

氏 名	田 中 啓 介
	た なか けい すけ
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 310 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 47 年 11 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	MICROSCOPIC STUDY ON FATIGUE FRACTURE STRENGTH OF CARBON STEELS (炭素鋼の疲れ破壊強度に関する微視的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 平 修 二 教 授 山 田 敏 郎 教 授 河 本 実

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は各種炭素鋼の疲れき裂発生および成長の過程を、光学および電子顕微鏡ならびに細束X線回折法による微視的組織変化の定量的観察結果に基き、疲れ破壊の微視的機構を破壊力学との関連において論じたもので、4編12章よりなっている。

第I編では疲れき裂発生過程における結晶変形につき論じている。第1章では0.01%C炭素鋼の焼鈍材および冷間加工材について、平滑板状試片の両振り平面曲げ疲労の過程におけるき裂発生に關与する結晶変形量の変化を述べている。焼鈍材においては光学顕微鏡により観察されるすべり帯はき裂発生繰返数の約5%の繰返数で観察され、細束X線回折法により測定される過剰転位密度Dは繰返数と共に増加し、副結晶粒径tは次第に減少し、これらはき裂発生繰返数近辺で飽和値に達する。これらの値は応力振巾に依存するが、これらの値より副結晶粒界における過剰転位密度 D_B を求めると、この値は応力振巾に依存せずほぼ一定値を保ち ($1 \sim 3 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$)、これが疲れき裂発生に関する基準値となりうることを示している。加工材においては加工による高い密度の転位をもつ組織に応力が繰返され、すべり帯は極めて少い繰返数(き裂発生繰返数の1%)より局所的に認められ、副結晶組織の生成、発達が特徴的で、き裂発生時には明確な副結晶の微視組織が細束X線回折法により認められる。第2章は焼入れ後各種温度で焼き戻した0.37%C鋼のき裂発生過程における微視的組織変化を扱っている。高硬度材料においても疲れに伴いすべり変形が認められるがすべり帯の密度は低硬度材料に比し極めて低いこと、細束X線回折法によって観察される微視的組織変化はその材料の焼き戻し過程中的変化と極めて類似していることを指摘している。

第II編では疲れき裂伝ば挙動を取扱っている。第3章および第4章では焼鈍した0.03%C鋼の各種切欠をもつ試験片に繰返し引張り圧縮、面内曲げまたは平面曲げ応力を加えた場合のき裂の伝ば挙動を光学顕微鏡および細束X線法により観察し、き裂伝ば挙動に及ぼす試験片形状および負荷形式の影響をき裂先端近傍の塑性変形分布の観察結果に基いて論じている。疲れき裂伝ば速度 dl/dN を4つのパラメータ、応力拡大係数K、き裂先端近傍のすべり帯領域の大きさ ϵ_F 、き裂先端の一結晶粒中の過剰転位密度Dおよ

び副結晶粒径 t の関数として実験結果を整理し、 dl/dN と K の関係は試験片形状および負荷形式に、また dl/dN と ϵ_F の関係は負荷形式に依存するが、 dl/dN と D あるいは t との関係は上の両因子に対し独立した関係にあることを明らかにし、疲れき裂伝ばに直接関係しているのはき裂先端の一結晶粒の変形量であるとしている。この結果に基づき、従来の線形破壊力学に基きき裂伝ば速度に関する式を修正する微視組織変化量を含むき裂伝ばの式を提案し、この式がき裂伝ばの広い範囲の実験結果に適合することを示している。第5章では炭素含有量が0.001から0.50%にいたる5種の炭素鋼の焼鈍材について、き裂伝ば過程におけるき裂先端近傍のすべり帯領域の微視組織変化の観察を行い、これに基づいて上記き裂伝ば速度式の検討を行い、これより疲れき裂の停留条件に対する考察を行っている。第6章では15%冷間圧延した0.01% C鋼の両振り面内曲げ疲労におけるき裂伝ばを取扱い、予変形組織のき裂伝ばへの影響を論じている。細束X線観察により、き裂先端では予変形により導入された転位が再配列し、副結晶粒径 t 、副結晶粒内の過剰転位密度 D および微視的格子ひずみが減少することを明らかにし、焼鈍材の場合との比較において微視組織変化の立場より予加工のき裂伝ばに及ぼす効果が論じられている。第7章では熱処理した0.37% C高硬度および中硬度炭素鋼の両振り平面曲げ疲労におけるき裂伝ばを取扱い、伝ばき裂の先端近傍の微視組織変化の観察を通じてき裂伝ば速度を論じている。

第Ⅲ編は疲れき裂伝ばの機構に対する考察についての記述である。第8章では0.03% C鋼焼鈍材切欠試験片に繰返引張り圧縮負荷の場合と単調引張り荷重負荷の場合におけるき裂先端近傍のすべり帯領域の大きさ、過剰転位密度分布の観察を行い、これらの量の比較検討より繰返荷重下でのき裂先端での結晶変形の特徴が明らかにされている。第9章では0.03% C鋼を用い疲れ破面近傍における結晶変形の分布の細束X線回折法による観察について述べている。き裂伝ば速度とき裂先端近傍の結晶変形分布の関係を明確にするため、疲れき裂材を液体窒素温度で脆性破壊させ、新たな破面におけるき裂先端部分を観察する方法をとっている。 dl/dN の増加とともに過剰転位密度 D は増大し、副結晶粒径 t は減少するが、副結晶粒が形成されている領域の大きさ η_s も dl/dN の関数であり、 η_s はすべり帯領域の約1/2であることを見出している。また dl/dN が 10^{-5}mm/cycle 以下の場合は副結晶粒界における過剰転位密度 D は伝ば速度に関係なくほぼ一定で約 $2.0 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ となり、この値は第1章で述べた平滑材のき裂発生時の値と同じであることを明らかにし、このことよりき裂成長の低速領域では副結晶粒界でき裂が進展することを推論している。また伝ば速度が上より大きい場合はき裂先端の鈍化と鋭化の連続の様相を呈し、鈍化にはき裂先端領域の剪断流れが寄与すると述べている。き裂速度の全領域を通じ、き裂先端部における過剰転位密度 D を測定し、これより単純引張りにおける真ひずみ ϵ_F に換算すると、 ϵ_F と dl/dN の関係は炭素含有量、試験片形状および疲れの負荷条件に依存しないことを明らかにしている。第10章では0.03% C鋼につき、疲れ破面を光学および電子顕微鏡により観察し、 dl/dN と破面形態の関係を論じている。 dl/dN が 10^{-5}mm/cycle 以下では破面は無地、ラセンおよび平行縞模様であり、所謂条痕は $2 \times 10^{-5} \text{mm/cycle}$ 以上の高い伝ば速度で認められ、 dl/dN と条痕間隔 S との関係につき詳細な検討を行っている。

第Ⅳ編では疲れき裂の発生および伝ばに及ぼす切欠きの効果につき述べている。第11章では0.03% C鋼の鋭い切欠をもつ試験片につき、切欠底でのき裂発生時の過剰転位密度 D を測定し、これより有効応力振巾 σ_{eff} を求めると、これとき裂発生繰返数 N_{nc} との関係は平滑材における応力振巾 σ とき裂発生繰返数

Ne との関係に一致することを示している。また切欠底でのすべり帯の発生とき裂発生の関係につき観察結果に基づき詳細に論じている。第12章では切欠きの影響のもとに成長するき裂の伝ば機構を論じている。き裂先端の一結晶粒における過剰転位密度Dの測定結果より見ると、第1期過程の伝ばと切欠きの影響のない第2期の伝ばとは微視的機構においては差はなく、このことより第1期の伝ば挙動に対する切欠きの影響を定量化するパラメータの導入を考察し、鋭い切欠底での疲れき裂の停留条件につき検討を行っている。

論文審査の結果の要旨

金属材料の疲れ機構の解明は材料強度学上極めて重要な問題で、近時色々の角度より研究が行われている。本論文は工業用金属材料として最も広汎に使用される各種炭素鋼について、その疲れによるき裂の発生および成長の過程を、光学および電子顕微鏡ならびに細束X線回折法による微視的組織の変化の定量的観察結果に基づいて、疲れ破壊の微視的機構を検討し、これを破壊力学との関連において論じたもので、その主な成果の概要は次の通りである。

1. 疲れの進行はすべり変形に伴う微視的副結晶組織の発達と密接に関連し、焼鈍材の疲れの場合き裂発生時の副結晶粒界の過剰転位密度は負荷応力振巾の広い範囲にわたって一定値をとることを明らかにし、副結晶粒界に形成された小孔の連結によるき裂発生機構を支持している。熱処理高硬度材の疲れにおいても局所に集中したすべり変形によりき裂が形成されることを実証している。

2. 焼鈍材に発生した疲れき裂先端近傍の微視的組織変化を観察し、き裂伝ば速度 dl/dN と微視的組織変化に関する諸量の関係を明らかにしている。すなわち、き裂先端の一結晶粒に存在する過剰転位密度ならびに副結晶粒径と dl/dN の関係は試験片形状や負荷形式に関係なく同一で、き裂伝ば速度がき裂先端の一結晶粒中の結晶変形量に対応するとしている。さらに負荷応力振巾、き裂長さ、すべり帯領域の大きさの関係を力学的に検討し、従来の線形破壊力学に基きき裂伝ば速度の式を修正して微視組織変化量を含むより広い適用性をもつき裂伝ば則を提唱している。

3. 伝ばき裂先端部における副結晶粒界過剰転位密度はき裂伝ばの低速領域においてほぼ一定値をとり、この値はき裂発生時のそれにほぼ等しい。またき裂先端の一結晶における平均過剰転位密度より換算したき裂先端部真ひずみ量と dl/dN の関係は含有炭素量の低い鋼種の範囲で同一である。

4. き裂伝ばの低速領域では主き裂先端に形成される副結晶粒界に生成される微視き裂を連ねることによりき裂は成長し、高速領域では主き裂先端での塑性流れがき裂の成長を支配することを明らかにしている。

以上を要するに工業上重要な金属材料の疲れ強度に関する基本的問題を、巨視的な力学と主として細束X線観察より得られる微視組織変化量との定量的関係をもとに解析し、疲れ強度問題研究に新しい視野を与えるものであって、学術上、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。