

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560146

研究課題名（和文） スパッタ膜を用いたき裂発生寿命の実測に基づく
疲労強度に及ぼす表面状態の影響評価研究課題名（英文） Evaluation for the Effect of Surface Qualities on Fatigue Strength
Based on the Measurement of Crack Initiation Life

研究代表者

鄧 鋼 (Deng Gang)

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：90237040

研究成果の概要（和文）：

本研究では、イオンスパッタ膜を用いた疲労き裂発生を検出によって表面粗さと表面組織による三点曲げ疲労試験片の疲労き裂発生寿命、き裂進展寿命及び疲労寿命の変化を調べた。その結果、疲労き裂発生寿命は疲労寿命の約90%を占めており、表面粗さRaを1.27 μ mから0.03 μ mにすることでき裂発生寿命は2～3倍長くなること、また、浸炭焼き入れ試験片においては、表面異常層の除去によって、疲労寿命は明らかに増加し、疲労強度も同程度の向上が考えられることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

The crack initiation detection method using an ion-sputtered film was used as a practical method to investigate the effects of the surface roughness and non-martensite layer on the crack initiation life in the three-point bending tests. Three types of the test pieces finished with different grinding processes and case carburized test piece were used in the fatigue tests. As the results obtained in this research, it is confirmed that the crack initiation life predominantly determines the fatigue life, and the effect of surface roughness on the fatigue life is restricted only to the crack initiation stage; the crack initiation life decreases with the increase of the surface roughness. Increasing the surface quality from 1.27 μ mRa to 0.03 μ mRa can get 2～3 times of crack initiation life. Non-martensite layer formed during case carburization process decreases surface hardness as well as the fatigue life, removal the non-martensite layer by electrolytic polishing will lead to a higher fatigue life and fatigue strength.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：疲労き裂，疲労き裂発生検出，イオンスパッタ膜，疲労き裂発生寿命，浸炭焼入異常層，表面粗さ，電解研磨

1. 研究開始当初の背景

疲労き裂の進展にともなう疲労破断の多くは応力集中部の表面から発生したき裂の進展によるものと考えられ，機械要素の疲労過程は疲労き裂の発生過程とき裂の進展過程とに分けられる．き裂の進展の速さはき裂先端の力学状況と材質によって決まり，き裂の発生寿命は表面の応力と表面の材質に左右されるとすれば，疲労寿命に及ぼす表面状態の影響はき裂の発生過程に現れる．したがって，疲労寿命に及ぼす表面状態の影響を疲れ限または疲労寿命よりも疲労き裂の発生寿命で評価した方がより正確で合理的である．研究代表者のこれまでの研究によって，疲労き裂の発生寿命は疲労寿命の大半を占めていることがわかっている．そのため，動力伝達用機械要素においては疲れ限がき裂発生の限界であり，疲労き裂発生の有無は疲労破断の有無と同じであると考えられることができる．したがって，疲労強度評価方法または疲労強度向上の手法を検討する場合，疲労き裂発生の可能性または疲労き裂発生の寿命に着目すべきである．

2. 研究の目的

(1)イオンスパッタ膜による疲労き裂発生寿命の実測より，疲労寿命に占めるき裂発生寿命の割合を明らかにする．

(2)疲労き裂発生寿命に及ぼす表面粗さの影響を明らかにする．

(3)疲労寿命に及ぼす浸炭焼き入れ異常層の影響を明らかにする．

3. 研究の方法

(1)異なる表面粗さを有する三点曲げ疲労試験片を用いて，疲労き裂発生寿命，き裂進展寿命を測定する．

(2)浸炭焼き入れ試験片の表面異常層（非マルテンサイト組織）を電解研磨によって除去し，表面異常層の有無にともなう疲労寿命の変化を調べる．

4. 研究成果

(1)イオンスパッタ膜を用いて，膜の電気抵抗の変化信号から疲労き裂発生の瞬間を捕らえることができ（図1），発生してから間もない初期的疲労き裂を確認できた（図2）．このことから，これまで困難であった疲労き

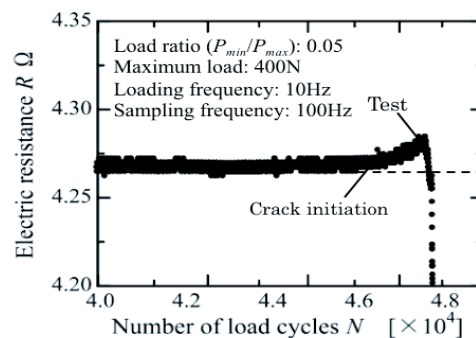


Fig. 1 Change in the electric resistance of the ion-sputtered film when fatigue crack initiation on an acrylic test piece

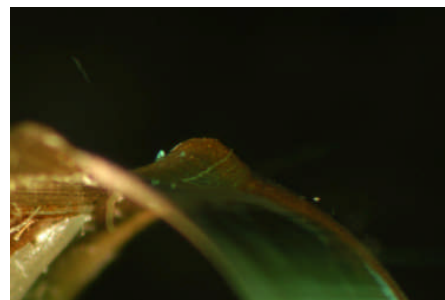


Fig. 2 A small crack on the notch surface of an acrylic test piece

裂発生寿命を測定することができるようになった．

(2)JIS S50C 焼ならし材三点曲げ疲労試験片のノッチ表面をサンドペーパー仕上げで異なる表面粗さを与えた（図3）．試験片の表面粗さは以下の表に示す．

試験片のノッチ部の最大曲げ応力を679MPaと732MPaにして行った実験で得られた疲労寿命，き裂発生寿命とき裂進展寿命を図3に示す．図3より疲労寿命の大半は疲労き裂発生寿命に占められ，その割合は約90%となっていることが分かった．したがって，一定負荷の下で，表面き裂の発生と進展による疲労破断の場合，疲労寿命を決定する最も重要な要素は疲労き裂の発生寿命であり，疲労寿命または疲労強度の向上には疲労き裂発生寿命の向上または疲労き裂の発生を防ぐことが最も重要であると考えられる．

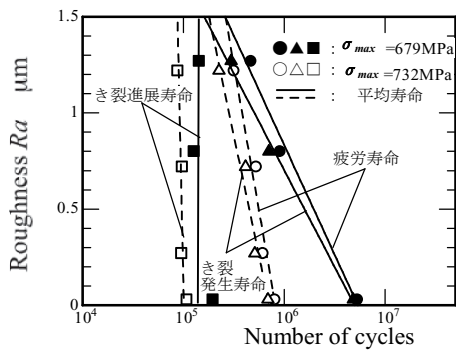


Fig.3 Change in the fatigue life under different surface roughness

さらに、図 3 より面粗さ Ra の値の減少、すなわち、表面状態の改善によって疲労寿命とき裂発生寿命は上昇していることが明らかである。具体的には、表面粗さ Ra を 1.27 μm から 0.03 μm にすること、すなわち、通常の切削表面を鏡面仕上げすることによって、き裂発生寿命は 2~3 倍にまで延びることが分かった。その原因として、表面粗さを低くなるにともなう表面の微小な凹凸の底部の応力集中の度合いが低減される他、表面欠陥サイズの減少によるものと考えられる。一方、表面粗さの変化に伴うき裂進展寿命の変化がほとんどなく、疲労寿命に及ぼす表面粗さの影響はき裂発生段階に表れていることが確認された。破壊力学によれば、き裂の進展速度、結果としてき裂進展寿命も材料のき裂進展の特性およびき裂先端の応力拡大係数によるものである。き裂発生から破断までの寿命はき裂の進展寿命で、表面状態との関係がないことが当然であると。したがって、表面状態の改善による疲労強度の向上はき裂発生寿命の向上の結果によるものであると結論づけることができる。

(3) SCM415 材浸炭後の金属組織を図 4 に示す。表面にはき裂状に見える非マルテンサイトの異常層があり、その厚さは 20~30 μm であった。表面異常層によって試験片の表面近傍の硬さは急激に低下し、本試験片では、表面直下の硬さは約 664HV であり、表面での硬さは 500~600HV 前後と推測される。

表面異常層による硬さの低下は疲労強度の低下に繋がり、異常層を除去することで疲労強度の向上が期待できる。本研究では、表面の残留応力に影響を与えない電解研磨法を用いて表面異常層の除去を行った。

表 1 ノッチ部表面粗さ

サンドペーパー	JIS P100	JIS P240	JIS P400	JIS P2000
Ra [μm]	1.27	0.74	0.30	0.03
Ry [μm]	8.92	4.97	2.49	0.29

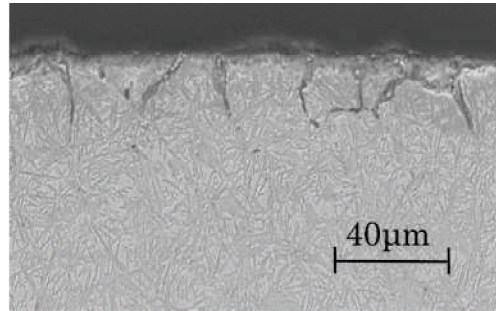


Fig.4 Microstructure of the carburized test piece

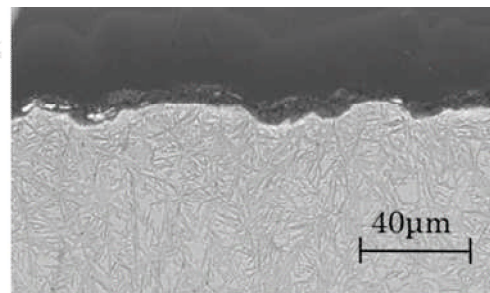


Fig.5 Microstructure of carburized test after electrolytic polishing

電解研磨前後の試験片表面近傍の組織を図 5 に示す。研磨量を約 35 μm であった。電解研磨によって表面異常層は除去され均質なマルテンサイト組織が確認された。また、電解研磨で表面異常層を除去したことによる試験片の硬さ分布の変化が 750HV 前後まで上昇した。

表面異常層の除去による三点曲げ疲労試験片の疲労寿命の変化を図 6 に示す。曲げ応力は 1450MPa においては、異常層の除去によって疲労寿命はかなり延びている。しかしながら、曲げ応力は 1300MPa から 1400MPa までの間の疲労寿命にはばらつきが大きくなり、平均的には異常層の除去にともなう疲労寿

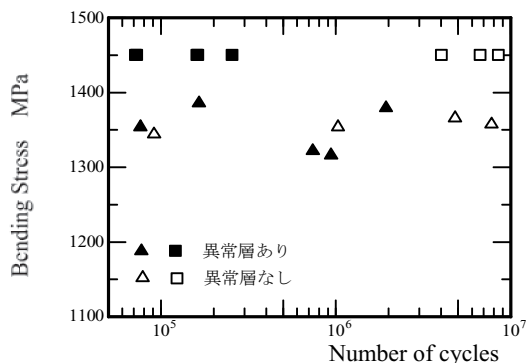


Fig.6 Change in fatigue lives of carburized test pieces due to the non-martensite

命の増加傾向が見られるものの、その効果は1450MPa レベルほど顕著ではないことが言える。図 6 から表面異常層の除去によって疲労寿命が向上し、その原因はき裂発生寿命の伸びによるものであることが言える。

上記の研究内容と得られた結果から、本研究では、疲労寿命に及ぼす表面状態の影響を評価するための方法を示した。疲労強度についての実験を引き続き行うことで、これまでの表面影響係数や粗さ係数をより正確に定義することができると考えられる。そのため、本件期間終了後も、疲労実験を続行しており、最終的には現在の粗さ係数や表面影響係数の定義と決め方を提案する予定です。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) Gang DENG, Yoshihiko SAKANASHI, Tsutomu NAKANISHI, Fatigue Crack Initiation Detection Using An Ion-Sputtered Film, Transaction of the ASME, Journal of Engineering Materials and Technology, Vol.131, No.1, pp.011007-1-011007-6, 2009.1

[学会発表] (計 2 件)

- 1) G. Deng and T. Nakanishi, A Practical Method For Fatigue Crack Initiation Detection Using An Ion-Sputtered Film, Proceeding of The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions, 2009/5/13-15, Sendai, Japan, pp.402-405.
- 2) G. Deng, K. Nagamoto, Y. Nakano and T. Nakanishi, Evaluation of the Effect of Surface Roughness on Crack Initiation Life, Proceedings of the 12th International Conference on Fracture, 2009/7/12-17, Ottawa, Canada, pp.1-8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鄧 鋼 (DENG GANG)
宮崎大学・工学部・教授
研究者番号：90237040

(2) 研究分担者

中西 勉 (NAKANISHI TSUTOMU)
宮崎大学・工学部・教授
研究者番号：40038055
前田 幸治 (MAEDA KOHJI)
宮崎大学・工学部・准教授