

アルミニウム合金溶接継手の引張疲労強度

時 弘 義 雄 *

要 旨

アルミニウム合金を溶接する際に生ずる溶接部欠陥が、疲労強度におよぼす影響を調査する目的で、突合わせ溶接継手における溶接部欠陥の JIS 級別と疲労強度の関係を求め次の結論をえた。

母材 52S-O、芯線 56S においては、余盛りを有する場合には、溶接欠陥は疲労強度に影響をおよぼさない。余盛りを削除した場合の疲労強度は、JIS 1 級のみや、高くその他の場合は疲労強度に変化はない。

1. 緒 言

近時耐食性アルミニウム合金の発達により、その各方面への利用が盛んにおこなわれている。またそれに伴って、その機械的性質も明らかにされてきた。筆者はさきにアルミニウム合金点溶接の疲労強度を明らかにしたが、それについて突合わせ溶接継手の疲労強度と溶接欠陥の関係を明らかにした。この種の実験は鋼に対しては、I.I.W. 等級や JIS 等級との関係において広くなされている。¹⁾²⁾しかるにアルミニウム合金に対しては、溶接部の疲労強度は明らかにさたてているが、³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾溶接欠陥との関係において求められているものは少ない。⁷⁾⁸⁾

筆者は車輛用軽合金として主用される 52S-O 材を、芯線 56S 材を用いて溶接し、溶接欠陥を JIS の規定により級別をおこない、JIS 級別と疲労強度の関係を求めたので以下に報告する。

2. 実験結果

2.1 試験片

使用した母材は 52S-O 材 (JIS アルミニウム合金第 2 種) で、その機械的性質および化学成分を表 1 にしめす。試験片は 200×300mm の 2 枚の板を両面溶接したので、こたを等分し、図 1 にしめすような試験片寸法に加工した。溶接条件は表 2 に示すとおりである。使用線材は 56S-O 材で芯線予熱はおこなわず、母材は 200°C に予熱したものと予熱しないものの両者がある。なお裏は

表 1 試験片の機械的性質

化学成分 (%)					機 械 的 性 質		
Mg	Cu	Mn	Cr	Al	抗張力 (kg/mm ²)	耐力 (kg/mm ²)	0.2% ブリネル硬度 (500kg/10mm)
2.5	0.1	0.1	0.25	残	19.0	8.5	45

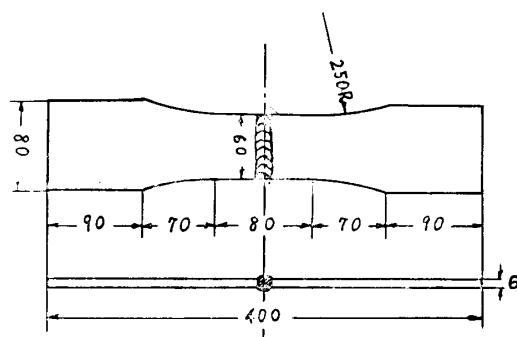


図 1 試験片寸法

表 2 溶接条件

電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	アルゴン流量 (l/mtn)
150~180	23~25	400~500	20

つりもおこなわず、すべて一層溶接で溶接後の熱処理はおこなっていない。試験片のなかには溶接の際、溶接部に角度形を生じたものもあったが、これらは各繰返し毎に溶接部に曲げ応力が加えられ、正確な引張疲労強度がえられないために除外し、真直ぐなもののみについて試験をおこなった。全試片とも図 1 の試験片寸法に加工後、溶接部の X 線撮影をおこない、その溶接欠陥を JIS Z2341 (1955) による放射線透過法により、等級判定規準の根拠に照合して級別をおこなった。たゞこれを適用したのは 5 級以上であり、5 級よりいちじるしい欠陥を有するものはすべて 6 級とした。欠陥の多くは気泡によるもので、6 級においては溶け込み不足が目立った。余盛り削除に際しては、最終仕上げはグラインダーをおこない、その研磨方向は溶接線の直角方向である。なお余盛りを削除した試片については余盛り削除後に X 線撮影をおこない、溶接部欠陥の JIS 級別に基づく判定をおこなった。

* 工業短期大学部機械工学教室

2.2 疲労試験機

疲労試験機はアムスラ型万能疲労試験機（東京衡機製作所製）で、最大秤量50t、最低荷重2t、振動数毎分200～600である。試験方法は最低荷重2t一定とし、繰返し数は毎分600回とした。

2.3 疲労試験結果

試験結果を縦軸を上限応力とする S-N 曲線であらわし、図2および3にしめす。これらの結果からみると、余盛りを有する試片の疲労強度は、内部欠陥に無関係にはほぼ一定した値（上限応力 9.7kg/mm²）をしめし、いずれも母材の疲労強度（上限応力13.7kg/mm²）のほぼ70%をしめた。これは他の実験結果⁷⁾と異っているが、その原因については後に考察をおこなう。

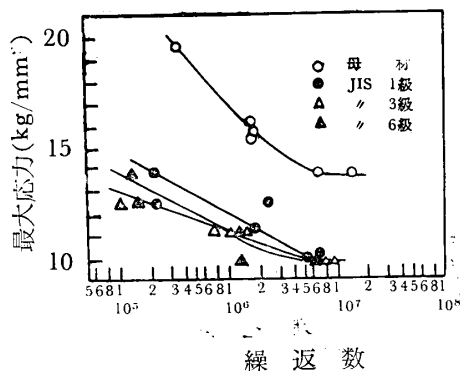


図2 余盛りを有する試片の S-N 曲線

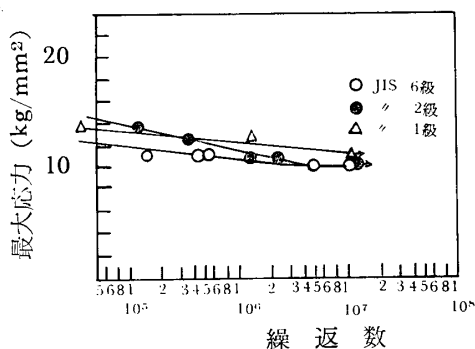


図3 余盛りを削除した試片の S-N 曲線

余盛りを削除した試片においても、溶接欠陥による JIS 級別別と疲労強度の間にはあまり差はみられず、2 級以下においてはほぼ一定の値(上限応力10.4kg/mm²)で、1 級のみや高い疲労強度(上限応力11.1kg/mm²)をえた。ここに疲労強度というのは 10⁷ 回時限疲労限のことである。

3. 考 察

3.1 余盛りを有する試片

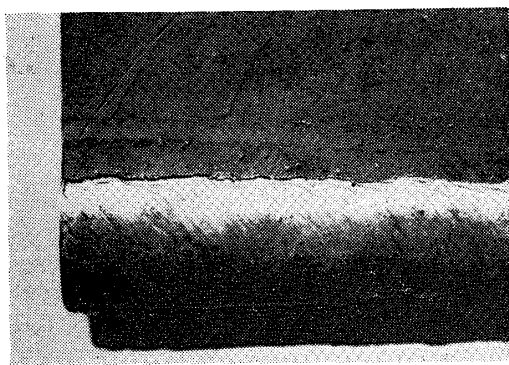


図4 余盛りを有する試片の亀裂

余盛りを有する試片においては図4にしめすように、亀裂はすべて溶接止端部に発生し、その溶接線にそってすゝんでいる。いま溶接止端部を拡大してみれば、応力集中源となると思われる点が多数存在している。その中で比較的滑らかな余盛り形状を有する試片について、溶接止端部の拡大写真をとり、溶接部の半巾 a 、止端部の曲率半径 ρ を測定すれば $a/\rho \approx 50$ をしめしている。いま次にしめす H. Neuber の近似計算式⁹⁾

$$\sigma_{max}/p = 1 + (1 + 4v_0)(\sqrt{1 + v_0^2} - v_0)/4v_0(1 + 2v_0)$$

ここに p は板の公称応力で、 v_0 は次式から定められる値である。

$$a/\rho = (4v_0^3)^{-1} \{1 + 20v_0^2 - 8v_0^4 - (1 - 8v_0)^{3/2}\}^{1/2} \{2(1 + v_0)\}^{-1/2}$$

を適用してみれば、 $a/\rho = 50$ に対する応力集中率は約 2.6 である。

一方 JIS 6 級に相当すると思われる気泡および溶滓を含む場合には、その形状係数を簡単な仮定をおいて求めれば 1.38～1.60 である。¹⁰⁾ したがって溶接止端部の応力集中は、溶接欠陥によるそれよりかなり大きいものと思われ、そのため溶接止端部より亀裂が発生し、溶接欠陥が疲労強度に影響を与えないものと思われる。

3.2 余盛りを除去した試片

余盛りを除去した試片の破壊の様子を図5にしめす。余盛りを削除した試片においては、繰返し始めに図6にしめすように、溶接部の中央に、しばらくにはた波模様の発生をみた。なお 10⁷ 回の繰返しに耐え、亀裂の発生

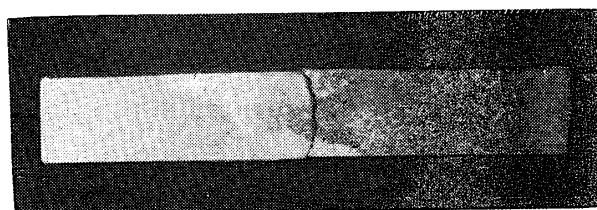


図5 余盛りを削除した試片の破壊模様

をみない試片においてもかゝる波模様は観察された。亀裂はすべてこの波模様から発生し、溶接線にそって進んでいる。余盛りを除去した試片において、溶接欠陥が疲労強度に影響しないのは、この波模様が切欠き効果をしているからではないかと思われる。

疲労強度に影響をもつと思われる波模様発生の原因を検討するため、溶接部付近の硬度測定をおこなった。図7には溶接部を中心にして試片表面を荷重方向に、シヨア硬度計(D型)を用いて測定したものをしめす。図7よりみれば、溶着部中央の硬度が大きくなっているが、これは芯線 56S の Mg 含有量が母板のそれより多いためである。波模様発生付近の試片表面および試片内部の硬度分布をさらに検討するために、マイクロピッカース硬度計(荷重200g)を用いて、溶着部中央の硬度を測定したものを図8および9にしめす。図8は試片内部の荷重方向の硬度分布を、図9は試片内部の板厚方向の硬度分布をしめす。図8, 9より波模様発生部分において、特に硬度の低下をしめしてはならないことがわかる。

以上行った硬度測定の結果、波模様発生に硬度が影響しているとは考えられない。次に平均荷重の影響を検討するため、最小応力と最大応力の比 $R=0.2$ 一定、回転

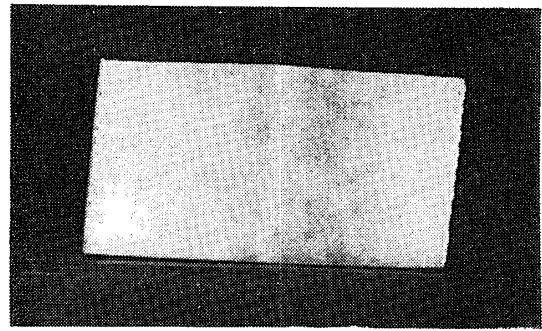


図6 波模様

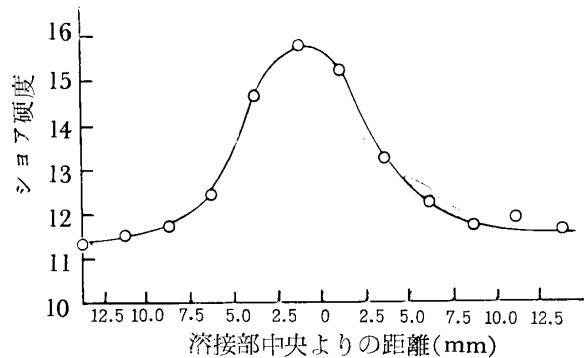


図7 溶接部を中心とした試片表面の硬度分布

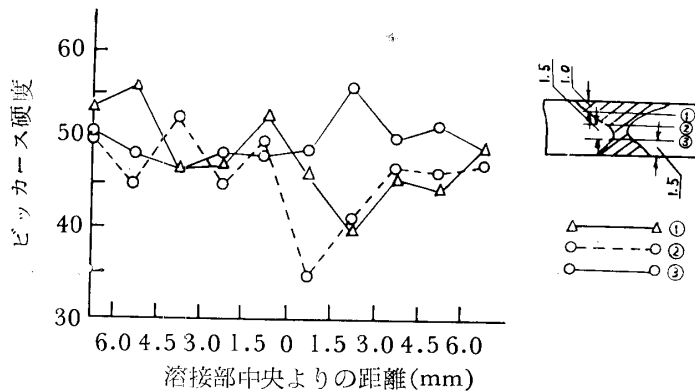


図8 試片の溶着部内部の荷重方向の硬度分布

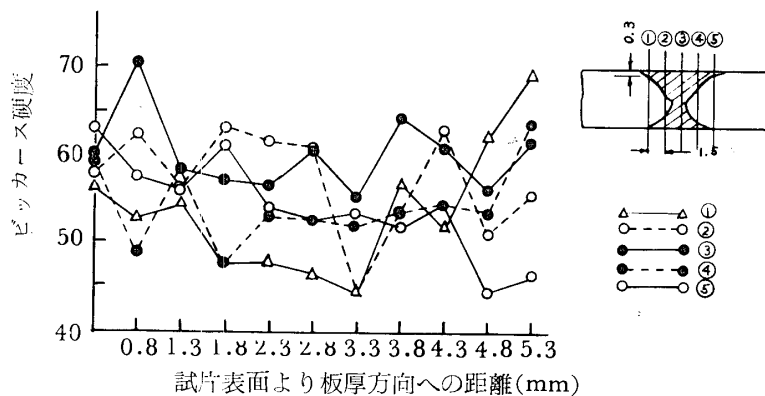


図9 試片の溶着部内部の板厚方向硬度分布

数1200で試験をおこなった。その結果から、 $R=0.2$ の試験条件においては、溶接欠陥は疲労強度に影響をおよぼすことが分った。また $R=0.2$ においては、疲労限付近において波模様はみられなかったが、疲労限より高い応力に対してはやはり波模様が観察された。したがって最低荷重 $2t$ とし試験では平均荷重が大きく、したがって波模様の発生をみたものと推定される。

3.3 静的引張試験

参考のため疲労試験に用いた同一の、余盛りを除去した試験片によって静的引張試験をおこなった。それらの結果を表3にしめす。試片の都合で各級にわたっておこなえなかったが、溶接欠陥は強度に影響していない。これは ANP-O材に対する他の実際結果¹¹⁾と一致している。なお母材の抗張力は 22kg/mm^2 であり、平均継手は85%である。いずれの試片においても熱影響部から亀裂を生じ、溶接線にそって進んでいる。波模様は約1500 kg付近において溶接部中央に生じた。

表3 静的引張試験結果

級 別	破壊荷重 (kg)	抗張力 (kg/mm^2)
2 級	6800	18.9
	6750	18.8
6 級	6880	19.1
	6740	18.7
	6490	18.0

4. 結 言

以上得られた結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 最低応力 5.55kg/mm^2 一定とし、繰返し数毎分

600の部分片振引張の疲労試験においては、母材 52S-O, 芯線 56S の突合わせ溶接継手の疲労強度は溶接欠陥に影響されず、余盛りを有する試片においては最大応力(母材公称応力)で 9.7kg/mm^2 をしめし、これは母材疲労強度(最大応力 13.7kg/mm^2) の約70%に相当している。余盛りを削除した試片においては疲労強度は1級のみや、高く、最大応力 11.4kg/mm^2 , 2級以下においてはいずれも最大応力 10.4kg/mm^2 をしめした。

(2) 盛りを有する試片が疲労強度に影響されないのは、余盛り形状による溶接止端部の応力集中が大きいためであると思われる。

(3) 余盛りを削除した試片が疲労強度に影響されないのは、最低応力 5.55kg/mm^2 は平均応力が高くなり、溶接部に波模様を発生し、これが切欠効果をなすためであると思われる。

参 考 文 献

- 1) 木原： 溶接技術，9，10，6 (1960)
- 2) 多田： 金属材料の強度および疲労 第4回総合シンポジウム予稿，10 (1959)
- 3) M. Holt 他： Weld. J., 26, 750s (1947)
- 4) R. L. Templin： Proc. A. S. T. M., 54, 641 (1954)
- 5) E. C. Hartmann： Weld. J., 26, 129s (1947)
- 6) " : Weld. J., 33, 29s (1954)
- 7) 多田： 溶接技術，9，10，28 (1960)
- 8) 鈴木，中村： 溶接技術，9，10，42 (1960)
- 9) H. Neuber (磯部訳)： 切欠応力論，91 (1944)，コロナ社
- 10) 渡辺他： 溶接欠陥と継手強度の関係，SR32部会，第2分科，18 (1958)
- 11) 安藤： 溶接技術，9，10，30 (1960)