

静岡大学工業短期大学部

村松克巳

1. 緒言

近年, LNG および LEG の貯蔵タンク, 車両, 船舶, 起重機等の大型溶接構造物に Al-Mg 系および Al-Zn-Mg 系のアルミニウム合金がかなり使用されるようになり, その設計に際しては疲労強度が重要視されている。著者らは前報¹⁾²⁾において A5083-O 合金の平滑材および切欠材の P-S-N 線図 (P: 非破壊率, S: 設定応力, N: 破断までの繰返し回数) を求め, 応力をパラメータとした P-N 線は対数正規確率紙上において, 高応力レベルでは 1 本の直線で表わされ, 疲労限度に近い低応力レベルでは 2 本の直線で表示でき, これは破壊機構の違いによるものであらうと推論してきた。

P-S-N 線図についての研究は信頼性工学的見地から, 最近かなり研究され発表されてきているが, いまだ統一の見解は得られていないと思われる。この方面の研究には破面形態との関係も検討することが必要と思われるが, あまり行なわれておらず, アルミニウム合金についての報告は見当らない。本報はこれらの点に着目して, 溶接構造物用 Al-Mg 合金切欠材について P-S-N 線図と破面形態の関係を検討した結果である。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材および試験片

供試材は前報¹⁾と同じ Al-Mg 系の A5083-O, 直径 17 mm の引抜棒であり, その化学成分を表 1 に示す。試験片は 60°-V 型環状切欠 ($D = 12.50$ mm, $d = 10$ mm, $t = 1.25$ mm, $r = 0.30$ mm) で形状係数 K_t は 3.0 である。

表 1. 化学成分と機械的性質

Chemical composition (%)								Mechanical properties		
Mg	Zn	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Ti	Yield strength (0.2% σ_s) (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
4.30	<0.01	0.74	0.01	0.17	0.09	0.19	<0.01	14.1	31.9	11

供試材繊維組織を有しており, 縦断面についてみると, 周辺部は内部に比してやや小さい短冊形の結晶粒で, 切欠底周辺では $16 \mu \times 25 \mu$, 中心部では $19 \mu \times 57 \mu$ である。

2.2 実験方法

疲労試験は小野式回転曲げ疲労試験機 (3420 rpm) を用いて行なった。破面観察には前報の実験に使用した試験片と補足実験で使用した試験片について, 光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を使用した。試験片表面のき裂伝播の観察には実体顕微鏡を用い, き裂伝播曲線はある繰返し数で試験機をとめ, 80 倍でき裂長さも測定して求めた。遷移位置およびストライエーション間隔の測定は光学顕微鏡により 400 倍の倍率で行なった。

3. 実験結果

3.1 き裂伝播と破面形態

応力別, 寿命順に破面のマクロ写真を図 1 に示す。応力レベルが 12.0 kg/mm² の場合, 1 例についてのべると, 繰返し数 3×10^3 においてはき裂は切欠底表面全周に伝播し,

2.40×10^4 にて破断した。その破面のマクロ写真を図1の左上に示す。破面をみると、き裂の起点は53箇所、切欠底にほぼ均一に分布しており、これらの起点からの独立したき裂が個々に進展合体し、切欠底表面を伝播するとともにほぼ中心に向かって内部方向に進展していることがわかる。主起点と思われる起点からき裂の進展方向に破面を観察してみると、切欠底から試験片軸方向にほぼ45°の傾きで剪断型で14μmの大きさの1結晶粒のファセットで入っている。これが第Ⅰ段階き裂で、このあとへき開破面

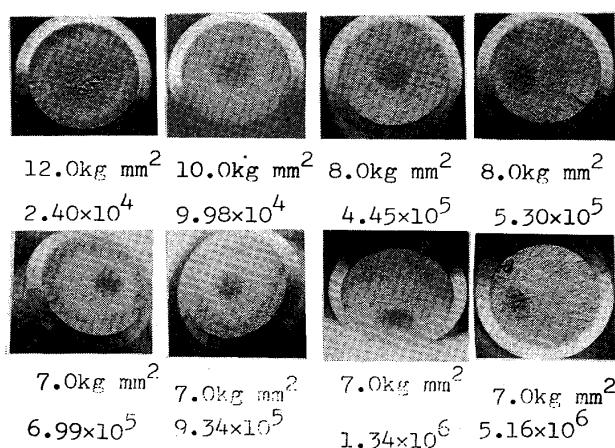


図1 破面のマクロ写真

が次第に多くなり、それにつれて破面はマクロ的に軸に垂直に近づき、ついで急に引張型のへき開破面が多くなり、ストライエーションと粒界破面を混ざるようになる。さらに内部に進展するとこれらが増加し、破面は起伏のはげしい様相を呈するようになる。この間、き裂は粒界によって進行方向が変えられ、組織敏感性を示す。この段階が第Ⅱa段階である。この段階をすぎると急に粒界破面は少なくなり、ほとんどがストライエーションとなり、さらに進展するとディンプルが混り、ついにディンプルだけの最終破面となる。このストライエーションを主体とする段階が第Ⅱb段階で、ストライエーションにディンプルを混えた段階が第Ⅱc段階である。第Ⅱb、第Ⅱc段階ではき裂が粒界によって進展方向が変えられることは少なくなる。第Ⅱa段階と第Ⅱb段階の遷移位置は肉眼でも見ることができ、この例を図2に示す。矢印Aが引張型破面の急増する位置を、矢印Bが第Ⅱaと第Ⅱb段階の遷移位置を示す。

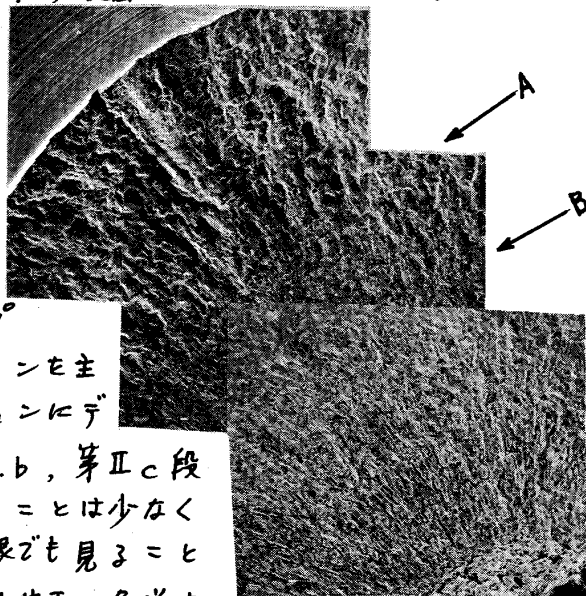


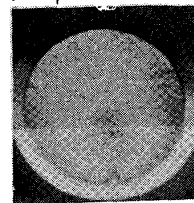
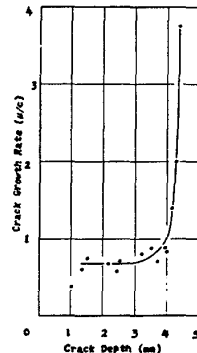
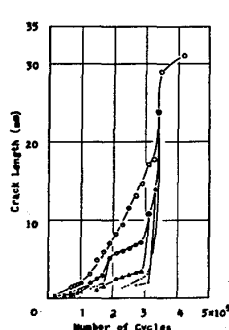
図2 破面のSEM写真

第Ⅰ段階き裂は剪断型であるため、切欠底表面に発生しても80倍の光学顕微鏡観察ではとらえることができず、開口して認められるのは第Ⅱa段階き裂になってからであった。したがって、ここでは第Ⅱa段階き裂の発生をき裂発生とする。この12 kg/mm²の応力レベルでは、第Ⅰ段階のき裂の破面は破面の外縁全円周に見られる。この例では、疲労寿命のほぼ98%がき裂伝播に費やれることがわかる。

応力レベルが10.0, 8.0, 7.0 kg/mm²の短寿命側、6.5 kg/mm²の短寿命側のものは、12.0 kg/mm²の場合と似ている。この場合、応力が低くなるほど最終破断位置の偏心の程度が大きくなり、第Ⅱa段階から第Ⅱb段階への遷移に際してき裂の向きが変る傾向が大きくなる。切欠底全周をき裂が伝播し終ったときの試験片内部のき裂先端部は、10.0 kg/mm²では第Ⅱa段階、8.0 kg/mm²ではⅡaとⅡbの遷移段階、7.0 kg/mm²および6.5 kg/mm²で

は第Ⅱb段階となる。またき裂伝播寿命の全寿命に対する比は、例えば 10.0 kg/mm^2 では87%、 8.0 kg/mm^2 では70%、 7.5 kg/mm^2 で76%、 6.5 kg/mm^2 でほぼ57%等となっている。応力が低くなるほどこの比は小さくなるが、き裂伝播寿命が全寿命の大半をしめしている。

図3(a)は 8.0 kg/mm^2 の応力レベルで試験したもので、 6×10^4 でき裂が発生し、後から発生した独立き裂と合体し合っ 4.54×10^5 にて破断した試験片の切欠底表面のき裂伝播曲線で、(b)はこの試験片の破面の主起点からき裂方向に沿ってストライエーションを追跡して求めた伝播曲線で、ほぼ $0.7 \mu\text{m/c}$ の定速度段階が見えゆる。これがⅡb段階と思われ、ⅡaとⅡb段階の遷移位置は約 1.3 mm 内部に入るとなる。(c)がその破面である。(d)は別の試験片で 2.8×10^5 にて切欠底表面全周にき裂が伝播し、こいで試験片をとり出し、引張試験機で破断したもので破面の内部き裂の先端はⅡaとⅡbの遷移段階となっている。



(c) 8.0 kg/mm^2
 4.54×10^5 にて破断

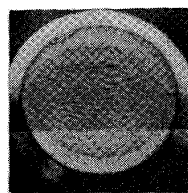


図3 伝播曲線と破面

(d) 8.0 kg/mm^2
 2.8×10^5 にて切欠底全周にき裂が伝播し、こいで試験片をとり出し、引張試験機で破断したもので破面の内部き裂の先端はⅡaとⅡbの遷移段階となっている。

P-N線において長寿命側の直線に属するものの1例をあげる。これは 6.5 kg/mm^2 の応力レベルで試験したもので 1.2×10^7 にてき裂が見出され、 1.36×10^7 にて切欠底表面全周に伝播した。こいで試験片をとり出して破面をしらべた。この場合、き裂発生寿命はほぼ88%となる。き裂の起点部の写真を図4に示す。表面下の内部介在物が起点となっていると思われゆる。

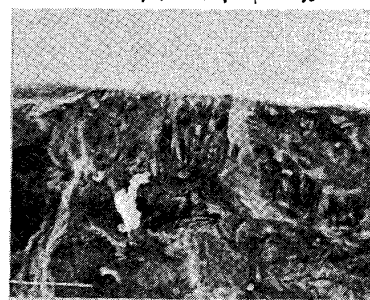


図4 長寿命試験片の起点

3・2 き裂の起点

起点数と破断寿命の関係を図5に示す。

3・3 遷移位置

引張型の破面が急増する位置、第Ⅱaから第Ⅱb段階への遷移位置と破断寿命の関係を図6に示す。

図5 起点数と寿命

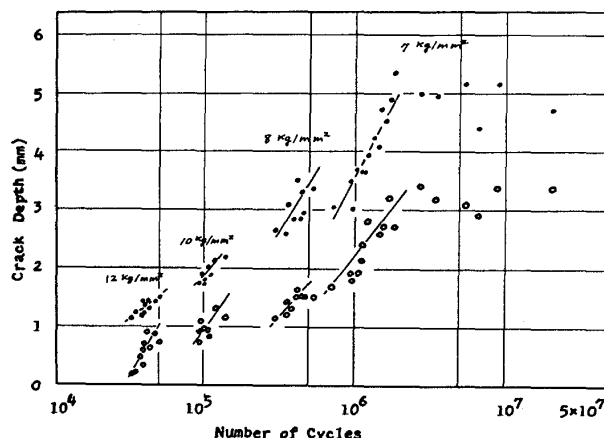
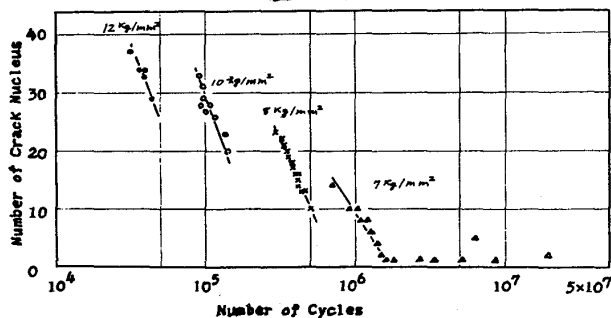


図6 遷移位置と寿命

参考文献

- 1) 村松克巳, 田中英司, 竹内勝治: 軽金属, 23(1973), 317.
- 2) 村松克巳, 伊藤正夫, 田中英司, 竹内勝治: 住友軽金属, 技報, 15(1974), 1.