

Auf die Probe gestellt

Verbesserte Prüfmethoden für Kraftwerksbauteile sichern Stromproduktion

Kritische Kraftwerksbauteile werden künftig deutlich mehr beansprucht, das bilden die derzeitigen Prüfmethoden und Regelwerke nur unzureichend ab. Die weitere Entwicklung von Online-Monitoring-Techniken und 3D-FEM-Methoden soll dazu beitragen, den Kraftwerksbetrieb abzusichern. Das soll Lastwechsel, höhere Lastgradienten und eine geringere Mindestlast ermöglichen.

Ansgar Kranz

Erneuerbare Energien sorgen für eine volatile Stromproduktion. Für die Betreiber von Kraftwerken geht der Umschwung in der Energiepolitik mit Konsequenzen für ihre Anlagen einher: Durch die unregelmäßige Einspeisung der erneuerbaren Energien sind die konventionellen Kraftwerke großen Belastungsschwankungen ausgesetzt. Ursprünglich waren insbesondere die Braunkohlekraftwerke darauf aus-

gelegt, eine relativ gleichbleibende Menge an Strom zu erzeugen. Doch die geänderten Marktbedingungen zwingen die für höchste Effizienz bei Grundlast optimierten thermischen Kraftwerke nun auch dazu, die benötigte Regelenergie bereitzustellen.

Das Ziel für die Bestandsanlagen lautet also: Der Kraftwerkspark soll mehr Lastwechsel, höhere Lastgradienten und eine geringere Mindestlast ermöglichen. Die

Umsetzung dieses Ziels führt zu einer neuen Beanspruchungssituation für Werkstoffe und Kraftwerksbauteile.

Neue Beanspruchungssituation für Werkstoffe

Das „klassische“ Design von Kraftwerksbauteilen, die bei hohen Temperaturen und Drücken im Grundlastbetrieb betrieben werden, berücksichtigt eine sogenannte



Kriechverformung als dominierenden Schädigungsmechanismus. Dabei steht „Kriechen“ für eine zeit- und temperaturabhängige plastische Dehnung des Werkstoffs sowie der Bauteile unter einer konstanten Last. Durch die Dimensionierung der Bauteile nach den gültigen Regelwerken wird ein sicherer Betrieb für einen Zeitraum von circa 25 Jahren angestrebt.

Der Einfluss der in der Vergangenheit durchgeführten „langsamen“ An- und Abfahrten und „sanften“ Lastwechsel führte bei einer bestimmungsgemäßen Fahrweise zu keinem signifikanten Schädigungsfortschritt, sodass die wiederkehrenden Überprüfungen dieser Kraftwerksbauteile meist das Ziel hatten, den Schädigungsfortschritt durch „Kriechen“ zu bewerten.

Das jetzt bevorzugte schnelle An- und Abfahren und der häufige Betrieb bei wechselnden Lasten führen zu einer weiteren Beanspruchungsart: der zyklischen Beanspruchung, auch als „Ermüdung“ bezeichnet.

Nachweis von Kriech- und Ermüdungsschädigungen

Bei der Kriechschädigung entstehen mikroskopisch kleine Hohlräume im Werkstoff, sogenannte Poren, deren maximale Anzahl meist an der Bauteiloberfläche auftritt. In den periodischen Stillständen der Kraftwerksanlagen werden Untersuchungen mit dem Gefügeabdruckverfahren, auch Replica genannt, durchgeführt. Die Poren werden dabei mikroskopisch in Anzahl und Größe nachgewiesen.

Eine weitere Untersuchungsmethode ist die Messung der Kriechdehnung. Hierzu werden im einfachsten Fall an den Komponenten angebrachte Messmarken ausgewertet und die Kriechdehnung als plastische Verformung bestimmt. Besonders kritische Komponenten enthalten Online-Dehnungssensoren. Diese messen auch während des Betriebs bei Temperaturen bis 620°C den Dehnungsfortschritt durch Kriechen und weisen auf ein nicht geplantes Versagen zwischen zwei Stillständen hin. Die Restlebensdauer der eingesetzten Bauteile konnte so in der Vergangenheit durch den Abgleich der Ergebnisse aus den Gefügeabdrücken sowie aus den Dehnungsmessungen bestimmt werden.

Bei einer Ermüdungsschädigung dominieren jedoch Risse das Erscheinungsbild. Sie können an den äußeren Oberflächen

des Bauteils entstehen, insbesondere an Schweißnähten. Sie können aber auch an den inneren Oberflächen der Druckkomponenten sowie im Inneren des Materials vorkommen. Die Überlagerung dieser beiden Schädigungsmechanismen führt zu einer unklaren Situation: Es gibt Anzeichen aus der betrieblichen Praxis, dass bei überlagerter Beanspruchung mit einer drastisch kürzeren Lebensdauer gerechnet werden muss. Dies stellt neue Herausforderungen an die Mess- und Prüftechnik. Auch die derzeit gültigen Regelwerke bilden die Überlagerung von Kriech- und Ermüdungsschädigung, die sogenannte „Kriechermüdungswechselwirkung“, nur unzureichend ab.

Es sind also Anstrengungen zu unternehmen, um zum einen die Mechanismen der Kriechermüdungswechselwirkung zu verstehen und zum anderen verbesserte Prüfmethode zur Lebensdauerbestimmung zu entwickeln. Hierzu wurden beispielsweise im Rahmen des EU-geförderten Forschungsprojekts Macplus neue Erkenntnisse zur Überlagerung der beiden Schädigungsmechanismen erzielt. In einem Versuchsstand wurde ein Bauteil bei einer Temperatur von 620°C und einem Druck von 70 bar viermal pro Tag „schnell“ an- und abgefahren, also das Bauteil schnell auf eine Temperatur unter 200°C abgekühlt und dabei druckentlastet. Das Bauteil wurde mit einer Vielzahl von neuartigen Messsensoren überwacht.

So wurde mittels kapazitiver Dehnungsmesstechnik der plastische Dehnungsfortschritt durch Kriechen und mittels „Potentialsonden“ der Rissbeginn durch die An- und Abfahrten überwacht. Es zeigte sich, dass nach nur circa 380 Zyklen ein erster Anriss entstand.

Auf Basis dieser Erkenntnisse werden zurzeit weitere Projekte initiiert. So wird in der Initiative „Berechnungsverfahren“ des Kraftwerksverbands VGB die Weiterentwicklung der Regelwerke für realistischere Auslegungsberechnungen angestrebt. Des Weiteren wird die kapazitive Hochtemperatur-Dehnungsmesstechnik weiterentwickelt, um die Verformung durch An- und Abfahrten künftig mit in die Bewertung einzubeziehen.

Weitere Projekte sollen sich mit neuartigen Laborversuchen zur Qualifizierung von Werkstoffen und zu verbesserten Schweißmethoden befassen, um die Bau-

teile insgesamt „resistenter“ gegenüber der Kriechermüdungswechselwirkung gestalten zu können.

Strategien für den künftigen sicheren Betrieb

Die bisherige, sequenzielle Art der Komponentenprüfung in Stillständen wird zunehmend um Online-Messsysteme ergänzt werden, um die neuen, verbesserten Auslegungsberechnungen mit Daten aus dem Betrieb zu „füttern“. Die Messung der Dampftemperatur und des Drucks in den Komponenten reicht hierzu nicht mehr aus. Vielmehr müssen die Temperaturgradienten über der Wand und die Dehnungstransienten bei An- und Abfahrten erfasst und ausgewertet werden.

In besonderen Fällen, zum Beispiel bei sehr kritischen oder schadensanfälligen Konstruktionen, sind die tatsächlichen Kräfte und Momente in der Nähe dieser Bauteile online zu erfassen. Die Bewertung wird dann meist nicht mehr mit Berechnungsformeln erfolgen, sondern mit komplexen 3D-Modellen und der Finite-Elemente-Methode (FEM).

Eine weitere Strategie für den künftigen sicheren Betrieb könnte den partiellen Austausch von kritischen dickwandigen Bauteilen durch Bauteile mit geringeren Wandstärken beinhalten. Dies wäre vorteilhaft für eine geringere Ermüdungsschädigung, aber nachteilig im Sinne der Kriechschädigung. Zur Kompensation dieser letzteren Eigenschaft wären verbesserte Werkstoffe einzusetzen, was derzeit möglich erscheint. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTOR

Dr.-Ing. Ansgar Kranz, geb. 1968, ist Experte für Werkstofftechnik, Messtechnik und zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Er arbeitet seit 2002 als Prokurist und Stützpunktleiter des Labors bei der TÜV Rheinland Werkstoffprüfung GmbH, Köln.

KONTAKT

Dr.-Ing. Ansgar Kranz
T 0221 806-2383
ansgar.kranz@de.tuev.com

QZ-ARCHIV

Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/1433938