



DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTCHRIFT 142 092

Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(11)	142 092	(44)	04.06.80	Int. Cl. ³	3(51)	G 01 N 3/18
(21)	WP G 01 N / 210 808	(22)	05.02.79			

(71) siehe (72)

(72) Koppe, Werner, Dr.-Ing., DD

(73) siehe (72)

(74) Hartmut Kipf, ORGREB-Institut für Kraftwerke, Abt. Rechtsschutz und Nutzung, 1058 Berlin, Schönhauser Allee 149

(54) Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von warmfesten Werkstoffen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von Werkstoffen aus zeitstandbeanspruchten Bauteilen, insbesondere in Anlagen von Wärmekraftwerken und der chemischen Industrie, wobei Kurzzeitwerte von aus den Bauteilen entnommenen Proben ermittelt werden. Erfindungsgemäß werden erstens die mechanischen Kennwerte und die dazugehörenden Larson-Miller-Parameter aus entnommenen Proben einer Vielzahl vergleichbarer betriebsbeanspruchter Bauteile des gleichen Werkstoffes mit ähnlicher mechanischer Beanspruchung bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und -zeiten ermittelt und mit diesen Werten wird eine resultierende Kurve in einem werkstofftypischen grafischen Schaubild aufgestellt und zweitens wird für die Probe des zu ermittelnden Bauteiles der mechanische Kennwert und der dazugehörige Larson-Miller-Parameter ermittelt und mit diesen Werten aus der resultierenden Kurve der verbleibende Larson-Miller-Parameter ermittelt.

- 1 - 210808

Titel der Erfindung

Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von warmfesten Werkstoffen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von warmfesten Werkstoffen aus zeitstandbeanspruchten Bauteilen, insbesondere in Anlagen von Wärmekraftwerken und der chemischen Industrie.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Werkstoffe zeitstandbeanspruchter Bauteile unterliegen während des Betriebes ständigen Gefügeänderungen, insbesondere in Form von Ausscheidungen und Kriechdehnungen. Aus diesem Grund sind derartige Bauteile, in Abhängigkeit von den projektierten Betriebsparametern, jeweils nur für eine bestimmte Betriebszeit ausgelegt. In der Regel treten in der Praxis mehr oder weniger starke Abweichungen von den projektierten Betriebsparametern auf. Diese bewirken Verkürzungen oder Verlängerungen der tatsächlich möglichen Betriebszeit der betreffenden Bauteile und Baugruppen. Zur Sicherung der Verfügbarkeit ist daher die Kenntnis des tatsächlichen Werkstoffzustandes von ausschlaggebender Bedeutung. Um rechtzeitig Rekonstruktionsmaßnahmen einleiten zu können und andererseits die vorhandenen Reserven voll auszuschöpfen, muß die Entwicklung der wichtigsten Werkstoffkennwerte über einen bestimmten Zeitraum vorausschaubar sein. Erreicht die Betriebszeit von langzeitbeanspruchten Bauteilen Größenordnungen von 50 000 bis 100 000 Stunden, so ist die Restlebensdauer, d. h. der Zeitpunkt des Auswechsels dieser Bauteile zu ermitteln, damit die Beanspruchung nicht zur Zerstörung der Bauteile führt. Neben Prüfungen unmittelbar an den Bau-

- 2 -

teilen sind dazu Untersuchungen an Probestücken aus langzeitbeanspruchten Bauteilen erforderlich.

Es wird eine Vielzahl von Methoden zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten angewandt, deren Werte jedoch keine aussagekräftigen Schlußfolgerungen hinsichtlich der Restlebensdauer zulassen. Besonders ausgeprägt ist die Tendenz, durch Kurzzeitversuche rasch zu Ergebnissen zu kommen. Bisher kam es in Fortsetzung derartiger Untersuchungen oftmals zu beträchtlichen Korrekturen der Aussagen.

Es ist bekannt, durch Kurz- und Langzeitprüfungen die Zeitstandfestigkeit oder Schädigung von warmfesten Stählen bei hohen Temperaturen zu ermitteln, ohne daß für die Kraftwerkspraxis verwertbare Verfahren festgelegt werden konnten. Außerdem beschäftigen sich weitere Arbeiten mit röntgenografischen Methoden, Leitfähigkeits-, Koerzitivfeldstärke- und Dichtebestimmungen. Diese Untersuchungen zeigen zunächst auswertbare Tendenzen, jedoch müssen diese erst noch durch umfangreiche Versuchsserien bestätigt werden. Unifizierte Methoden und die Ermittlung der Restlebensdauer durch Erfassung von Betriebsdaten und ihre Auswertung mittels Rechner bilden eine weitere Richtung zur Ermittlung des Werkstoffzustandes.

So ist bekannt, die Lebensdauer kontinuierlich zu ermitteln, wobei aus den zu vorgegebenen Zeitabständen durchgeführten Druck- und Temperaturmessungen an den Bauteilen auftretende Vergleichsspannungen bestimmt werden. Als Bezugsgröße dient dabei die plastische Dehngeschwindigkeit, die als Gleichung für die verwendeten Werkstoffe dargestellt und zusammen mit Berechnungsformeln für die Vergleichsspannung einem Rechner eingegeben wird. Obwohl bei diesem Verfahren das Werkstoffverhalten berücksichtigt wird, ist der Aufwand für eine derartig kontinuierliche Überwachung auch nur für Neubaukraftwerke mit großen Ausbauleistungen gerechtfertigt. Weiterhin ist ein Verfahren zur Behandlung von Probestücken für die Ermittlung des Erschöpfungsgrades und der Restlebensdauer von Proben aus zeitstandbeanspruchten Bauteilen bekannt geworden, bei dem mittels Langzeitversuchen Aussagen über die noch vorhandene Lebensdauer bzw. über abzuleitende Überwachungs- und Rekonstruktionsmaßnahmen zeitstandbeanspruchter Bauteile in einem Wärmekraftwerk gemacht werden. Dabei wird ein Teil des ausgebauten Probestückes derart einer regenerierenden Wärmebehandlung unterzogen, daß der Wert der Zugfestigkeit bei beiden Probestücken annähernd gleich ist. Die anschließenden Langzeitversuche werden bei oder nahe der Betriebstempe-

ratur des Bauteils vorgenommen. Gegenüber dem üblichen Langzeitversuch wird dadurch zusätzlich eine Aussage darüber gewonnen, ob eine irreversible Schädigung des Werkstoffzustandes während des Betriebes erfolgt ist (z. B. Mikrorisse). Nachteilig ist, daß die Probenvorbereitung und Versuchsdurchführung sehr zeit- und kostenintensiv sind. Auswertbare Ergebnisse liegen erst nach ca. 1 Jahr Versuchsdauer vor. Es ist weiterhin ein Langzeitverfahren bekannt geworden, das eine Senkung des Aufwandes für die Langzeituntersuchung ermöglicht. Die Aussagen einer solchen, trotzdem noch zu aufwendigen Langzeituntersuchung stimmen jedoch mit dem tatsächlichen Zustand nicht überein, so daß aufgrund der erforderlichen Extrapolationen Lebensdauer-Fehlbestimmungen erfolgen. Eine Korrektur bringt eine technische Verbesserung, aber keine Aufwandsminderung.

Es ist bereits ein Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von Werkstoffen aus zeitstandbeanspruchten Bauteilen vorgeschlagen worden, bei dem Proben aus betriebsbeanspruchten Bauteilen nach Ablauf fortschreitender Betriebszeiten entnommen, ein Kurzzeitwert der jeweiligen Probe ermittelt und in einem Diagramm über der Betriebszeit oder dem zugehörigen Larson-Miller-Parameter eingetragen, die daraus resultierende Kurve festgelegt und aus der Tendenz der Kurve sowie dem zulässigen Beanspruchungs-Grenzwert die Restlebensdauer direkt ermittelt wird. Dieses Verfahren weist jedoch den Nachteil auf, daß der Aufwand für eine Vielzahl von zu schneidenden Proben sowie die Ermittlung ihrer Kurzzeitwerte über einen langen Zeitraum für die Anwender (Kraftwerke, Industriebetriebe der Chemie) zu hoch ist.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, eine möglichst genaue Restlebensdauerbestimmung mit geringem technischen Aufwand durchzuführen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Bestimmung der Restlebensdauer über Kurzzeitwerte nach einmaliger Probenahme zu erzielen, wobei davon ausgegangen wird, daß es sich bei den Ursachen für die Änderung der Werkstoffkennwerte um Ausscheidungen bzw. Kriechdehnungen handelt, also um thermisch aktivierbare Vorgänge. Die Ablaufgeschwindigkeiten, sowohl bei Ausscheidungs- als auch Kriechdehnungsvorgängen

(stationäres Kriechen), lassen sich durch modifizierte Formen der Arrhenius-Gleichung

$$\frac{dV}{dt} = K \cdot \exp (-Q/RT)$$

beschreiben.

Hierzu bedeuten:

$\frac{dV}{dt}$ = Reaktionsgeschwindigkeit

dV = aktiviertes Volumen

k = Konstante (abhängig von Konzentration und Versetzungsdichte)

R = Gaskonstante

Q = Aktivierungsenergie

T = absolute Temperatur

Die Gleichung zeigt, daß die Geschwindigkeit derartiger Vorgänge von temperaturabhängigen Parametern bestimmt wird. Die Geschwindigkeit der Gefügeänderung zeitstandbeanspruchter Werkstoffe hängt somit in erster Linie von der Betriebstemperatur ab. Diese Feststellung steht in voller Übereinstimmung mit den praktischen Erfahrungen.

Erfindungsgemäß wird die Ermittlung der Restlebensdauer so durchgeführt, daß erstens die mechanischen Kennwerte und die dazugehörenden Larson-Miller-Parameter aus entnommenen Proben einer Vielzahl vergleichbarer betriebsbeanspruchter Bauteile des gleichen Werkstoffes mit ähnlicher mechanischer Beanspruchung bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und -zeiten ermittelt werden und mit diesen Werten eine resultierende Kurve in einem werkstofftypischen grafischen Schaubild aufgestellt wird und zweitens für die Probe des zu ermittelnden Bauteiles der mechanische Kennwert und der dazugehörige Larson-Miller-Parameter ermittelt und mit diesen Werten aus der resultierenden Kurve der verbleibende Larson-Miller-Parameter ermittelt wird. Als mechanische Kennwerte werden die Warmstreckgrenze nahe der Betriebstemperatur oder die Werte mittels zerstörungsfreier Werkstoffuntersuchungen ermittelt.

Ausführungsbeispiel

Anhand eines Ausführungsbeispiels wird die Erfindung näher erläutert.

Die Zeichnung zeigt das grafische Schaubild.

Um nach einer bestimmten Laufdauer für ein zeitstandbeanspruchtes Bauteil in einem Wärmekraftwerk die Restlebensdauer zu ermitteln, ist

es erforderlich, ein werkstofftypisches Schaubild zu erarbeiten. Dies erfolgt so, daß aus einer Vielzahl von Proben dieses Werkstoffes aus verschiedenen Bauteilen mit unterschiedlicher Betriebszeit und -temperatur, jedoch mit ähnlicher mechanischer Belastung ein mechanischer Kennwert ermittelt wird. Als mechanischer Kennwert ist insbesondere die nahe der Betriebstemperatur ermittelte Warmstreckgrenze geeignet. Dabei sind nur solche Werte verwendbar, die von gleichen Versuchstemperaturen stammen (Standardwerte). Ebenso sind Werte aus zerstörungsfreien Prüfverfahren geeignet. Gleichzeitig wird für diese Proben der Larson-Miller-Parameter nach der Beziehung $P = T (20 + \lg t)$ errechnet, wobei bedeuten:

P = Larson-Miller-Parameter

T = Betriebstemperatur

t = Betriebszeit.

Die so ermittelten Werte ergeben in dem grafischen Schaubild, auf dessen X-Achse die Larson-Miller-Parameter und auf dessen Y-Achse die mechanischen Kennwerte aufgetragen sind, die Meßpunkte 1 bis 8. Auf der Grundlage der Meßpunkte 1 bis 8 wird die resultierende Kurve 9 gewonnen. Der Schnittpunkt 10 der resultierenden Kurve 9 mit dem unteren zulässigen Grenzwert 11 ergibt den Larson-Miller-Parameter P_G , der für jeden Werkstoff charakteristisch ist. Aus der Beziehung $P = T (20 + \lg t)$ ist die Lebensdauer für diesen Werkstoff errechenbar.

Zur Ermittlung der Restlebensdauer des zeitstandbeanspruchten Bauteiles aus einem Wärmekraftwerk wird eine Probe geschnitten, der mechanische Kennwert und der dazugehörige Larson-Miller-Parameter ermittelt. Der sich dadurch im grafischen Schaubild ergebende Meßpunkt 12 ist der Ausgangspunkt zur Extrapolation der Kurve 13. Der Schnittpunkt 14 der Kurve 13 mit dem unteren zulässigen Grenzwert 11 ergibt den von der Betriebstemperatur und -zeit abhängigen Larson-Miller-Parameter P_{G1} für den Werkstoff dieser Probe. Der Larson-Miller-Parameter P_R für die Restlebensdauer des Werkstoffes dieser Probe ist danach aus der Beziehung $P_R = P_{G1} - P_1$ rechnerisch zu ermitteln.

Aus der Beziehung $P = T (20 + \lg t)$ ergibt sich aus dem Larson-Miller-Parameter P_R bei Einhaltung einer festzulegenden Betriebstemperatur die zu erwartende Restlebensdauer. Tritt eine Änderung in der festgelegten Betriebstemperatur ein, so ist eine erneute Präzisierung erforderlich. Die zu erwartende Restlebensdauer für den die Probe betreffenden Werkstoff ist dann zur Abschätzung der Restlebensdauer des zeit-

standbeanspruchten Bauteiles direkt oder indirekt zu verwenden. Zur umfassenden Beurteilung hinsichtlich Rekonstruktionsentscheidungen sind zerstörungsfreie Prüfverfahren und Aufweitungsmessungen erforderlich.

Durch die Erfindung sind folgende Vorteile erzielbar:

1. Es ist bereits nach einmaliger Probenahme eine Aussage über die zu erwartende Restlebensdauer zeitstandbeanspruchter Bauteile möglich.
2. Die sehr zeit- und kostenintensiven Zeitstanduntersuchungen entfallen bzw. sind nur in Ausnahmefällen erforderlich.
3. Das Verfahren ist besonders für solche Anlagen geeignet, bei denen bisher keine kontinuierlichen Werkstoffüberwachungen erfolgten (z. B. Altanlagen).
4. Die notwendigen Untersuchungen sind mit allgemein vorhandener Prüftechnik zu realisieren.
5. Das Fertigen von Zeitstandproben aus dünnwandigen Bauteilen ist sehr aufwendig bzw. teilweise unmöglich. Das Verfahren bietet die Möglichkeit, für derartige Bauteile und Baugruppen eine Abschätzung der Lebensdauer vornehmen zu können.
6. Das Verfahren gestattet es, sehr schnell zu auswertbaren Ergebnissen zu kommen.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Ermittlung der Restlebensdauer von Werkstoffen aus zeitstandbeanspruchten Bauteilen, insbesondere in Anlagen von Wärmekraftwerken und der chemischen Industrie, wobei Kurzzeitwerte von aus den Bauteilen entnommenen Proben ermittelt werden, gekennzeichnet dadurch, daß erstens die mechanischen Kennwerte und die dazugehörigen Larson-Miller-Parameter aus entnommenen Proben einer Vielzahl vergleichbarer betriebsbeanspruchter Bauteile des gleichen Werkstoffes mit ähnlicher mechanischer Beanspruchung bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und -zeiten ermittelt werden und mit diesen Werten eine resultierende Kurve in einem werkstofftypischen grafischen Schaubild aufgestellt wird und zweitens für die Probe des zu ermittelnden Bauteiles der mechanische Kennwert und der dazugehörige Larson-Miller-Parameter ermittelt und mit diesen Werten aus der resultierenden Kurve der verbleibende Larson-Miller-Parameter ermittelt wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß als mechanische Kennwerte die Warmstreckgrenze nahe der Betriebstemperatur oder die Werte mittels zerstörungsfreier Werkstoffuntersuchungen ermittelt werden.

Hierzu / Seite Zeichnung

