



スパッタリング金属膜によるき裂長さの測定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本機械学会 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鄧, 鋼, 堀辺, 大輔, 徳永, 仁夫, 中西, 勉, 池田, 清彦, 海津, 浩一, Horibe, Daisuke, Tokunaga, Hitoo, Nakanishi, Tsutomu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/1841



第4回機素潤滑設計部門講演会

The 4th. Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME

講演論文集



開催日 2004年4月19日(月)～20日(火)
会場 つなぎ温泉 ホテル大観 (盛岡)
協賛 (社) 精密工学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会
日本フルードパワーシステム学会、日本トライボロジー学会



112 スパッタリング金属膜によるき裂長さの測定

Crack Length Measurement by an Ion Sputtered Metal Film

○正 鄧 鋼 (宮崎大) 非 堀辺 大輔 (宮崎大院) 非 徳永 仁夫 (宮崎大院)
 正 中西 勉 (宮崎大) 正 池田 清彦 (宮崎大) 正 海津 浩一 (宮崎大)

Gang DENG, University of Miyazaki, 1-1 Gakuenkibanadai-nishi, Miyazaki, 889-2192
 Daisuke HORIBE, Student, Graduate School, University of Miyazaki
 Hitoo TOKUNAGA, Student, Graduate School, University of Miyazaki
 Tsutomu NAKANISHI, University of Miyazaki
 Kiyohiko IKEDA, University of Miyazaki
 Kouichi KAIZU, University of Miyazaki

This research is to present a new method for fatigue crack length measurement using an ion sputtered film, the thickness of which is several tens nanometer, based on the principle that the electric resistance of the film increases with the growth of a crack. The relationship between the electric resistance and width of the film was investigated and expressed accurately by a presented equation. A grid pattern ion sputtered film was proposed for crack length measurement. Fatigue crack lengths in a bending test specimen are measured with a grid pattern film and a microscope. From the comparisons of the crack length measured by the film and microscope, a good agreement is verified and the availability of the presented method is confirmed. Since the film is extremely thin, it can be used for the measurement of a micro crack as well as crack initiation detection.

Key Words: Crack Length Measurement, Fatigue, Crack Growth Rate, Metal Film

1. 緒言

き裂長さの測定法はこれまで多数の研究において見られ、そのほとんどはき裂の進展に伴う試験片の変位や剛性または電気的変化を通してき裂長さを推定する方法であり⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾、測定システムには特殊な計測機器が必要で、測定値からき裂長さへの換算の複雑さや短いき裂長さ及び低いき裂進展速度の測定には向きであると思われる。また、クラックゲージ⁽⁵⁾や光学顕微鏡⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾等を用いてき裂長さを測る方法もあるが、測定できるき裂長さの範囲や、測定精度と測定の自動化等の面において課題が残っている。したがって、き裂の測定技術は、測定精度や測定方法の利便性などの面において充分とは言えず、実際の機械要素の疲労強度評価も視野に入れると、複雑な形状の部位でのき裂の測定や、微小き裂の長さの測定によるき裂発生を検知技術が必要であると考えられる。そこで、本研究では、イオンスパッタリング法を用いて試験片の表面にナノメートルオーダーの厚さの金属膜を作成し、き裂の進展に伴う金属膜の抵抗の変化を通してき裂長さを測定する方法を提案し、その方法の測定精度や実用上の可能性について述べる。

2. き裂長さ測定用金属膜

き裂長さ測定に用いられた金属膜の形状を図1に示す。なお、図1において、金属膜はき裂の進展前方に作成され、き

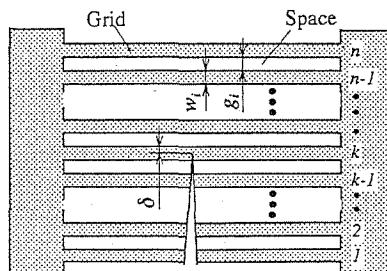


Fig.1 Grid pattern metal film for crack length measurement

裂の進展によって膜のグリッドが切断され、その電気抵抗が増加することになる。したがって、膜の長さ l と厚さ t が膜毎に一定であるので、金属膜の電気抵抗 R_x と膜の残存幅 x との関係は以下の式で表せる。

$$R_x = \frac{C}{x} + \alpha, \quad x = \sum_{i=k+1}^n w_i + \delta \quad (1)$$

ただし、 C は金属膜の材質と寸法によって決められる係数で、 α は測定のための配線の抵抗などを考慮した定数である。また、 w_i はグリッドの幅、 δ は図1に示すように k 本目のグリッドの未切断の部分の幅である。

厚さ 5~50nm の純金製グリッド型金属膜作成し、グリッドを1本ずつ切断しながら膜の電気抵抗を測定して金属膜の電気抵抗 R_x と膜の残存幅 x との関係調べた。その結果の一例を図2に示す。図2から金属膜の電気抵抗 R_x と膜の残存幅 x との関係は式(1)で正確に表せることがわかった。

3. 金属膜によるき裂長さの測定

3.1 金属膜によるき裂長さの測定 式(1)を用いて金属膜

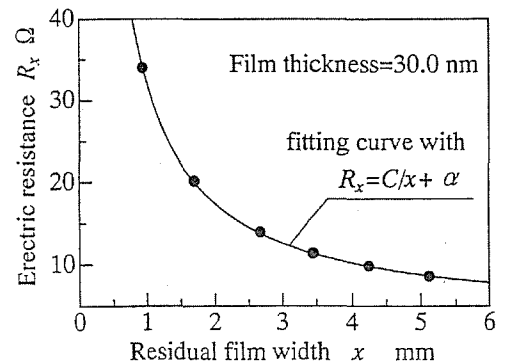


Fig.2 Relationship between electric resistance and residual film width for a grid pattern film

の電気抵抗から金属膜の残存幅を求めるため、係数 C と定数 α を金属膜毎に求めることが必要である。そこで、本研究では、き裂長さ測定開始前に測定用金属膜のグリッドを数本切断し、金属膜の電気抵抗と切断したグリッドの幅から C と α を求めることにした。また、金属膜の電気抵抗及びグリッドの切断電気抵抗の変化は大きいので、金属膜を変換抵抗と直列に接続して直流電圧を加え、金属膜の両端の電圧から金属膜の電気抵抗を算出することにした。金属膜の電気的抵抗から次の式でき裂長さ a が求められる。

$$a = a_0 + \sum_{i=1}^k w_i + \sum_{i=1}^{k-1} g_i - \delta \quad (2)$$

ただし、 w_i と g_i 及び δ はそれぞれ図 1 に示すグリッドの幅とグリッド間のスペース及び完全に切断されていないグリッドの残存幅であり、 a_0 はき裂長さ測定の起点から一本目のグリッドまでの距離である。

これまで述べた金属膜によるき裂長さの測定方法を三点曲げ疲労試験片のき裂長さの測定に用いた。実験方法を図 3 に示す。金属膜と試験片との間に絶縁が必要なため、アクリル製の試験片を用いることにした。イオンスパッタリング法で試験片のき裂進展経路に一枚の金属膜を作成し、その金属膜をハイトゲージを用いた罫線によってグリッド型金属膜に加工した。測定に用いた金属膜の厚さは 10nm と 20nm であり、グリッドの幅は約 0.2mm、グリッドの間隔は約 0.1mm、材質は純金である。金属膜の両端に薄い銅板を貼付け、銀ペーストで膜と銅板を接続し、膜にかかる電圧を両銅板から測っている。測定時の供給電圧は約 5v であり、金属膜に流す電流を 100mA 以下になるように可変抵抗を調節した。

3.2 金属膜と光学顕微鏡とのき裂長さ測定結果の比較 厚さ 10nm 並びに 20nm の金属膜と光学顕微鏡を用いて測定したき裂長さの比較を図 4 に示す。測定用金属膜は極めて薄いので、き裂先端がグリッドの切断場所と完全に一致すると考え、き裂先端がグリッドの間隔にあった場合のき裂長さを最後のグリッドが切断された場所までのき裂長さとした。図 4 からき裂先端がグリッド間のスペースにあった場合、金属膜によるき裂長さの測定結果は光学顕微鏡の測定結果と完全に一致しており平均誤差は平均で約 1 μ m であることと、き裂先端がグリッドの中にあつた場合、金属膜で測定したき裂長さは光学顕微鏡で測定したき裂長さより短く、両者の差は平均で約 102 μ m であることがわかった。したがって、グリッド型金属膜のグリッドを微細化し、さらに、膜の電気抵抗の増加から一定となる瞬間、すなわち、グリッドが切断された瞬間の測定結果のみに注目すれば、グリッド型金属膜によってき裂長さを正確に測定できることがわかった。

3.3 金属膜によるき裂長さ測定法の特徴とその応用 本研究で提案した金属膜によるき裂長さの測定法は、金属膜を試験片側面に直接に作成し、その電気抵抗を測定しているので、導電性の試験片への適用には金属膜と試験片の間に絶縁膜が必要である。絶縁膜の作成に関しては表面コーティングや絶縁体のスパッタリングなど様々な方法がある。したがって、本金属膜き裂長さ測定法に適した絶縁膜の作成は今後の重要課題であると考えられる。一方、現時点において測定に用いた金属膜の特徴から様々な応用が考えられる。まず、測定用金属膜はイオンスパッタリング法で作成され、その厚さは極めて薄くので現在のクラックゲージに比べ測定精度が高く、極めて小さなき裂の進展の測定やマイクロき裂の発生を検出などにも用いられると考えられる。また、イオンスパッタリングによって金属膜を作成することから実際の複雑な形状を持つ機械要素の疲労き裂の測定にも適用できると考えられる。また、測定システムも簡便であり、本研究で提案した金

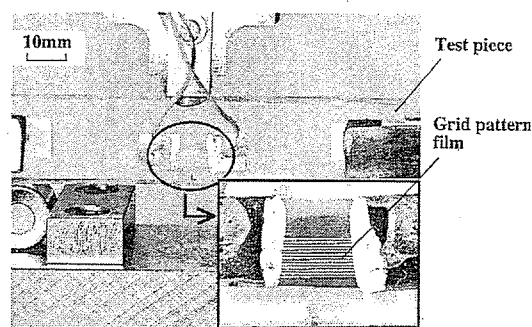


Fig.3 Crack length measurement with a grid pattern film

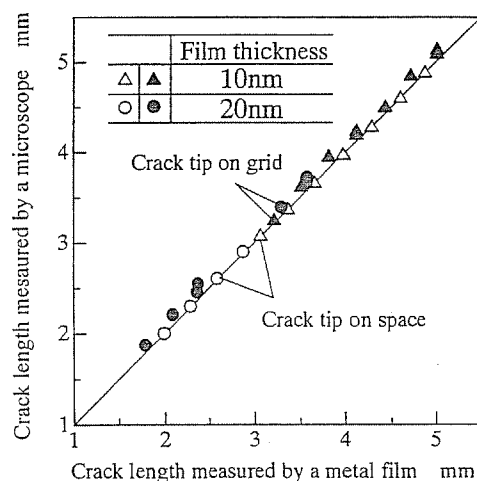


Fig.4 Comparison of the crack length measured by a grid pattern film and a microscope

金属膜によるき裂長さ測定法には高い実用性と汎用性があると考えられる。

4. 結言

本研究では、微小き裂にも適用できるき裂長さの測定法として、イオンスパッタリングで作成したナノオーダーの厚さの金属膜を用いたき裂長さ測定方法を提案した。次に、本方法の測定精度と実用性を調べるため三点曲げ疲労試験を行い、金属膜と光学顕微鏡による測定結果を比較した。得られた主な結果は以下のとおりである。

(1) グリッド型イオンスパッタリング金属膜の電気抵抗と膜の残存幅との関係を明らかにした。

(2) 極めて薄い金属膜をき裂長さの測定に用いるため、測定精度が高く、微小き裂長さの測定に用いることが可能であること、また、測定システムは簡便であり、実用性の高い測定技術であることを示した。

文献

- (1) Brown, T.F., Tr. and Srawley, J.E., ASTM STP410, (1966).
- (2) 西谷・陳, 機論, 51-465, A(1985), 1436.
- (3) 芦田・石原・藤原・飛田, 関西造船協会誌, 225, (1996), 181.
- (4) 中井・赤木・北村・大路, 機論, 55-511, A(1989), 543.
- (5) 鄧・井上・高津・加藤, 機論, 57-535, C(1991), 909.
- (6) Bucci, R.J., Paris, P.C., Hertzberg, R.W., Schmidt, R.A. and Anderson, A.F., ASTM STP513, (1972), 125.
- (7) Mautz, J. and Weiss, V., ASTM STP601, (1976), 154.
- (8) James, L.A., ASTM STP738, (1981), 45.