



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 250 579 A1

4(51) G 01 N 3/30
G 10 K 11/04

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 01 N / 291 831 7	(22)	30.06.86	(44)	14.10.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

(72) Kalkhof, Dietmar, Dipl.-Ing.; Büchner, André, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch mittels akustischer Signaldetektion. Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem die Bestimmung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch mittels akustischer Signaldetektion mit geringem Probenaufwand und hoher Genauigkeit möglich ist. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem durch Trennung der hochfrequenten Signale der Schallemission von den hochfrequenten Signalen des Aufpralls des Hammers der Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung bestimmt und zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit genutzt werden kann. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die von einem breitbandigen Schallemissionsaufnehmer größer oder gleich 1,5 MHz, der unmittelbar am Finnenrücken in Höhe des Schlagpunktes angeordnet ist, gewonnenen Signale einem Impedanzwandler mit einem Wandlungswiderstand von 1 K Ω zugeführt werden und anschließend über ein Hochpaßfilter mit der Grenzfrequenz von 750–800 KHz bei einer Dämpfung von 10 dB pro 50 KHz geführt werden. Aus dem Anschwellen der Schallamplitude wird der Zeitpunkt der ersten Rißausdehnung ermittelt, der in an sich bekannter Weise der Berechnung der Rißeinleitungszähigkeit dient.

Erfindungsanspruch:

Verfahren zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch mittels Detektion akustischer Signale direkt hinter der Schlagfinne der Kerbschlagbiegevorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß die von einem breitbandigen Schallemissionsaufnehmer größer oder gleich 1,5 MHz gewonnenen Signale einem Impedanzwandler mit einem Wandlungswiderstand von 1 K Ω zugeführt werden und anschließend über ein Hochpaßfilter mit der Grenzfrequenz von 750–800 KHz bei einer Dämpfung von 10 dB pro 50 KHz geführt werden und aus dem Anschwellen der Schallamplitude der Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung ermittelt wird, der in an sich bekannter Weise der Berechnung der Rißeinleitungszähigkeit dient.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch mittels akustischer Signaldetektion.

Die Zähigkeit angerissener Biegeproben ist eine wichtige Kenngröße der Bruchmechanik zur Charakterisierung des dynamischen Werkstoffverhaltens.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur Prüfung des Zähigkeits- und Bruchverhaltens bei dynamischer Belastung ist es bekannt, den Kerbschlagbiegeversuch anzuwenden. Dabei wird ein einseitig gekerbter Probestab, der mit seinen Enden an zwei Widerlagern anliegt, durch den Schlag eines Pendelhammers zerbrochen bzw. so weit gebogen, wie es die Versuchsanordnung zuläßt (Blumenauer, Pusch, Technische Bruchmechanik, Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1982). Versuchsdurchführung und Probenformen sind in TGL 11 225 standardisiert. In den letzten Jahren wurden vorwiegend der instrumentierte Kerbschlagbiegeversuch angewandt, der mit Hilfe von Halbleiter-Dehnmeßstreifen eine elektronische Aufzeichnung des Schlagkraft-Zeit-Verlaufes ermöglicht. Dabei werden Proben verwendet, denen zusätzlich zum mechanisch eingebrachten Kerb ein Ermüdungsriß eingeschwungen ist. Auf Grund der Schwierigkeiten bei der Beherrschung der dynamischen Effekte ist es nicht möglich, den für die bruchmechanischen Berechnungen notwendigen Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung aus den Schlagkraft-Zeit-Kurven zu bestimmen. Man hat sich bisher damit geholfen, daß der Schnittpunkt der durch Variation der Schlagenergie gemessenen Rißwiderstands-Kurve mit einer Rißabstumpfungsgerechten als Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung galt (Holzmann, Man, Vlach, Techn. Mat. RGW 1–13.12, Malacky 1979). Diese Auswertemethodik erfordert eine Mehrprobentechnik (Größenordnung 5 Proben) und ist durch die Vielzahl der Arbeitsgänge mit einer Reihe von systematischen Fehlern behaftet.

Es ist weiterhin bekannt, daß bei sprunghaften irreversiblen Zustandsänderungen in Mikrobereichen, wie z. B. Rißbildung und Rißausbreitung, Schallemission auftritt.

Systematische Untersuchungen im Hinblick auf die technische Verwertbarkeit der Schallemissionssignale wurden erstmalig im Jahre 1950 von Kaiser durchgeführt (Dr.-Ing. Diss., Techn. Hochschule München). Eine gute Übereinstimmung erhöhter Schallintensität mit dem Erreichen der für die Zähigkeit angerissener Körper charakteristischen kritischen Kenngrößen der Bruchmechanik wurde in Versuchen mit statischer Belastung nachgewiesen (Knott, Fundamentals of Fracture Mechanics, Butterworth, London 1973).

Die Erfahrungen mit der Schallemission aus den statischen Versuchen sind nur zum Teil auf die dynamische Prüfung übertragbar. Zum einen ist durch den kurzzeitigen transienten Schlagkraftverlauf die Registrierung der Schallemissions-Zeitsignale notwendig, um den Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung bestimmen zu können (Schallsumme oder Schallrate sind unzureichend). Zum anderen werden die Schallemissionssignale von hochfrequenten Störgeräuschen des Hammeraufpralls überdeckt. Bekannt geworden sind Untersuchungen, bei denen mittels spezieller Meßwertverarbeitung durch schnelle Fouriertransformation (FFT) von auf Probenoberflächen gemessenen Schallemissionssignalen eine Unterscheidung von Aufprall und Schallemission vorgenommen wurde (Steffens, H.-D. u. a. Acoustic Emission, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde E. V., 1980). Der Zeitpunkt der Rißeinleitung ist mit diesem Verfahren nicht bestimmbar.

Ziel der Erfindung

Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem die Bestimmung der Rißeinleitungszähigkeit beim instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch mittels akustischer Signaldetektion mit geringem Probenaufwand und hoher Genauigkeit möglich ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem durch Trennung der hochfrequenten Signale der Schallemission von den hochfrequenten Signalen des Aufpralls des Hammers der Zeitpunkt der ersten Rißausbreitung bestimmt und zur Ermittlung der Rißeinleitungszähigkeit genutzt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die von einem breitbandigen Schallemissionsaufnehmer größer oder gleich 1,5 MHz, der unmittelbar am Finnenrücken in Höhe des Schlagpunktes angeordnet ist, gewonnenen Signale einem Impedanzwandler mit einem Wandlungswiderstand von 1 K Ω zugeführt werden und anschließend über ein Hochpaßfilter mit der Grenzfrequenz von 750–800 KHz bei einer Dämpfung von 10 dB pro 50 KHz geführt werden. Aus dem Anschwellen der Schallamplitude wird der Zeitpunkt der ersten Rißausdehnung ermittelt, der in an sich bekannter Weise der Berechnung der Rißeinleitungszähigkeit dient.

Aufgrund des Zusammenwirkens verschiedenartiger schwingungsfähiger Massensysteme der Prüfanordnung können aus der Kenntnis des Standes der Technik keine Rückschlüsse auf geeignete Parameter zur Signalverarbeitung gezogen werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die genaue Bestimmung des Zeitpunktes der ersten Rißausbreitung und somit eine genaue Berechnung der Rißeinleitungszähigkeit. Es entfallen methodische Annahmen und große Probenaufwendungen. Die direkte Messung der Rißeinleitung sichert eine sehr gute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Ermittlung dynamischer Bruchzähigkeitswerte (Streuungsbreite der Werte auf die Hälfte reduziert).

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel erläutert.

Für die Modellwerkstoffe für Sprödbbruch (Stahl C 15 K) und Zähbruch (AlCuMg) und einem warmfesten Stahl (21 CrMo V 5.11), der im Kraftwerks- und Chemieanlagenbau zum Einsatz kommt, soll die Rißeinleitungszähigkeit bestimmt werden. Alle Proben (10 × 10 × 55 mm³) werden nach Vorschrift zur Bestimmung der dynamischen Bruchzähigkeit ausgehend von einem Kerbgrund (2 mm) mit einem 3 mm langen Ermüdungsriß präpariert und in einer instrumentierten Kerbschlagbiegevorrichtung durch den Schlag des Pendelhammers zerbrochen. Die bekannte Instrumentierung erlaubt mit Hilfe von Halbleiter-Dehnmeßstreifen eine elektronische Aufzeichnung des Schlagkraft-Zeit-Verlaufes.

Zusätzlich wird zur Detektion der akustischen Signale direkt hinter der Schlagfinne in Höhe des Schlagpunktes ein breitbandiger Schallemissionsaufnehmer mit einer Resonanzfrequenz größer oder gleich 1,5 MHz angeordnet.

Die bei Aufprall des Hammers gewonnenen Signale durchlaufen ein Impedanzwandler mit einem Wandlungswiderstand von 1 K Ω und anschließend ein Hochpaßfilter vom Typ C 0525, $\Theta = 47^\circ$ (Saal, Der Entwurf von Filtern mit Hilfe des Katalogs normierter Tiefpässe, Telefunken, Backnang, 1961). Es besitzt die Grenzfrequenz von 750 KHz bei einer Dämpfung von — 10 dB pro 50 KHz.

Die Aufzeichnung der Signale erfolgt mit einem programmierbaren oder steuerbaren Transientenrecorder, der als Mindestanforderung eine A/D-Umsetzzeit von 0,4 μ s (6 bit) besitzt. Während bisher eine Auswertung der Schallemissionssignale auf Grund des Einflusses der Aufprallgeräusche nicht möglich war, gelingt es mit dem vorgeschlagenen Verfahren die akustische Emission aus den Störgeräuschen herauszuheben. Aus dem Anschwellen der Schallamplitude läßt sich nun der Zeitpunkt der ersten Rißausdehnung bestimmen und mit der zeitgleichen Schlagkraft die Rißeinleitungszähigkeit berechnen.

Bei allen 3 Werkstoffen konnte in einem Temperaturbereich von -70°C bis $+90^\circ\text{C}$ mit der Schlaggeschwindigkeit von 2,80 m/s der Zeitpunkt des Rißstarts aus den Schallemissionssignalen bestimmt werden.

Bei Raumtemperatur ergeben sich folgende Zeiten der ersten Rißausbreitung:

ti (C 15 K)	= 134 μ s
ti (AlCuMg)	= 198 μ s
ti (21 CrMoV5.11)	= 190°s

Bei der zähen Aluminiumlegierung ergaben sich im erwähnten Temperaturbereich getrennte Signale von Aufprall und Schallemission bis zu einer Schlaggeschwindigkeit von 4,10 m/s. Mit der Schlaggeschwindigkeit von 2,80 m/s konnten an dem warmfesten Stahl 21 CrMo V5.11 bei Raumtemperaturen Beanspruchungsgeschwindigkeiten von $7 \cdot 10^5$ MPa m^{1/2}s⁻¹ gemessen werden. Dieser Wert liegt höher als bei den hydraulischen Hochgeschwindigkeitsmaschinen und repräsentiert die in der Praxis auftretenden schlagartigen Beanspruchungen.