

【170】

氏名	駒井謙治郎 こま い けん じ ろう
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第138号
学位授与の日付	昭昭43年5月23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専攻
学位論文題目	FUNDAMENTAL STUDIES OF ENVIRONMENTAL EFFECTS ON FATIGUE OF METALS (金属の疲労に及ぼすふん囲気の影響に関する基礎的研究)
論文調査委員	(主査) 教授 遠藤吉郎 教授 河本 実 教授 平 修二

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、金属の疲労に及ぼす雰囲気の影響に関する基礎的な研究の結果についてのべたもので、緒言と3篇および結言よりなっている。

緒言は雰囲気が金属の疲労に重要な影響をおよぼすことから、本研究を行なうに至った経緯と目的を述べている。

第1篇は種々の雰囲気中で鋼の回転曲げ疲労試験を行ない、疲労き裂の発生と進展におよぼす雰囲気の影響を論じたもので、3章よりなっている。疲労き裂の進展は新たに製作したうず電流探傷装置により非破壊で連続して測定されている。

第1章は、疲労き裂の発生と進展におよぼす大気中の酸素、水蒸気の影響を求めるため、大気中、湿度を $2 \times 10^{-3}\%$ 以下にした乾燥空気中、および純度99.99%以上のアルゴン中で鋼の回転曲げ疲労試験を行ない、S-N 曲線を求めるとともに、切欠き材に対しては疲労き裂の進展速度を測定して、大気の影響を論じている。鋼においては、大気中の水蒸気はき裂発生に対しては害作用をもつが、き裂進展におよぼす影響は小さい。酸素の影響はき裂進展にとくに顕著であり、アルゴン中では空中に比べて著しくき裂進展速度が小さくなる。酸素の化学吸着によってき裂面の表面エネルギーがアルゴンの物理吸着状態の約1/2に低下し、き裂先端で塑性変形しやすくなっていることをこの原因と考えた。疲労試験中雰囲気を変えたときのき裂進展の挙動が、応力を変動したときのそれと類似していることから、このことを裏付けている。

第2章は、種々の油雰囲気中で鋼の回転曲げ疲労試験を行ない、疲労強度におよぼす油雰囲気の影響について考察している。油中における疲労き裂の進展速度は空中に比べて非常に小さくなり、かつ、使用した油の粘度が高いほどき裂速度が減少することから、き裂内に侵入した油のくさび作用によるひずみ振幅の減少が主原因であるとしている。油が大気中の酸素、水分の接近を妨げる防護効果は油中に含有されている酸素のために期待されず、油中のき裂進展速度は応力によっては、珉のくさび効果にもかかわらず、アルゴン中より大きくなる。ステアリン酸を少量添加した活性油中では、有機性脂肪酸の吸着膜によって

含有酸素の接近が妨げられるため、き裂進展速度は脱気した不活性油中の速度とほぼ等しく、最低になることなどを明らかにしている。

第3章は、軟鋼の回転曲げ疲労におけるき裂進展に及ぼす腐食性雰囲気の影響について考察している。塩水中でのき裂進展速度は疲労試験の初期においては空中とほぼ等しいが、あるき裂深さよりき裂速度が空中より小さくなる。この原因としてき裂壁面間に生ずる腐食生成物のくさび効果を考え、清水中ならびに塩酸中におけるき裂進展の挙動からこれを裏付け、平滑材を含んで切欠の鋭さの影響を論じている。

第2篇では、実働荷重下の腐食疲労について研究している。実働荷重下の低サイクル腐食疲労に対しては、試験片表面電位の1サイクル間ならびに応力繰返しにともなう変化を測定し、電位の挙動から考察を加えた。また、変動応力振幅下の高サイクル腐食疲労に対しては、腐食疲労き裂の進展挙動から論じており、4章よりなる。

第1章は、低サイクル腐食疲労におよぼす応力波形の影響を明らかにするため、台形の応力波で無応力時間、最大応力保持時間、および応力変動時間を種々に変化して組合わせた低サイクル腐食疲労試験を鋼ならびにAl合金について行ない、つぎのようなことが知られた。応力波形は腐食疲労強度に大きな影響を与え、応力変化速度が小さくなると寿命は減少するが、これは腐食性雰囲気中での試験片腐食電位のひずみに対する追従性に原因していることを、1サイクル間の電位変化、ならびに、応力繰返しにともなう電位変化から明らかにしている。したがって、腐食疲労における速度効果は応力が変動している時間に最も強く影響されているが、1サイクル中の最大応力保持時間、無応力時間も寿命に影響をおよぼすことを明らかにし、この場合も1サイクル間の電位変化から説明している。

第2章は、応力腐食割れに敏感なAl合金の低サイクル腐食疲労における平均応力の影響について考察している。このような材料の塩水中の時間強度線図は、両振り疲労強度とその指定繰返し数に相当する寿命時間の応力腐食割れ強度とを通る直線で表わされること、ならびに、平均応力の影響は腐食電位に対しては無応力電位に印加された平均電位としてあらわれることを述べている。

第3章は、腐食性雰囲気中での高力鋼の塑性疲労挙動について論じている。腐食性雰囲気の影響は塑性疲労においては腐食ピットによるひずみ集中に基づく履歴仕事の増加としてあらわれ、これが腐食疲労強度が空中強度より低下した原因であることを明らかにし、与えられたひずみ幅とサイクル中の電位変動の幅が比例関係にあることを説明している。さらに、ある程度以上応力繰返し速度が小さくなり、電位が応力波形に完全に追従するようになると、腐食疲労における速度効果が現われなくなることが知られた。

第4章は、変動応力振幅下の空中ならびに塩水中の高サイクル疲労挙動を、疲労き裂の進展を測定することにより考察したものである。空中、塩水中とも高→低二段応力下では応力減少後き裂の停留期が存在することまた塩水中においては低→高二段応力化で応用増加後しばらくき裂速度の加速が見られることを明らかにしている。塩水中二段多重応力下では上述のき裂の停留とき裂の加速が相殺されるため結局直線被害則でよく成り立つようになると述べている。

第3篇では、酸性溶液中で繰返し応力を受ける鋼の電気化学的挙動を分極曲線を測定することにより考察したものである。アノード分極曲線は繰返し応力により大きく影響されるが、カソード分極曲線はほとんど影響を受けない。応力繰返しにともなう腐食電流はき裂速度と同様な変化をして、腐食疲労の被害を

表わし、その応力繰返しに伴う増加は金属活量の顕著な増加に基づくものであって、活性化エネルギーの変化は腐食疲労の進行に対してむしろ負の効果をもつ。腐食電流と腐食電位の間には半対数尺上で直線関係が成立し、腐食電位の挙動から腐食疲労被害を評価できるが、その際考えねばならない制限があることなどを明らかにしている。

結言は以上の結果を総括したものである。

論文審査の結果の要旨

機械、機造物の疲労強度は船舶や化学機械のように明らかな腐食性雰囲気中で作動するものだけでなく、大気中の酸、水蒸気、油中の微量な酸などの影響をうけて低下する。従って、金属の疲労強度におよぼす雰囲気の影響に関する研究は疲労挙動の研究に重要であるだけでなく、実用上の重要性ももつものであるが、境界領域の問題であるため十分ではなかった。本研究は疲労強度におよぼす雰囲気の影響を吸着と電気化学的腐食の立場から実験、考察した基礎的研究である。

研究は主として疲労き裂の進展を対象としているので、著者はき裂深さを試験片を破壊することなく測定するために、うず電流による測定法を考案し、高い精度で連続的にき裂進展の状態を知ること成功した。この技術を用いて鋼の疲労強度におよぼす種々の雰囲気の影響を試験して、大気中のき裂速度はアルゴン中のそれに比べて非常に早く、その原因は大気中の酸素の化学吸着による表面エネルギーの低下にあること、油中における疲労き裂の進展速度は空中に比べて非常に小さくなるが、この主原因はき裂内の油のくさび作用によるものであって、鉱油は大気中の酸素の接近を妨げる効果がなく、微量の脂肪酸を含有するとき、き裂内に生じた吸着膜が酸素の接近を妨げてき裂速度を遅くし、脱気した不活性油中のき裂速度と等しくなること、また酸化性の腐食液中では疲労き裂の発生は非常に速められるが、その進展はき裂内に生じた腐食生成物のくさび作用のため遅くなること、そのため腐食生成物を溶解する酸溶液中ではとくにき裂速度が速いことなど重要な知見を得ている。

さらに著者は実働荷重による腐食疲労に関して研究を行なっている。この研究に当たっては、応力変動の1サイクルの間の腐食電位の変化が始めて測定され、電位の挙動より腐食疲労の特性の研究が著しく促進された。すなわち、腐食電位はひずみ変動にある遅れをもって変化し、この遅れは応力変動の速度に最も影響され、応力波形、応力繰返し速度の影響の原因が明らかにされた。また平均応力の影響は腐食電位に対しては無応力電位に印加された平均電位として現われる。塑性疲労においても、与えられたひずみ幅とサイクル中の電位変動の幅との関係が明らかにされた。さらに、変動荷重による疲労き裂の進展速度の測定と考察とより、腐食疲労寿命は空中における疲労寿命より、直線被害法則から求められる寿命に近いことをのべて、設計の基準を与えるとともに、その原理を明らかにした。

このように腐食疲労の研究に腐食電位が用いられてきたが、著者は酸性溶液中で鋼の疲労に伴う分極曲線の変化を測定し、アノード分極曲線は繰返し応力により大きく影響されるが、カソード分極曲線はほとんど影響をうけないことより考察を進め、腐食疲労の被害は腐食電流密度によって表わされ、その増加は金属活量の増加に基づくものであること、ならびに従来測定されてきた腐食電位を腐食疲労の被害の尺度に用いる根拠と制限とを明らかにしている。

これを要するに、本論文は金属の疲労におよぼす雰囲気の影響を基礎的に、かつ広範な条件の下で研究し、その理論と設計基準を与えたものである。さらに得られた知見は広く表面工学に活用されるものであって、学術上、ならびに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の価値を有するものと認める。