

Q-45

Al-Mg-Si系（6000系）合金材料の溶接熱影響部に発生する微小割れについて教えてください。

A-45

アルミニウム合金溶接部に発生する溶接割れには、発生場所やその形態によって、次のような種類があります。

- ① 溶接ビードにおける縦割れ、横割れ、クレータ割れ、ルート割れおよび微小割れ
- ② 多層溶接での当パスに隣接したそれ以前の溶接金属熱影響部における微小割れ
- ③ 母材溶接熱影響部における止端割れ、ポンド近傍の微小割れ

今回、おたずねの微小割れは、③に分類されるものです。

さて、溶接構造用材料として使用されるアルミニウム合金にはAl-Mg系（5000系）、Al-Mg-Si系（6000系）、Al-Zn-Mg系（7000系）合金などがあります。それぞれの合金系ごとに割れ感受性の高い成分範囲が存在しますが、それは凝固温度域と密接な関係があるためとされています。溶接構造用として適用される合金は、これらの成分範囲を回避したり、結晶粒微細化元素を添加するなどして割れ発生の抑制に配慮がなされています。上記実用合金における一般的な割れ感受性は、Al-Mg系合金は割れ発生しがたく溶接性は良好であると経験的に知られています。Al-Mg-Si系やAl-Zn-Mg系合金は、Al-Mg系合金に比較して割れが生じやすい傾向にありますが、Al-Zn-Mg系合金の方が割れにくいとされています¹⁾。Al-Mg-Si系合金の実用合金は、この割れ感受性の高い成分範囲に比較的近いのですが、Al-Mg系溶加材（たとえば5356）あるいはAl-Si系溶加材（たとえば4043）を用いることで、その割れ感受性の高い領域から回避する手段が溶接施工面から講じられています。しかし、母材熱影響部にまで溶加材成分は希釈されにくいために、たとえ素材面からも割れ感受性が高くなると言われる粗大な再結晶粒にまで成長しないような各種処置が取られていなくても、過大な溶接入熱が供給された場合は、微小割れが発生する場合がありますので溶接条件の管理には注意が必要となります。

Al-Mg-Si系合金材料に発生する溶接熱影響部の微小割れを、結晶粒微細化元素を添加しない場合の例をFig. 1に示します²⁾。写真は突合せ継手をミグ溶接した場合の例で、溶接後板厚方向に研削したもので、溶接部近傍の熱影響部の結晶粒界に沿って比較的大きな微小割れが多数観察されたものを示します。これら微小割れ部の破断面をSEMにて観察した結果を、Fig. 2に示します²⁾が、溶融した状況を呈するいわゆる典型的な高温液化割れであり、

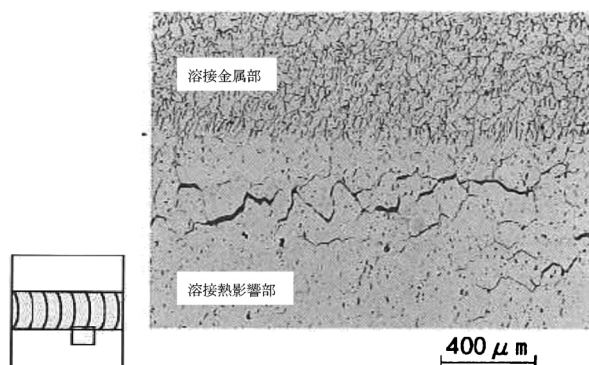


Fig. 1 微小割れ部のマイクロ組織（光学顕微鏡）

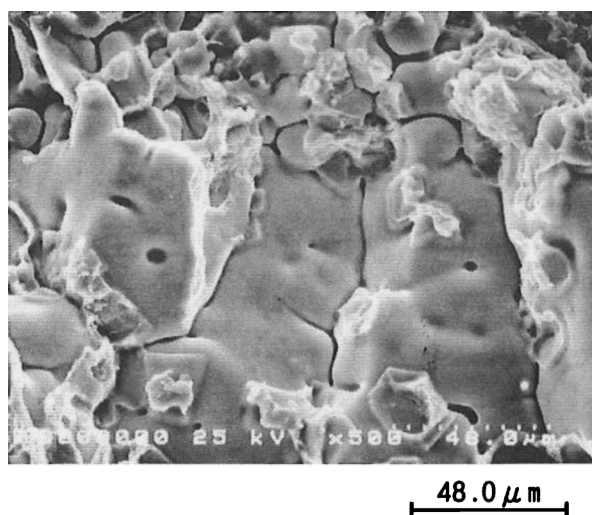


Fig. 2 微小割れ破断面のSEM観察

継手強度や伸びの低下を来し、継手性能上、支障の生じる場合があります。

この微小割れの発生機構については次のような議論がなされています。

基本的な発生機構としては、「昇温過程において固相線温度以上・液相線温度以下に加熱される領域の粒界近傍が一旦溶融し、その後の降温過程においてその粒界近傍の溶融部が未だ凝固完了していないタイミングで、溶接熱による膨張収縮や溶接金属部の凝固収縮に起因する種々の変形が、この粒界近傍の溶融部に作用し、割れ限界ひずみを超えて開口させる。さらにそれに隣接する凝固完了前の溶接金属がその開口部に充填されない場合に、割れに至る」となります。ここで、溶接熱による膨張収縮、溶接金属の凝固収縮に起因する種々の変形とは、縦収縮・横収縮・角変形・回轉變形などを引き起こす溶接過程での変形のことです。

あり、母材特性、溶加材特性はもちろんのこと、自拘束をも含む拘束条件にも影響を受けることとなります。この溶接金属部ならびに母材熱影響部の最終凝固温度の詳細やその原因などについて、種々報告がなされているという状況にあります。固相線温度以下の部位にも割れが存在すること³⁾、また溶体化処理にて消滅する程度の偏析や共晶融解が観察されたこと⁴⁾などを考え合わせると、溶接熱により粒界近傍が溶融した後の凝固時に偏析や低融点化合物など生じることで、固相線温度以下に液膜状態が存在し伸びや強度を有しない脆性温度域が存在していると推測されます。

さて、微小割れの発生への Mn の影響やレーザー溶接適用の影響について以下に記します。Mn は、一般には結晶粒を微細化するために微小割れが抑制できると報告され、ひずみの 1 粒界当たりの集中が緩和されると同時に粒界の変形能が改善されるためと推定されています。また、Mn は Al-Fe-Mn-Si 系化合物生成によりマトリクス中の Si 量を減少させ、素材の固相線温度を上昇させるために前記微小割れ発生機構の観点から微小割れを抑制するという説もあります⁵⁾。

レーザー溶接に関する報告⁶⁾からは、ミグ溶接に比較して

微小割れの発生は抑制されたとし、溶接金属の体積量がミグ溶接の 1/4、板厚方向の溶込みがミグ溶接に比較して寸胴形状に近いことなどから、微小割れ発生機構でいう凝固収縮量が少なく、熱影響部の粒界開口に与える方向のひずみが少ないことなどによると推定されています。

以上のように、素材の結晶粒微細化ならびに施工時の溶接入熱適正化などを講じることで、各種溶接構造物に問題なく適用されてきています。

参 考 文 献

- 1) 薄板加工法委員会割れ防止研究小委員会編：アルミニウム合金の溶接割れ防止マニュアル，(財)軽金属溶接構造協会発行，昭和58年12月
- 2) 江間，笹部：溶接構造用アルミニウム材料の開発研究報告，平成13年度，(財)日本アルミニウム協会発行，p188-207
- 3) 加藤，西尾，山口，岡野：軽金属，Vol. 52 (2002)，No. 2，p76-81
- 4) 清水，山中，奥田：溶接学会誌論文集，Vol. 18 (2000)，No. 4，p519-526
- 5) 笹部：軽金属，Vol. 60 (2010)，No. 5，p213-219
- 6) 笹部，松本：軽金属溶接，Vol. 48 (2010)，No. 3，p95-103