

(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 283 059 A7**



Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz
der DDR vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 N 3/18

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD G 01 N / 316 389 6

(22) 03.06.88

(45) 03.10.90

(71) siehe (73)

(72) Melzer, Bernd, Dr.-Ing., DD

(73) VEB Bergmann-Borsig – Stammbetrieb des Kombines Kraftwerksanlagenbau, Hans-Beimler-Straße 91/94,
Berlin, 1017, DD

(54) Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von Bauteilen

(55) Lebensdauerermittlung; Zeitstandfestigkeit; warmfeste Bauteile; Rohrleitungen; Rohrbögen; Formstücke;
Gefüge; Porendichte; Härte; Koerzitivfeldstärke

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von warmfesten Bauteilen, insbesondere von Rohrleitungen, Rohrbögen oder Formstücken in Kraftwerksanlagen mittels abulanter Prüfverfahren. Die Erfindung ist gekennzeichnet durch ein Verfahren, bei dem unter Zugrundelegung werkstoffspezifischer Voruntersuchung Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke ermittelt und ein sogenannter Zeitstandfaktor Z gebildet wird, der in die Berechnung der Lebensdauer einbezogen wird.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von warmfesten Bauteilen, insbesondere von Rohrleitungen, Rohrbögen oder Formstücken in Kraftwerksanlagen mittels ambulanter Prüfverfahren, **dadurch gekennzeichnet**, daß werkstoffspezifische Voruntersuchungen durchgeführt und Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke und ihr Zusammenhang zur Zeitstandfestigkeit ermittelt werden, an den höchst beanspruchten Stellen des eingebauten Bauteiles ambulante Prüfungen vorgenommen und ausgewertet werden, wobei unter Zurundelegung der bei den werkstoffspezifischen Voruntersuchungen festgelegten Kennwertbereiche eine Klassifizierung der ambulant ermittelten Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke durch eine Bewertungsziffer B erfolgt, aus mindestens drei so ermittelten Bewertungsziffern B durch Mittelwertbildung eine durchschnittliche Bewertungsziffer B_d für die ambulant ermittelten Kenngrößen gebildet wird und mittels der durchschnittlichen Bewertungsziffer B_d ein sogenannter Zeitstandsfaktor Z mittels der Beziehung

$$Z = \frac{2}{15} \cdot B_d + \frac{2}{3}$$

ermittelt und in die Berechnung der Lebensdauer einbezogen wird.

2. Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von warmfesten Bauteilen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als ambulante Prüfungen die metallgrafische Porendichtebestimmung, magnetische Koerzitivfeldstärkemessung, Härtemessung und Gefügebestimmung angewendet werden.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von warmfesten Bauteilen, insbesondere von Rohrleitungen, Rohrbögen oder Formstücken in Kraftwerksanlagen mittels ambulanter Prüfverfahren.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Unter den zahlreichen Eigenschaften warmfester Werkstoffe nimmt die Zeitstandfestigkeit für die Berechnung der Lebensdauer eine führende Rolle ein. Für die Festigkeitsberechnungen von Bauteilen, die Beanspruchungen bei höheren Temperaturen unterworfen sind, geht man von Kennwerten aus, die aus den Ergebnissen möglichst zahlreicher, der vorgegebenen Lebensdauer der Bauteile angepaßter Zeitstandversuche abgeleitet und in Standards als Kennwerte festgelegt werden. Die dafür erforderlichen Prüfzeiten richten sich nach dem Verwendungszweck. Für Bauteile in Kraftwerksanlagen kommen fast ausschließlich Betriebszeiten zwischen 10000 bis etwa 200000 Stunden in Frage. Es ist jedoch nur in wenigen Fällen möglich, derartige lange Prüfzeiten rechtzeitig und in ausreichendem Maße zu verwirklichen. Man begnügt sich in diesen Fällen mit einer Extrapolation.

Zeitstandversuche werden in der Regel oberhalb 450°C durchgeführt. Bis zu dieser Temperatur, genauer gesagt, bis zum Schnittpunkt der Kurve der Warmstreckgrenze mit der Kurve der Zeitstandfestigkeit für die jeweilige Lebensdauer, z. B. 100000 Stunden, rechnet man mit der Warmstreckgrenze bzw. Warmzugfestigkeit.

Für die Auswertung gewonnener Zeitstandergebnisse stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Am häufigsten wird die grafische Auswertungsmethode angewendet. Bei dieser Methode wird die bleibende Dehnung ϵ_{bl} der bei einer bestimmten Temperatur T untersuchten Beanspruchung σ einer Werkstoffcharge in Abhängigkeit von der Zeit t dargestellt. Es ergeben sich sogenannte Kriechkurven.

Aus diesem Diagramm können für die einzelnen Beanspruchungen die Zeiten abgelesen werden, bei denen eine bleibende Dehnung von 0,2 und 1% erreicht wurde bzw. bei denen der Bruch eintrat. Die untersuchten Beanspruchungen werden nunmehr über den Zeiten, bei denen die bleibende Dehnung 0,2 und 1% betrug bzw. der Bruch eintrat, aufgetragen.

Die Auswertung wird im doppelt- oder einfach-logarithmischen Koordinatensystem vorgenommen. Aus dem Diagramm lassen sich für beliebige Zeiten die 0,2%-1% Zeitdehngrenze sowie die Zeitstandfestigkeit ablesen.

Neben der grafischen Auswertung hat es nicht an Versuchen gefehlt, durch eine mathematische Erfassung des Verlaufes der Zeitdehn- und Zeitbruchlinien eine größere Genauigkeit, insbesondere bei der Extrapolation von Zeitstandergebnissen zu erreichen. Das bekannteste und am meisten angewendete mathematische Auswerteverfahren ist das von F. R. Larson und J. Miller entwickelte Verfahren. Bei diesem Verfahren wird das Werkstoffverhalten durch eine für jeden Werkstoff charakteristische Konstante C und durch eine sogenannte Meisterkurve beschrieben.

Aus dieser Meisterkurve kann man für alle Temperaturen und Zeiten mit Hilfe des Larson-Miller-Diagramms die entsprechenden Zeitstandkennwerte ablesen.

Untersuchungen haben ergeben, daß sowohl die mathematischen als auch die grafischen Extrapolationsverfahren mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Außerdem bestehen zwischen den Chargen bzw. Bauteilen eines Werkstoffes auf Grund der Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung und der Herstellungstechnologie erhebliche Unterschiede in den Kennwerten der Zeitstandfestigkeit, die für jeden Werkstoff zu einem charakteristischen Streuband von $\pm 20\%$ führen.

Bei den in der Praxis angewendeten Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von Bauteilen aus zeitstandbeanspruchten Werkstoffen werden aus den beanspruchten Bauteilen eine oder mehrere Proben entnommen und die Zeitstandfestigkeit bzw. Restlebensdauer ermittelt (DD-WP 110602, DD-WP 137 145, DD-WP 139300, DD-WP 142092). Diese Verfahrensweise hat den Nachteil, daß durch die Probennahme aus den eingebauten Bauteilen eine Weiterverwendung der Bauteile nicht mehr möglich ist. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ähnliche Bauteile ist nur in sehr begrenztem Umfang möglich, da in den Eigenschaften zwischen den Bauteilen größere Unterschiede vorliegen können (s.o.). Außerdem entsteht bei der Prüfung der Zeitstandfestigkeit an aus einem oder mehreren Bauteilen entnommenen Proben ein hoher Aufwand an Kosten für die Fertigung und Prüfung der entnommenen Proben.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung stellt sich das Ziel, ein Verfahren zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit und Lebensdauer von Bauteilen zu entwickeln, bei dem die zu prüfenden Bauteile im eingebauten Zustand belassen und nach der Prüfung weiterverwendet werden können, der Aufwand für die Fertigung der Proben entfällt und für die Prüfung verringert wird.

Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das für den praktischen Betrieb handhabbar ist und unter Zugrundelegung ambulanter Prüfverfahren für die Lebensdauerberechnungen von Rohrleitungen, Rohrbögen oder Formstücken ausreichend genaue Ergebnisse liefert und damit die Möglichkeit schafft, die Dringlichkeit von Wiederholungsprüfungen und die Reihenfolge von Bauteilwechselungen hinreichend genau festzulegen. Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, daß werkstoffspezifische Voruntersuchungen durchgeführt und Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke und ihr Zusammenhang zur Zeitstandfestigkeit ermittelt werden, an den höchst beanspruchten Stellen des eingebauten Bauteiles mehrere ambulante Prüfungen vorgenommen und ausgewertet werden, wobei unter Zugrundelegung der bei den werkstoffspezifischen Voruntersuchungen festgelegten Kennwertbereiche eine Klassifizierung der ambulant ermittelten Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke durch eine Bewertungsziffer B erfolgt, aus mindestens drei so ermittelten Bewertungsziffern B durch Mittelwertbildung eine durchschnittliche Bewertungsziffer B_d für die ambulant ermittelten Kenngrößen gebildet wird und mittels der durchschnittlichen Bewertungsziffer B_d ein sogenannter Zeitstands faktor Z mittels der Beziehung

$$Z = \frac{2}{15} \cdot B_d + \frac{2}{3}$$

ermittelt und in die Berechnung der Lebensdauer einbezogen wird.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung werden als ambulante Prüfungen die metallografische Porendichtebestimmung, magnetische Koerzitivfeldstärkemessung, Härtemessung und Gefügebestimmung angewendet. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, die zu prüfenden Bauteile, wie Rohrleitungen, Rohrbögen oder Formstücke im eingebauten Zustand zu belassen. Dadurch ist es möglich, die Bauteile nach erfolgter Prüfung weiterzuverwenden, so daß der Aufwand für die Fertigung von Proben entfällt und für die Prüfung verringert wird. Das Verfahren ist des weiteren für den praktischen Betrieb in vorteilhafter Weise handhabbar und liefert unter Zugrundelegung ambulanter Prüfverfahren für die Lebensdauerberechnung warmfester Bauteile ausreichend genaue Ergebnisse. Mit dem Verfahren wird ein Zeitstandfaktor Z gewonnen, der in die Lebensdauerberechnung eingeht. Ohne diesen Faktor Z steht für einen Werkstoff nur das Streuband „Mittelwert $\pm 20\%$ “ zur Verfügung, das keine genauen Aussagen zur Lebensdauer zuläßt. Verwendet man dabei aus Sicherheitsgründen den Kennwert der Zeitstandfestigkeit, der der unteren Streubandgrenze entspricht, so ergibt sich z.B. bei einer üblichen Betriebsbeanspruchung von 60 MPa für den Stahl 12Ch 1MF bei 550°C eine Lebensdauer von etwa 160000 Stunden. Das betrachtete Bauteil kann aber auch eine Zeitstandfestigkeit aufweisen, die an der oberen Streubandgrenze liegt. In diesem Fall würde die Lebensdauer unter den o.g. Beanspruchungsbedingungen über 1000000 Stunden betragen. Dieser Unterschied zwischen minimal und maximal möglicher Lebensdauer (etwa 95 Jahre) ist natürlich für Einschätzungen zur Restlebensdauer zu groß.

Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht, gestützt auf die aktuellen Werkstoffeigenschaften, mittels Zeitstandfestigkeitsfaktor Z die Berechnung einer genauen Lebensdauer. Damit ist es möglich, die Dringlichkeit von Wiederholungsprüfungen und die Reihenfolge von Bauteilwechselungen hinreichend genau festzulegen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Die Erfindung geht davon aus, daß zwischen den ambulant prüfbaren Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke und der Zeitstandfestigkeit des betreffenden Werkstoffes ein Zusammenhang besteht. Von dem Werkstoff des zu untersuchenden Bauteiles werden werkstoffspezifische Voruntersuchungen durchgeführt und Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke und ihr Zusammenhang zur Zeitstandfestigkeit ermittelt. Die so gewonnenen Kennwerte sind Ausgangspunkt der weiteren Verfahrensdurchführung.

An den höchst beanspruchten Stellen des fest eingebauten Bauteiles werden mehrere ambulante Prüfungen vorgenommen. Die ambulante Prüfung kann mittels zerstörungsfreier Prüfung des Werkstoffzustandes durch metallografische Porendichtebestimmung, magnetische Koerzitivfeldstärkemessung, Härtemessung und Gefügebestimmung erfolgen. Die dabei ermittelten Kennwerte für die Kenngrößen Gefüge, Porendichte, Härte und Koerzitivfeldstärke werden in die Kennwertbereiche der ambulanten werkstoffspezifischen Voruntersuchung eingeordnet. Daraus ergibt sich eine Bewertungsziffer B.

Bewertungsziffer B	1	2	3	4
magnetische Koerzitivfeldstärke	≤ 32	33 bis 40	41 bis 50	≥ 51
Härte	≤ 140	141 bis 150	151 bis 160	> 160
Ausgangsgefüge oder Gefügekategorie	3	3 bis 2	2	2 bis 1
	7	6	5 bis 4	3 bis 1
Porendichte $\frac{1}{\text{mm}^2}$	> 200 und/oder Porenketten, Risse	200 bis 50	< 50 bis 0	0

Aus mindestens drei durch Prüfungen gewonnenen Bewertungsziffern B wird durch arithmetische Mittelwertbildung eine durchschnittliche Bewertungsziffer B_d gewonnen. Durch die Beziehung

$$Z = \frac{2}{15} \cdot B_d + \frac{2}{3}$$

kann ein sogenannter Zeitstandfaktor Z ermittelt werden, der in die weitere Berechnung der Lebensdauer des betreffenden Bauteiles einbezogen wird.

Beispiel:

Die Untersuchung eines geraden Rohrabschnittes hat folgende Kennwerte ergeben, die zu entsprechenden Bewertungsziffern B führen:

	Kennwert	Bewertungsziffer B
Koerzitivfeldstärke	32	1
Härte	145	2
Ausgangsgefüge	3 bis 2	2
Porendichte	$300 \frac{1}{\text{mm}^2}$	1

Daraus ergibt sich die durchschnittliche Bewertungsziffer $B_d = 1,5$.

Aus der Beziehung $Z = \frac{2}{15} \cdot B_d + \frac{2}{3}$

ergibt sich für Z ein Wert von 0,87.

Dieser Zeitstandfaktor $Z = 0,87$ wird wie folgt in die weitere Berechnung für die Lebensdauer einbezogen.

$$\left(\frac{10^4 \cdot \bar{\sigma}}{T} - C \right)$$

$$\tau = \varphi \cdot 10$$

$$\bar{\sigma} = -\frac{B_1}{2 \cdot B_2} + \sqrt{\left(\frac{B_1}{2 B_2} \right)^2 + \frac{\lg(\sigma/Z) - B_0}{B_2}}$$

$$\sigma = \frac{\bar{\sigma}(da - s)}{2 \cdot s \cdot V_L}$$

Es bedeuten:

τ = rechnerische Lebensdauer in Stunden

φ = Lebensdauer-Minderungsfaktor; dieser erfaßt den Einfluß der Schwankung der Betriebstemperatur

B_0, B_1, B_2, C = Konstante des Stahles bei Larson-Miller Darstellung

$\bar{T}$	= Temperaturmittelwert in K
σ	= Referenzspannung in MPa (Ü)
d_a	= Rohraußendurchmesser in mm
s	= Wanddicke in mm
V_L	= Verschwächungsbeiwert (0,7 oder 0,8 nach Stahltyp)
$\bar{p}$	= mittlerer Innendruck in MPa (Ü)