

| | |
|---------|-------------------------------------|
| 氏 名 | 星 出 敏 彦 ほし で とし ひこ |
| 学位の種類 | 工 学 博 士 |
| 学位記番号 | 論 工 博 第 1656 号 |
| 学位授与の日付 | 昭 和 59 年 1 月 23 日 |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当 |
| 学位論文題目 | 金属材料における疲労き裂の伝ば挙動に関する 弾塑性破壊力学的研究 |

論文調査委員 (主 査) 教授 井上達雄 教授 大矢根守哉 教授 大谷隆一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、弾塑性状態での疲労き裂伝ばに関する諸問題を弾塑性破壊力学的観点から検討し、き裂伝ば特性の力学的評価手法を確立したものであり、緒論、5編(13章)、および結論からなっている。

第1編は、弾塑性状態での貫通き裂の伝ば挙動を定量的に規定しうる汎用性のある破壊力学量について検討している。第1章では、本論文を通して中心的なパラメータとなるJ積分の簡便評価式について検討を行った。すなわち、有限要素法を用いた数値解析を行い、提案されている簡便式の有効性、適用範囲を明らかにした。さらに、その結果を実際の疲労き裂の伝ば試験結果と対比することによって、有効なJ積分評価法を提示している。弾性、弾塑性および全面降伏状態などの種々の降伏規模において統一的な疲労き裂伝ば速度式を与える伝ば支配力学量を明らかにするため、第2章では現在提案されている数種の代表的な力学パラメータを、同一の実験結果の整理に用いることによってそれらの妥当性を比較検討している。その結果、J積分範囲が最も有効であることを示すと同時に、その適用範囲をも明確に規定している。第3章では、不安定破壊点近傍の疲労き裂伝ば領域において、しばしば観察される繰返しラチェット変形を伴う場合のき裂伝ばの加速現象について検討している。また、変形挙動および破面の観察を行い、その加速機構を明らかにすることによってその加速現象に対する考察を行い、とくに疲労き裂進展抵抗曲線概念を新たに提案している。

第2編では、第1編でその有効性が示されたJ積分範囲を用いた場合の伝ば速度式との関連も含めて、疲労き裂の伝ば機構について弾塑性破壊力学的立場から考察している。まず第4章では、現在提案されている疲労き裂の伝ばモデルの妥当性を実験的に検証するため、予ひずみを与えた材料の疲労き裂伝ば挙動を検討し、き裂先端鈍化モデルがより妥当であることを明らかにした。第5章では、上述のき裂先端鈍化モデルから予想される疲労き裂伝ば速度式と種々の材料に対して実験的に求めた伝ば速度式とを比較することによって、そのモデルの問題点を明確に論じている。とくに第6章では、疲労き裂先端近傍における変形挙動を詳細に観察し、理論との比較を行うことによって、疲労き裂伝ば機構について総括的な考察を行い、疲労き裂伝ば速度式の変化の要因を明らかにした。

第3編は、単軸応力下での知見を多軸応力とくに2軸応力下に適用するための手法について述べている。第7章では、まず十字形試験片を用いた2軸応力下での疲労き裂伝ば試験を実施し、とくに疲労き裂伝ばに及ぼす応力比の影響についての検討を行い、さらに有限要素法による解析に基づいてJ積分範囲の評価法を示すとともに、第7章での実験結果に適用することによってその妥当性を確認した。

第4編では、実機などで実用上問題となる表面き裂の伝ばの問題を取扱い、とくに第1編で検討した貫通き裂に対する弾塑性破壊力学的手法の拡張を中心に論じている。第9章では、まず引張圧縮荷重下における表面欠陥から発生した表面き裂の伝ばの様相を観察し、その結果をもとに第2章で検討した各種の伝ば挙動を支配する力学量のうちJ積分範囲が有効であることを明らかにした。第10章と第11章では、平滑材の引張圧縮塑性疲労試験および平面曲げ高サイクル疲労試験を実施し、試験片表面に発生する微小き裂の伝ば挙動の検討を行っている。その結果、いずれの場合においても、J積分範囲が有力な支配力学パラメータとなることを確認している。

第5編は、より実用的な応用として、微小き裂の成長という観点から平滑材の塑性疲労に対する寿命予測法について論じたものである。第12章では、数種の金属材料の塑性疲労におけるき裂成長挙動を、き裂発生および初期成長段階も含めて詳細に観察し、その解析を行った。これによって、とくに材料およびき裂寸法に対するJ積分の適用可能性の限界を明確にしている。

第13章では、第12章での結果を踏まえて、一定ひずみ振幅試験における疲労寿命の予測法について検討し、さらにその応用として、変動ひずみ振幅が与えられた場合の寿命予測法を提唱している。とくに、き裂伝ば寿命予測にあたっては、J積分範囲から導出されるひずみエネルギー密度パラメータとよぶ新たな力学量を提唱し、その有効性を示している。

論文審査の結果の要旨

金属材料の疲労において、材料中を伝ばするき裂の力学的挙動を解析するには、これまで応力拡大係数を中心とする線形破壊力学的手法が適用されてきた。これは、き裂先端の塑性変形領域が十分小さい小規模降伏状態について多くの成果を挙げているが、実際の問題では必ずしもこの条件が満足されないため、線形破壊力学では十分ではない。本研究は、弾塑性状態における疲労き裂の伝ば特性を弾塑性破壊力学とくにJ積分を基本とする手法で把握し、実験による検証を行ったもので、得られた主な結論は次のとおりである。

1. 平板中央に存在する貫通き裂の伝ば挙動をJ積分範囲によって評価するために、有限要素法による弾塑性解析を行ってJ積分を求める簡便法を示した。さらに、コンパクト引張型試験片のデータも含めて実験によってその妥当性を明らかにし、適用範囲を規定している。また、適用限界をこえた場合のき裂伝ばの加速現象について新たに疲労き裂進展抵抗曲線の概念を提案し、その加速量の評価を行った。

2. 予めひずみの繰返しを与えた材料における疲労き裂の伝ば挙動を観察することによって、き裂伝ばモデルとしてはき裂先端鈍化モデルが妥当であることを明らかにしている。また、き裂先端近傍の鈍化形状を観察することによって、鈍化形状が必ずしも相似的に変化しないという事実を明らかにし、従来のき裂先端鈍化モデルの欠点を指摘している。同時に、J積分範囲が疲労き裂の先端近傍の開口形状を一義的

に規定していることを示し、塑性疲労におけるJ積分範囲の物理的意味を明確にしている。

3. 2軸応力状態での弾塑性き裂について、有限要素法による解析を行い、2軸応力下のJ積分とき裂開口変位量との関係が単軸応力下での関係から推定できることを明らかにした。これを基に、実際の弾塑性状態のき裂伝ば試験にJ積分範囲の適用を試み、2軸応力下の弾塑性状態における疲労き裂伝ば速度が単軸応力下で得た伝ば速度式で予測しうることを新たに示している。このことは、今後の多軸応力下の問題への拡張の可能性を示唆している。

4. 表面き裂に対するJ積分範囲の簡便評価法を新たに提案し、J積分範囲によって表面欠陥から発生したき裂および引張圧縮や平面曲げ状態の平滑材試験片の表面に発生した微小き裂の伝ば挙動が、貫通き裂に対する伝ば則から予測できることを示している。貫通き裂に対するJ積分範囲を用いた伝ば速度式を実験室的に求めることは比較的容易であるから、表面微小き裂の伝ば挙動が貫通き裂に対する伝ば則から予測できるという結果は寿命予測の観点から極めて有用な知見といえる。

5. 表面微小き裂の伝ば挙動がJ積分範囲を用いて貫通き裂の伝ば則から予測できるという結果をもとに、ひずみエネルギー密度パラメータを提案し、それが疲労き裂伝ば寿命の予測に対して有用であることを示している。これによって、物理的根拠を有するより精度の高い寿命予測が可能となった。

以上要するに、本論文は負荷様式も含め貫通き裂から表面き裂にいたる広範囲な形態の疲労き裂について、その伝ば挙動を統一的に解析しうる手法を確立するとともに、弾塑性状態下での疲労き裂伝ばの解析の究極的な目的である疲労寿命の予測に対して多くの有用な知見を提供するもので、学術上はもとより工業上寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和58年12月13日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果合格と認めた。