

Patentanspruch:

Verfahren zur Bestimmung der Restlebensdauer eines Hochtemperaturbeanspruchten Bauteils, insbesondere eines Kraftwerksbauteils, **gekennzeichnet dadurch**, daß in Abhängigkeit von einem theoretisch berechneten Erschöpfungsgrad des Bauteils, seines zeitlichen Verlaufes und des momentanen Anstieges eine Werkstoffuntersuchung durchgeführt wird, wobei zeitlich und/oder zeitgerafft Nullproben oder betriebsbeanspruchte Proben des Bauteils unter Registrierung und Akkumulierung des Erschöpfungsgrades mit dem vorher am Bauteil erfaßten Belastungskollektiv bis zu einer für den Weiterbetrieb des Bauteils nicht mehr zulässigen Werkstoffschädigung weiter beansprucht werden und die Werkstoffschädigung durch eine den Werkstoffzustand beschreibende Menge von bekannten Kennwerten einerseits und einem dimensionslosen äquivalenten Wert des maximal zulässigen Erschöpfungsgrades ($\epsilon_{\text{max zul}}$) als direktes Zeitmaß und einzigen Kontrollwert andererseits für die noch zulässige Betriebsdauer ermittelt wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Restlebensdauerbestimmung eines Hochtemperaturbeanspruchten Bauteils, insbesondere eines Kraftwerksbauteils.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Hochtemperaturbeanspruchte Kraftwerksbauteile werden für eine theoretische Lebensdauer von 10^5 bzw. $2 \cdot 10^5$ Betriebsstunden ausgelegt, wobei konstante Temperatur und konstanter Druck angenommen werden. Während des Betriebes werden die Bauteile dann jedoch meist anders beansprucht, so daß sich sowohl höhere als auch niedrigere Betriebsdauern, als theoretisch angenommen, ergeben.

Sowohl zur Erreichung einer maximalen Betriebszeit als auch zur Gewährleistung der Betriebssicherheit müssen zur Kontrolle des tatsächlichen Bauteil- und Werkstoffzustandes gemäß den heute gültigen technischen Vorschriften und Regeln (TGL 190-110, Mitteilung 10, Mitteilung 22, TRD 508 usw.) in bekannten Zyklen Bauteil- und Werkstoffprüfungen vorgenommen werden, wobei keine zeit- und ortsabhängige Bauteilkonkretisierung vorgegeben ist. Die richtige Wahl der zu prüfenden Bauteile ist so nicht gesichert.

In den vergangenen Jahren wurden deshalb verschiedene Verfahren zur Beurteilung der Bauteilbelastung und Schädigungserwartung entwickelt.

Grundlage dieser Verfahren ist die Gewinnung eines lebensdauerverbrauchsrelevanten Kriteriums aus Betriebsdaten, zum Beispiel die mittlere statistische Betriebstemperatur und der Erschöpfungsgrad.

Je nach einsetzbarer Gerätetechnik können dazu elektronische Parameterklassifizierungsgeräte oder Prozeßrechner benutzt werden.

Im letzteren Fall können durch den Rechner sofort die Erschöpfungsgrade der Bauteile berechnet und ausgegeben werden sowie zusätzlich operative Überwachungsfunktionen zur Einhaltung einer lebensdauerergerechten Fahrweise übernommen werden.

Nachteilig ist bei allen diesen Verfahren jedoch, daß der so berechnete Erschöpfungsgrad noch kein Maß für die tatsächliche Werkstoffschädigung ist und damit auch die tatsächliche Restlebensdauer mit der erforderlichen Genauigkeit nicht vorhersagbar. Notwendige Instandhaltungsmaßnahmen lassen sich zeitlich nicht genau fixieren und in die vorhandenen Stillstandspläne einordnen. Physikalische Ursache der Nichtübereinstimmung von theoretisch berechneter Erschöpfung und tatsächlicher Werkstoffschädigung sind u. a. Streuungen von Werkstoffkennwerten, unterschiedliche Werkstoffanfangszustände durch Herstellung und Montage und verschiedene Vereinfachungen in der Spannungs- und Erschöpfungsgradberechnung. Analog können jedoch auch allein aus Werkstoffuntersuchungen keine sicheren Aussagen zur noch verbleibenden Betriebszeit eines Bauteils für vorliegende oder zu ändernde Betriebsbedingungen abgeleitet werden.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, notwendige Prüf-, Überwachungs- und Instandhaltungszeitpunkte und einzuleitende Maßnahmen so zu bestimmen, daß sie rechtzeitig in die Stillstände der Anlage einordenbar sind, die zu überwachenden Umfänge durch zeitliche und örtliche Staffelung beherrschbar und ein vorausschauender Wechsel nach Befund bei Einhaltung der Betriebssicherheit gewährleistet werden kann.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die tatsächliche Restlebensdauer eines Bauteils auf der Grundlage einer theoretischen Erschöpfungsgradverfolgung mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

Dies wird dadurch erreicht, daß abhängig vom theoretisch berechneten Erschöpfungsgrad eines Bauteils, seines zeitlichen

Verlaufes und des momentanen Anstieges ohne erste Werkstoffuntersuchung durchgeführt wird und erfindungsgemäß zeitoch und/oder zeitgerafft Nullproben oder betriebsbeanspruchte Proben des Bauteils unter Registrierung und Akkumulation des Erschöpfungsgradverbrauches mit dem vorher am Bauteil erfaßten Belastungskollektiv bis zu einer für den Weiterbetrieb des Bauteils nicht mehr zulässigen Werkstoffschädigung beansprucht werden und die Werkstoffschädigung durch eine den Werkstoffzustand beschreibende Menge von Kennwerten und Vorläufen einerseits und einem äquivalenten Wert des maximal zulässigen Erschöpfungsgrades ($\epsilon_{\max \text{ zul}}$) andererseits als direktes Zeitmaß für die noch zulässige Betriebsdauer dargestellt wird. Der max. zul. Erschöpfungsgrad $\epsilon_{\max \text{ zul}}$ ist damit ein normierter, dimensionsloser bauteil- und beanspruchungsbezogener Werkstoffkennwert.

Ausführungsbeispiel

An einem Ausführungsbeispiel wird das Verfahren näher erläutert. Die Zeichnung zeigt die Erschöpfungsgradverläufe von überwachten Bauteilen eines Dampfkessels.

Die zu überwachenden Bauteile eines Dampfkessels sind folgende:

Zwischenüberhitzer ZÜ II
Mischrohr-Austrittssammler MR III-AS
Hochdruck-Austrittssammler HD IV-AS
Hochdruck-Austrittssammler HD II-AS

Es ist festgelegt, die erste Bauteilprüfung bei Erreichen der rechnerischen Erschöpfung $\epsilon_{\text{prüf 1}} = 0,5-0,6$ durchzuführen. (Die rechnerische Erschöpfung ergibt sich aus dem angewendeten Verfahren zur Betriebs- und Lebensdauerüberwachung.)

Das erste und zunächst einzigste zu prüfende Bauteil ist die Heizfläche des Zwischenüberhitzers ZÜ II.

Die Prüfung muß zwischen 62000 und 72000h erfolgen.

Entsprechend den zur Verfügung stehenden Stillständen in diesem Zeitraum kann die Prüfung in den Zeitraum der Kurzinstandsetzung KI oder der mittelfristigen Instandsetzung MI vor der Generalinstandsetzung GI 2 eingeordnet werden. Die bis dahin absolvierte Betriebszeit entspricht etwa $1/3$ der theoretischen Lebensdauer. Da es sich um eine Heizfläche handelt, werden folgende Kontrollen durchgeführt:

- Oberflächensichtprüfungen
- Halterungsprüfungen
- Aufweitung
- eventuell Härte und Metallografie vor Ort.

Da keine Fehler festgestellt werden, wird aufgrund des bisher stetigen Kurvenverlaufes festgelegt, den Zwischenüberhitzer ZÜ II bei $\epsilon_{\text{prüf 2}} = 0,9-1,0$ einer Wiederholungsprüfung einschließlich komplexer Werkstoffuntersuchung zu unterziehen.

Die Extrapolation der ZÜ II-Erschöpfungsgradkurve (gestrichelt) auf $\epsilon_{\text{prüf 2}} = 0,9-1,0$ ergibt als Prüfzeitraum 93000 bis 101000 Betriebsstunden. Prüfung und komplexe Werkstoffuntersuchung sind langfristig in die mittelfristige Instandsetzung MI und/oder Kurzinstandsetzung KI bei 94000h bzw. 100000h einzuordnen. In dem selben Zeitraum ist auch die Erstprüfung des Mischrohr-Austrittssammlers MR III-AS durchzuführen.

Sie ist ebenfalls einzuordnen und vorzubereiten.

Ist der Kessel in den betreffenden Stillstand abgefahren, werden gemäß den Festlegungen aus der Erstprüfung beim Zwischenüberhitzer ZÜ II aus den Kontrollabschnitten der Heizflächenrohre Proben gefertigt und mit dem bisher registrierten Belastungskollektiv, das bei den Heizflächenrohren ausschließlich Zeitstandsbeanspruchung ausweist, zeitgerafft weiterbelastet.

Das Belastungskollektiv wird dabei z. B. wieder aus den automatisch aufgezeichneten Klassifizierungsmatrizen der Temperatur-Zeit-Klassenhäufigkeit zusammengestellt und solange anteilig oder vollständig auf die Proben aufgebracht, bis in den Proben eine für den Weiterbetrieb des Zwischenüberhitzer ZÜ II (Werkstoff z. B. 13 CrMo 4.4) unzulässige Werkstoffschädigung eintritt. Diese ist durch die Menge von Eigenschaften und Kennwerten

1. Gefügestand (Härte, Klasse)
2. Karbidmenge, Karbidgröße, Karbidverteilung an Korngrenzen und im Korn
3. Porendichte, Porengröße und Porenverteilung
4. Zeitabhängiges Porenwachstum über die Wanddicke
5. Dehnung.

eindeutig gekennzeichnet.

Der Erschöpfungsgradzuwachs wird an den zeitgerafft weiterbeanspruchten Proben während der Versuchsführung (wie im Bauteil auch) laufend registriert und man erhält so eine den o. g. komplexen Werkstoffschädigungszustand äquivalent ausdrückende Werkstoff- und Beanspruchungskennzahl, die maximal zulässige Grenzerschöpfung $\epsilon_{\max \text{ zul}}$. Sie ergibt sich beispielsweise für den Hochdruck-Austrittssammler HD II-AS zu $\epsilon_{\max \text{ zul}} = 1,3$.

Die nunmehr vorzunehmende Extrapolation in der Zwischenüberhitzer-ZÜ II-Erschöpfungsgradkurve (Strich-Punkt-Linie) auf diesen Grenzerschöpfungszustand ergibt als Grenzlebensdauer und Wechseltermin 127000 Betriebsstunden.

Gemäß Stillstandsplan ist der Wechsel der Heizfläche zur Generalinstandsetzung GI 3 vorausschauend einzuplanen.

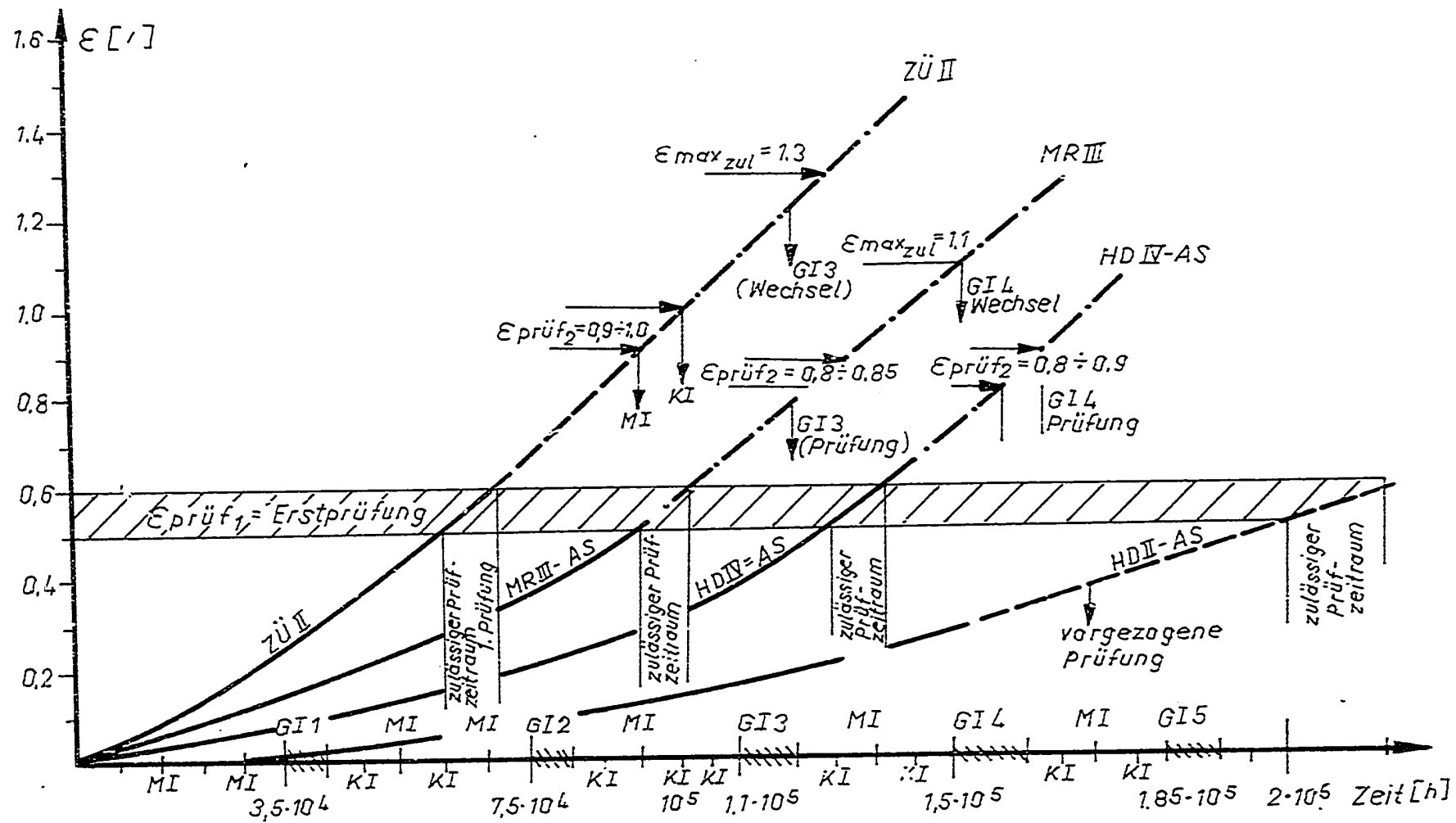
Die Prüfung des Mischrohr-Austrittssammlers MR III-AS als zeitstand- und wechselbeanspruchtes Bauteil beschränkt sich in der Erstprüfung (MI- oder KI-Stillstand bei 100000h) auf zerstörungsfreie Anrißuntersuchung an Außen- und Innenflächen, Schweißnähte und Halterungen. Die Prüfung hat keinen Befund ergeben, aber aufgrund des steiler werdenden Anstieges des Erschöpfungsgradverlaufes des Mischrohr-Austrittssammlers MR III-AS (die Betriebsanalyse und die Erschöpfungsgradübersicht zeigen einen zunehmenden Anteil an Wechselermüdung infolge instationärer Betriebweise) wird als nächstes Prüfkriterium $\epsilon_{\text{prüf 2}} = 0,8-0,85$ festgelegt.

Die Kurvenextrapolation ergibt als Durchführungstermin ca. 123000 Betriebsstunden. Die Untersuchung muß in den Zeitraum der Generalinstandsetzung GI 3 (ca. 115000-120000h) eingeordnet werden. Zur Bestimmung der Grenzerschöpfung $\epsilon_{\max \text{ zul}}$ für den Hochdruck-Austrittssammler HD-III-AS können jedoch aus dem Sammler keine Proben entnommen werden. Das Verhalten des Werkstoffes muß mittels forciertem Zeitstand- und/oder Wechselversuch aus Nullproben eingeschätzt werden. Die Laborversuche müssen je nach möglicher Zeittraffung rechtzeitig begonnen werden, da das bisher abgelaufene Belastungskollektiv des Bauteils in der Probe nachgefahren werden muß. Zur zweiten Prüfung bei $\epsilon_{\text{prüf}2} = 0,8-0,85$ soll die Probe mindestens ebenfalls $\epsilon = 0,8-0,85$ absolviert haben. Im Ergebnis der Bauteilprüfung und der Weiterbelastung der Proben entsprechend dem aufgezeichneten Belastungskollektiv ergibt sich der zum Grenzschädigungszustand zugehörige Grenzerschöpfungsgrad für den Hochdruck-Austrittssammler HD III-AS zu $\epsilon_{\max \text{ zul}} = 1,1$.

Als langfristig einzuplanender Wechseltermin ergibt sich aus der Extrapolation der Hochdruck-Austrittssammler HD III-AS-Erschöpfungsgradkurve auf $\epsilon_{\max \text{ zul}} = 1,1$ die Generalinstandsetzung GI 4 (ca. 150000h) als erforderlicher Wechseltermin. Zwischen 126000 und 136000h erreicht der Hochdruck-Austrittssammler HD IV-AS den Erstprüfungszustand $\epsilon_{\text{prüf}1} = 0,5-0,6$. Die für den dickwandigen Sammler durchzuführende zerstörungsfreie Prüfung (analog Mischrohr-Austrittssammler MR III-AS bei ca. 100000h) ist in die vor der Generalinstandsetzung GI 4 liegende Kurz- oder mittelfristige Instandsetzung KI; MI bei 126000h oder 132000h einzuordnen. Im Ergebnis dieser Prüfung wird als Wiederholungsprüfungszustand $\epsilon_{\text{prüf}2} = 0,8-0,9$ festgelegt. Die Kurvenextrapolation zur Durchführung dieser Prüfungen einschließlich Werkstoffuntersuchung führt in den Generalinstandsetzung-GI4-Stillstand bei ca. 150000h. Da die Bestimmung des Grenzzustandes wieder an Nullproben durchzuführen ist, ist wie beim Mischrohr-Austrittssammler MR III-AS rechtzeitig zu beginnen.

Der Erschöpfungsgradanstieg des Hochdruck-Austrittssammlers HD II-AS ist so gering, daß die Erstprüfung theoretisch erst bei 200000h erfolgen müßte. Stichprobenuntersuchungen zu vorherigen Zeitpunkten, z.B. der mittelfristigen Instandsetzung MI bei 170000h, sind zweckmäßig.

Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, daß sich durch die Synchronisierung von theoretischer Erschöpfung ϵ_{th} als dimensionslose Beanspruchungskennzahl und tatsächlicher Erschöpfung ϵ_{tal} als dimensionslose Werkstoffschädigungskennzahl für n-Bauteile einer Anlage eine zeitlich und örtlich differenzierte, schadenserwartungsabhängige, weitestgehend rechnerisch kontrollierbare Werkstoff- und Lebensdauerüberwachung einführen läßt, wodurch der Prüfaufwand erheblich gesenkt werden kann und ein erforderlich werdender Bauteilwechsel mit hoher Wahrscheinlichkeit terminisiert und vorausschauend eingeordnet werden kann.



259768

-4-