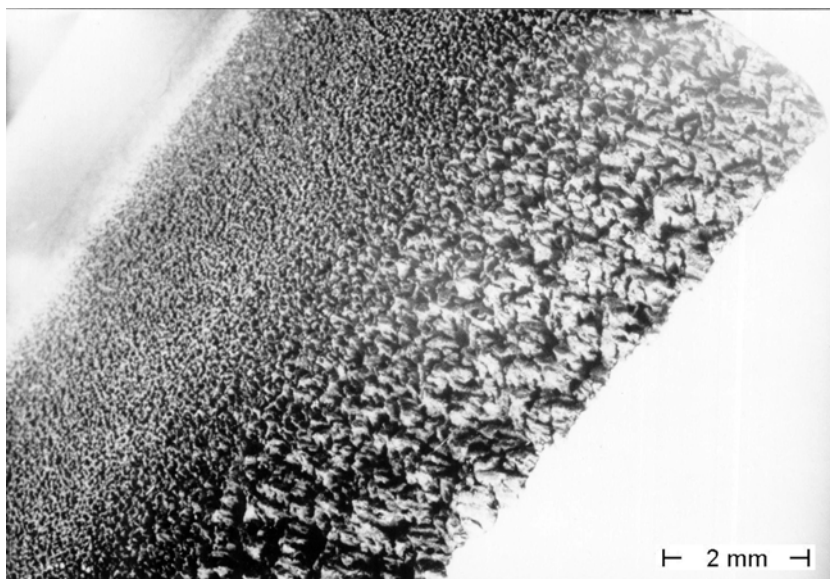


Bild 3:
Anströmbereich
stark
aufgelockert
(Ausschnitt aus
Bild 2)

Aufnahmen mit dem REM

Ein lokaler Riss-Start, welcher an der Abtragszone ansetzt, ist in Bild 4 zu sehen.

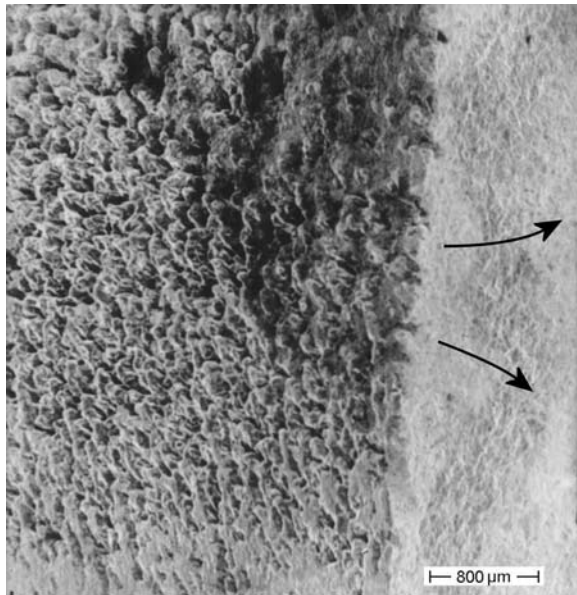


Bild 4:
lokaler Riss-Start an
Aufrauungsbereich

Der Abtrag geht punktuell stark in die Tiefe. Bei höherer Vergrößerung werden Strukturen sichtbar, welche darauf verweisen, dass Bruchvorgänge (Ermüdung) stattgefunden haben, siehe Bild 5.

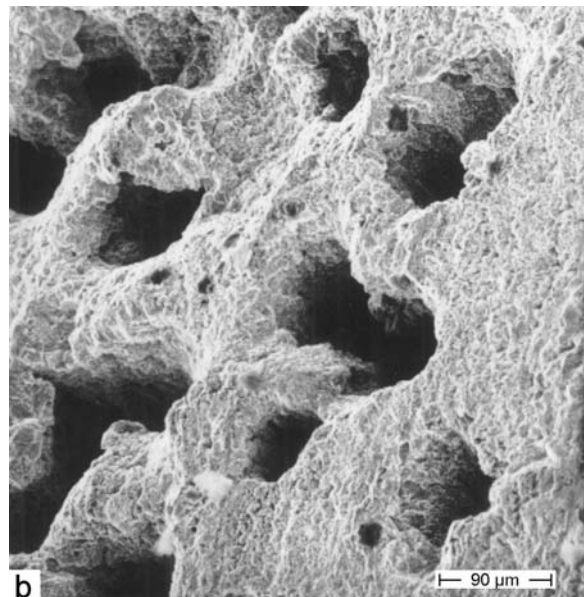
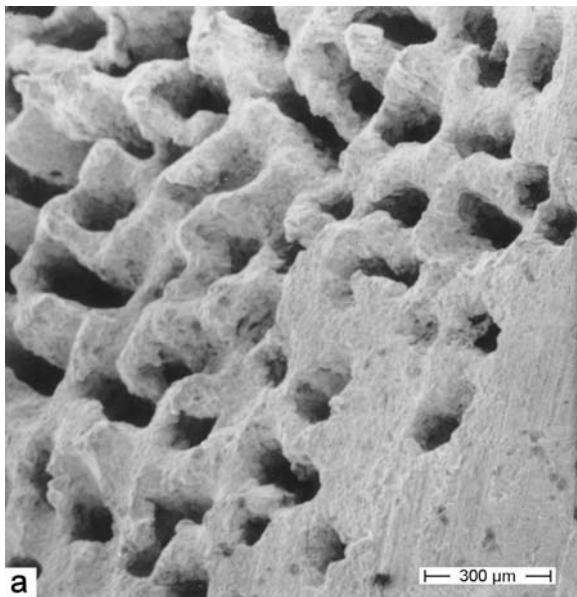


Bild 5 (a und b): Der Abtrag hat tiefe Löcher eingearbeitet (Vergrößerungsfolge)

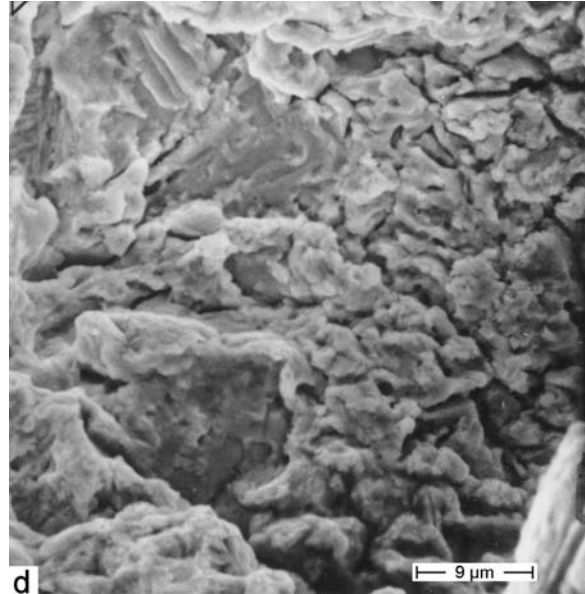
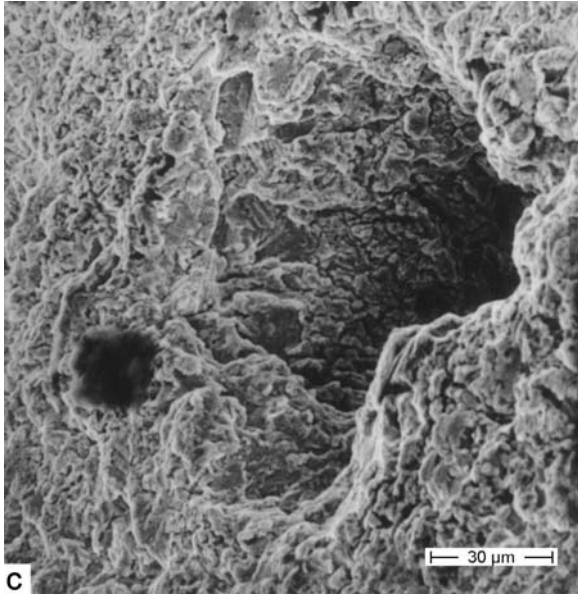


Bild 5 (c und d): Wand eines heraus gestrahlten Loches mit Bruchstrukturen (Fortsetzung zur vorherigen Seite)

Betrachtet wird der Risseinlauf auf der Bruchfläche. Es finden sich facettenartige Bruchbahnen. Andeutungsweise wird dort eine Querstreifung sichtbar (Bild 6).

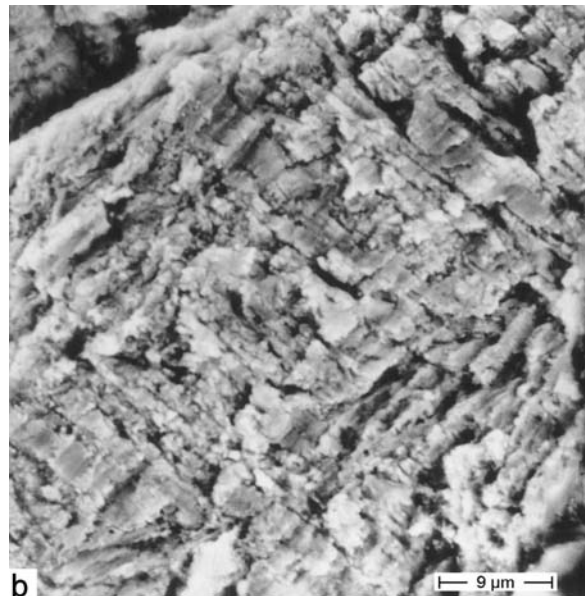


Bild 6 (a und b): Risseinlauf, transkristalline Bruchbahnen mit Andeutung einer Querstreifung

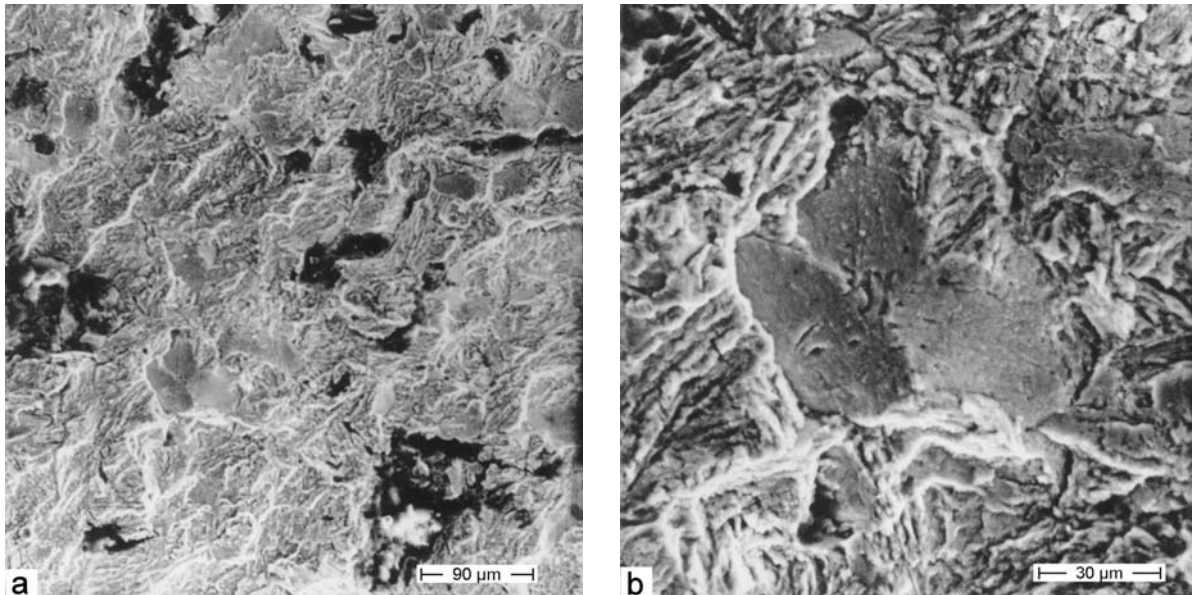


Bild 7 (a und b): tiefer im Riss wurden inselartige Korngrenzflächen frei gelegt

3. Diskussion

Die Anströmkannte der Schaufel wurde nadelstichartig abgezehrt. Es liegt somit das Erscheinungsbild des Tropfenschlages vor (vgl. [1]). Obwohl außerhalb der Zone der maximalen Belastung gelegen, trugen diese Löcher mit zur Rissbildung bei.

Die Rissausbreitung verlief teilweise interkristallin, wobei eine Zone betroffen war, die in einer gewissen Tiefen lag. Der Werkstoff war vergütet worden. Als Folge erfahren die Korngrenzen des ehemaligen Austenits eine gewisse Markierung. Diese Primärkorngrenzen werden durch den Einfluss des Wasserstoffes freigelegt, was wiederum auf eine korrosive Belastung schließen lässt. Die Rissausbreitung wird beschleunigt. Für den Riss-Start war allerdings die Kerbung der Oberfläche maßgebend.

Es besteht eine Verwandtschaft zwischen Tropfenschlag und Kavitation. Bei letzterer werden die Tropfen dadurch gebildet, dass Dampfblasen zusammenbrechen.

Der Tropfenerosion lässt sich dadurch entgegenwirken, dass man die Anströmkannte härtet. In der DDR nutzte man dazu den Laserstrahl.

4. Zusammenfassung

Die Anströmkannte wurde durch Tropfenschlag tiefgreifend aufgeraut und die Risseinleitung damit gefördert. Als Folge korrosiver Einflüsse (Wasserstoff) folgte der Riss teilweise den Korngrenzen, wodurch die Rissausbreitung beschleunigt wurde.

Literatur

- [1] Allianz-Handbuch der Schadenverhütung. 3. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf 1984, S. 305/306

Martin Möser, 05. November 2012

Zu Brüchen von Turbinen- und Verdichterschaufeln siehe in dieser Homepage auch die Ausarbeitungen

- Neuere Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Fraktographie
- Ermüdung in wasserstoffhaltiger Umgebung
- Bruch einer Laufradschaufel in einem Axialturboverdichter für Luft