研究報告

アルミニウム合金5083突合せ溶接継手の引張試験片寸法が機械的性質に及ぼす影響*

佐藤 四郎**・大越 登**

Effects of specimen size on tensile properties of butt-welded joint
in 5083 aluminum alloy*

UDC 669.715'721'74 : 621.719.052 : 539.4.013

SATO Shiro** and OKOSHI Noboru**

Different sizes of tensile test specimens were extracted from three kinds of butt-welded plates in thickness 6, 12 and 22 mm. Tensile strength of welded joints rises to a definite value as the ratio of W/t increases (W : specimen width, t : specimen thickness). 0.2% proof stress obtained on 50 mm gage length with the weld in the center is free from the effects of W/t . But, if the weld metal is remarkably lower in strength than the base metal, the proof stress slightly decreases with increase in W/t . Barba's law representing a relation between elongation and size of specimen is applicable to the welded joint in which a slight difference lies between strengthes of the base metal and weld metal. For the welded joints having weld metal of lower strength, Barba's law is applicable only to the specimens having large values of W/t . The ductility of welded joints can be expressed by the elongation against $L_0 = 5.65\sqrt{A}$ in the similar way to the ordinary tensile test (L_0 : gage length, A : cross sectional area).

(Received November 30, 1976)

1. 緒 言

アルミニウム合金溶接継手のように、溶接部が軟質材であつてそれより硬い母材の間にはさまれて引張荷重を受けると、溶接部は多軸応力状態となり、継手強度は溶接部の強さより上昇する。そしてこの多軸応力状態の程度は引張試験片の寸法に影響されるので、溶接継手の引張強さは用いる試験片寸法により異なってくる。このような軟質溶接継手の静的引張強さについては佐藤、豊田^{1),2),3)}らによつて鋼材を対象として深く研究がなされており、また秋田、簗田⁴⁾は5083合金加工硬化材の軟化部をもつ溶接継手の強度について調べている。しかし試験片寸法がアルミニウム合金突合せ溶接継手の引張強さに及ぼす影響については系統的な報告はないようである。

また、普通の引張試験では引張強さのほかに耐力とか伸び率が測定されるのが一般的であるが、溶接継手の場合には後者の二つは定義が不明確であるため測定されないのが現状である。しかし構造物の設計が耐力を基準と

する場合もあるので、溶接継手の耐力をどのように考えたら良いかの問題も起きている。したがつて溶接継手の耐力や伸び率に与える試験片の寸法効果もまた明らかにしておく必要があるように思われる。

2. 実験材料と実験方法

実験に用いた材料は5083-0の板厚 $T = 6, 12$ および 22 mm の突合せ溶接継手であり、溶接部を中央にして引張試験片を採取した。試験片は理想的な余盛削除を想定して、余盛のみでなく全面切削した。

引張試験片の寸法は幅 W を種々変え、また一部丸棒試験片をも製作して実験に供した。用いた試験片の種類と寸法とを **Table 1** に示す。なおアルミニウム合金の溶接部は母材より軟質であるため、余盛削除試験片にあつては必ず溶接部より破断することがわかっているのので、すべて長尺の短冊形試験片として実験した。試験片中央長手方向に 2 mm もしくは 5 mm 間隔の分割標点を打ち、引張破断後にその間隔を読みとり、伸び率やひずみ分布状況などを調べた。

* 軽金属学会第51回秋期大会 (51-11) にて発表した。

** 防衛大学校 (横須賀市)。Defence Academy (Yokosuka)。

Table 1 Size and shape of specimens.

Welded plate thickness T (mm)	Specimen No.	Size of specimen		W/t
		Thickness t (mm)	Width W (mm)	
6	A 11 ~ 13	About 5	6	1.2
	A 31 ~ 33		18	3.6
	A 61 ~ 63		39	7.8
	A 101 ~ 103		64	12.8
12	B 11 ~ 13	About 10	10	1.0
	B 31 ~ 33		30	3.0
	B 51 ~ 53		50	5.0
	B 71 ~ 73		70	7.0
	D 121 ~ 123	Round specimen $D \div 10.5$ mm		
22	C 061 ~ 063	About 20	5.5	0.27
	C 251 ~ 253		25	1.3
	C 701 ~ 703		70	3.5
	D 221 ~ 223	Round specimen $D \div 15.5$ mm		

3. 実験結果とその考察

実験の結果得られた引張強さ、耐力あるいは伸び率を Fig. 1 に示した。

3.1 引張強さについて

引張試験片形状 W/t (t は試験片の板厚) に対する引張

Fig. 1 Effects of width-thickness ratio of test specimen on tensile strength, proof stress and elongation.

強さ σ_B の関係は, Fig. 1(a) に示すように σ_B は W/t とともに大きくなり, ある値に収れんする傾向を示している。母材より軟質な溶接部が薄く挟まれているため引張りに伴い, 溶接部は自由な横収縮ができず, 多軸応力状態となるので, 溶接部自体の強さよりも継手強度は上昇することになる。そして溶接部厚さに比し, 試験片の断面寸法が大きいほど多軸応力状態の程度が大となつて, 大きく σ_B は上昇する結果となる。板厚が大なる $T=22$ mm 材に強くこの傾向をみることができる。

現行の溶接継手の引張試験片の寸法は⁵⁾, 板厚 20 mm 未満では W を 40 mm とするが, 板厚が 20 mm を越すと 25 mm と逆に小となるため, 厚板の溶接継手にあつては W/t は 1 もしくは 1 以下となる場合がある。このような形状をとると, Fig. 1 (a) でも分るように, 同じ溶接継手でも W/t が大なる試験片で得られる σ_B よりもかなり低くなってくる。

なお丸棒試験片により得られた σ_B は, Fig. 1 に示すように $W/t=1$ の試験片とほぼ等しい値となつた。

3.2 耐力について

溶接継手の耐力は標点間距離の取り方によつて違つてくるので測定されないのが普通であるが, 必要とされる場合もあり, 溶接継手の耐力についても考察してみる。

3.2.1 試験片形状 W/t と耐力

溶接部を中央にして標点間距離 50 mm の伸び計から得られた 0.2% 耐力を, 試験片形状 W/t につき図示すると Fig. 1 (b) となる。 $T=6$ mm 溶接材のみ W/t の影響を受け, W/t が小さくなるとやや耐力は低下している。しかし $T=12$ mm および 22 mm 材では試験片の形状には関係なく, ほぼ一定の値をとっている。

母材部と溶接部とに添付したひずみゲージにより得られた応力-ひずみ線図を比較して Fig. 2 ~ 4 に示した。Fig. 3 と Fig. 4 の $T=12$ mm と 22 mm 溶接材では,

Fig. 2 Comparison of stress-strain curves taken both in base and weld metal on welded joint of 6 mm thickness.

Fig. 3 Comparison of stress-strain curves taken both in base and weld metal on welded joint of 12 mm thickness.

Fig. 4 Comparison of stress-strain curves taken both in base and weld metal on welded joint of 22 mm thickness.

母材部と溶接部とで応力-ひずみ線図にそれほど大きな差がないが、 $T = 6 \text{ mm}$ 材は Fig. 2 にみられるように両者の強度差がはなはだしい。このため $T = 6 \text{ mm}$ 材のみ

Fig. 5 Diagrammatic representation, (a) specimen, (b) stress-strain curves of base and weld metal.

に、0.2%耐力付近のわずかな変形にまで W/t による自由変形が阻止される状況の差が出たものと考えられる。

溶接部の強さはできるだけ母材のそれに近いことが望ましく、したがって、そのような場合には耐力は試験片形状 W/t の影響をほとんど受けないと考えてよい。

3.2.2 標点間距離と耐力

一様な材料であれば、耐力の測定のために標点間距離 L_0 をどのように取つても耐力の値は変わらない。しかし溶接継手のような異質の材料が接合されている場合には、 L_0 の取り方によって耐力の値は違ってくる。

Fig. 5 に示すように、母材と溶接部との応力-ひずみ関係を $(\sigma \sim \epsilon_p)$ および $(\sigma \sim \epsilon_w)$ とする。そして引張試験片の溶接部厚さを H_0 とすると、 σ の引張応力で溶接部は $H_0 \epsilon_w$ 伸び、母材部は $\epsilon_p(L_0 - H_0)$ 伸びる。したがって引張応力 σ を受けたとき、溶接部を含む L_0 間の全

Fig. 6 Strain distribution curves for welded joint of 6 mm thickness.

伸びは

$$\varepsilon_w H_0 + \varepsilon_p (L_0 - H_0)$$

となり、平均のひずみは

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \{\varepsilon_w H_0 + \varepsilon_p (L_0 - H_0)\} / L_0 \\ &= (\varepsilon_w - \varepsilon_p) \frac{H_0}{L_0} + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (1)$$

となる。

(1)式から、もし L_0 をひじょうに大きく取れば $\varepsilon = \varepsilon_p$ となり、継手の $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線は母材のそれと一致してくる。したがって L_0 を大きく取ればとるほど継手の耐力は母材のそれに近い値をとることになる。相対的な考え

から、 H_0 が小なる継手ほど、継手の耐力は母材のそれに近い値をとることにもなる。

Fig. 2 に示した $T = 6 \text{ mm}$ 材のように、同じ応力 σ に対し ε_w と ε_p との差が大きな継手の耐力は、(1)式からみても母材の耐力とは離れた値となる。そして $(\sigma \sim \varepsilon_w)$ 曲線は試験片断面積が大となるほどひずみ拘束により上昇して母材の $(\sigma \sim \varepsilon_p)$ 曲線に近づくので¹⁾、母材部と溶接部の応力-ひずみ線図の差が大きな材料ほど耐力値に試験片寸法が影響してくることになる。

3.3 ひずみ分布状況

引張破断後の試験片長手方向のひずみ分布状況の一例を Fig. 6 ~ 8 に示す。溶接部が軟質のため大きく伸びて破断している。溶接部に接する母材部分も大きな変形を受けるが、その他の母材部は一樣な伸び ε_0 を示している。

Fig. 9 に溶接部と母材部との応力-ひずみ線図を模型的に示したが、溶接継手の破断強さに対応する母材の残留ひずみが前述の ε_0 である。したがって、Fig. 9 に示

Fig. 7 Strain distribution curves for welded joint of 12 mm thickness.

Fig. 9 Diagrammatic representation to significance of uniform strain ε_0 .

Fig. 8 Strain distribution curves for welded joint of 22 mm thickness.

Fig. 10 Relation between the tensile strength of joint and strain in base metal ϵ_0 .

すように、同じ $\sigma \sim \epsilon_w$ 関係をもつ溶接部に対し、より高い応力-ひずみ曲線をとる A 材よりも B 材を母材とする溶接継手の方が大きな ϵ_0 となる。

$T = 6$ mm 材と 12 mm 材とを比較すると、Fig. 2 と Fig. 3 に示したように、母材の応力-ひずみ線図は $T = 6$ mm 材の方がはるかに高く、しかも継手の引張強さは低かつたので、引張強さと ϵ_0 とを図示した Fig. 10 (a) からみても分かるように、 $T = 6$ mm 材の ϵ_0 ははなはだしく小さな値となっていた。

また Fig. 9 から溶接部の破断強さが少し増しただけでも ϵ_0 はかなり大きく増加することが予想できる。 $T = 22$ mm 材は Fig. 1 (a) に示したように W/t によつて引張強さがかなり大きく変化しているので、 $T = 22$ mm のすべての試験片につき引張強さと ϵ_0 との関係を示すと Fig. 10 (b) となる。継手の引張強さの増加はまた ϵ_0 の増加をもたらし、ひいては伸び率を大きくする結果となる。

3.4 伸び率について

溶接継手の引張試験では、耐力と同じように伸び率も測定されないのが普通である。しかし溶接継手の延性を評価する必要もあり、伸び率の測定もなされた方がよいように思われる。

溶接部を中央にして標点間距離 L_0 を $5.65 \sqrt{A}$ (A は試験片断面積) あるいは 60 mm とつたときの伸び率 $\delta_{5.65 \sqrt{A}}$ あるいは δ_{60} を試験片形状 W/t につき示すと Fig. 1 (c) あるいは (d) となる。当然のことながら、同じ溶接材でも試験片の形状寸法を変えると伸び率の値を異にしてくる。

溶接部を中央にして L_0 を種々取り、 L_0 に対する δ を求め、 $\delta \sim L_0/\sqrt{A}$ 関係を図示すると Fig. 11 ~ 13 となる。試験片形状 W/t によつて異なつた曲線をとつているので、 $L_0/\sqrt{A}$ さえ一定にすれば等しい伸び率が得られるというバルバの法則は、そのままでは適用できない。しかし溶接部の強さが母材のそれとあまり差がなければ、継手試験片は一樣材質とみなすことができるようになり、バルバの法則が適用できることになる。 $T = 22$ mm

Fig. 11 Elongation percentage plotted by $L_0/\sqrt{A}$ on log-log paper for welded joint of 6 mm thickness.

Fig. 12 Elongation percentage plotted by $L_0/\sqrt{A}$ on log-log paper for welded joint of 12 mm thickness.

Fig. 13 Elongation percentage plotted by $L_0/\sqrt{A}$ on log-log paper for welded joint of 22 mm thickness.

材は Fig. 4 の応力—ひずみ線図の比較からみても一様材質に近い継手試験片であり、Fig. 13 にみられるように比較的バルバの法則を満足しているとみてよい。

$T = 6$ mm材は溶接部と母材部との強さに大きな差があり、そのため試験片寸法が溶接部のひずみ拘束の度合に大きく影響するので、Fig. 11 にみられるように W/t によつて大きく曲線を異にしている。しかし W/t がある程度以上になると、 σ_B もある値に収れんしたように、 $\delta - L_0/\sqrt{A}$ 曲線もほぼ一致してくる。

以上の結果から、 σ_B がある値に収れんする程度以上の W/t を持つ試験片では、バルバの法則が適用できるようであり、一般の材料で用いられている⁶⁾ $L_0 = 5.65\sqrt{A}$ の標点間距離に対する δ によつて溶接継手の延性を表示することができるものと考えられる。

4. 結 論

板厚 $T = 6, 12$ および 22 mm の 5083-0 の突合せ溶接継手から、余盛のみでなく全面切削した引張試験片を、試験片の幅 W を変えて製作して実験した。

得られた主な結果は次のとおりである。

1) 引張強さは W/t (t : 試験片の厚さ) の増大とともに大きくなり一定値に収れんする。また丸棒試験片による引張強さは $W/t = 1$ の試験片とほぼ等しい。

2) 溶接部を中央にして標点間距離 50 mm につき測定した 0.2% 耐力は、試験片形状 W/t にあまり影響されない。しかし溶接部の強さが母材のそれと著しく離れて

いるときには、 W/t が小となるにつれやや耐力は低下する。

3) 標点間距離が大となるほど、あるいは溶接部厚さが小となるほど溶接継手の耐力は母材のそれに一致してくる。

4) 溶接部と母材部との強度差があまりない継手では、伸びに対するバルバの法則は近似的に成立する。強度差が大きい場合でも、ある程度の W/t 以上の試験片ではバルバの法則は成立するので、一般の材料試験で用いられている標点間距離が $5.65\sqrt{A}$ (A : 試験片断面積) に対する伸び率により継手の延性が表示できる。

なお本研究は軽金属協会の材料試験研究委員会の一実験として行なつたものであり、種々のご助言をいただいた同委員会の各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 佐藤, 土井, 豊田: 溶接学会誌, **37**, (1968), 1214.
- 2) 佐藤, 豊田: 溶接学会誌, **40**, (1971), 885.
- 3) 佐藤, 豊田, 藤井: 造船学会論文集, No. 132 (1972), 381.
- 4) 秋田, 簗田: 造船協会論文集, **118** (1965), 221.
- 5) JIS Z 3121-1961, 突合せ溶接継手の引張試験方法.
- 6) 佐藤: 軽金属, **24**, (1974), 508.