溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究 (第4報)*

—溶接性および溶接部の諸性能におよぼす溶加材の影響—

杉山 禎彦** 福井 利安**

Study on Weldable Al-Zn-Mg Alloys (Report 4)*

—Effects of filler metals on the weldability and several properties of welds—

by Yoshihiko Sugiyama** and Toshiyasu Fukui**

Abstract

A study was made of the effects of filler metals on the weldability of Al-Zn-Mg alloys.

Aging characteristics, mechanical properties, stress-corrosion cracking susceptibility of welds and weld cracking susceptibility were examined by means of Vickers-hardness, tensile, bending, Charpy impact, stress-corrosion cracking, weld cracking and other tests.

The results obtained are summarized as follows.

- (1) Tensile strength of welds made with Al-Mg-Zn filler metal was almost equal to that of Al-Zn-Mg filler metal and that of Al-Mg filler metal showed the lowest value, while the age hardening of welds increased in the following order; Al-Mg filler < Al-Mg-Zn filler < Al-Zn-Mg filler.
- (2) However, bending and Charpy impact properties of welds made with Al-Mg filler metal were most excellent, and those of Al-Zn-Mg filler metal were inferior to those of Al-Mg and Al-Mg-Zn filler metals.
- (3) No appreciable difference in stress-corrosion cracking susceptibility and fatigue properties was observed in Al-Zn-Mg, Al-Mg-Zn and Al-Mg filler metals.
- (4) Weld cracking susceptibility increased in the following order; Al-Mg filler < Al-Mg-Zn filler < Al-Zn-Mg filler. However, weld cracking susceptibility of Al-Mg-Zn filler metal containing a small amount of zirconium was almost equal to that of Al-Mg filler metal.

1. 緒 言

近年 Al-Zn-Mg 系合金が溶接構造材として注目され、種々実用化されるようになった。しかしながら本系合金の溶接性および溶接部の諸性能に関しては更に検討すべき点が多く、また設計ならびに施工上必要とされる各種データで疑問な点も多い。著者らは本系合金の溶接性に関して一連の実験を行ない、既に溶接部の時効特性¹⁾、溶接割れ感受性²⁾、抵抗スポット溶接性³⁾、MIG-spot 溶接性⁴⁾、および溶接継手の疲労性質⁵⁾について報告した。

ところで、Al-Zn-Mg 系合金の溶接性および溶接部の諸性能におよぼす因子としては溶加材の影響が非常に大きく、このため構造物の設計ならびに施工に際しては、本系合金に最適な溶加材の使用が最も重要な問題であり、既に種々の研究ならびに開発がなされている現状である⁶⁻¹⁰⁾。

Al-Zn-Mg 系合金用の溶加材としては、基本的に、Al-Mg 系、Al-Zn-Mg 系およびこれらの中間の Al-Mg-Zn 系が考えられており、また実用化されているが、

いずれも一長一短があり更に検討すべき点は多く、また微量元素の添加等も考え合わせて、より優れた溶加材を開発する必要があるように思われる。本報はこれらの点に着目して Al-Zn-Mg 系合金の溶接性および溶接部の諸性能におよぼす溶加材の影響について実験した結果を報告する。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

母材は Al-4.1% Zn-2.0% Mg (Zr) および Al-4.1% Zn-1.8% Mg の二種でいずれも工業的に製造された 4 mm および 12 mm 板である。前者は微量の Zr を含有している。溶加材は TIG 用として Al-5.2% Mg (Ti)、Al-4.8% Mg-2.0% Zn (Zr)、Al-4.0% Zn-2.7% Mg (Zr)、Al-4.8% Mg-1.9% Zn および Al-4.3% Zn-2.1% Mg、MIG 用として Al-5.1% Mg (Ti)、Al-4.2% Mg-2.4% Zn (Zr) および Al-4.2% Zn-2.5% Mg (Zr) を用いた。これらはいずれも工業的に製造されたものであり、4 mmφ (TIG 用溶接棒) および 1.6 mmφ (MIG 用電極線) である。

Table 1 に母材および溶加材の化学組成を示す。

2.2 実験方法

* 原稿受付 昭和43年8月27日 (昭和43年度春季全国大会において発表)

** 正 員 住友軽金属工業(株) Member, Sumitomo Light Metal Industries

Table 1 Chemical compositions of parent metals and filler metals.

Materials	Marks		Chemical compositions, %									Remarks
			Zn	Mg	Zr	Mn	Cr	Ti	Cu	Fe	Si	
Parent metals	P 1		4.08	1.99	0.20	0.30	0.01	0.02	0.02	0.15	0.07	AlZnMg (Zr)
	P 2		4.14	1.78	—	0.31	0.01	0.01	0.01	0.15	0.03	AlZnMg
Filler metals	TIG	R1	0.04	5.22	—	0.11	0.11	0.10	0.06	0.08	0.02	5356
		R2	2.02	4.82	0.22	0.22	0.01	0.02	0.01	0.16	0.06	AlMgZn (Zr)
		R3	3.98	2.67	0.23	0.22	0.01	0.02	0.01	0.16	0.06	AlZnMg (Zr)
		R4	1.94	4.78	—	0.40	0.01	0.02	0.01	0.16	0.07	AlMgZn
		R5	4.25	2.06	—	0.42	0.01	0.02	0.01	0.15	0.05	AlZnMg
	MIG	E1	0.04	5.05	—	0.10	0.11	0.10	0.01	0.10	0.04	5356
		E2	2.40	4.17	0.20	0.20	0.01	0.01	0.01	0.13	0.08	AlMgZn (Zr)
		E3	4.22	2.53	0.17	0.28	0.01	0.02	0.01	0.14	0.04	AlZnMg (Zr)

試験は溶接金属の時効性, 溶接継手の引張性質, 溶接継手の疲労強度, 溶接部の曲ゲ性, 溶接部のシャルピー衝撃値, 溶接部の耐力力腐食割れ性, 溶接金属の化学組成, アーク移行中における化学組成の変化および溶接割れ感受性について調査し, これらの諸性能におよぼす溶加材の影響について比較検討した。

なお溶接条件は次のごとくである。

4 mm 板は TIG 溶接で I 型開先 1 層 (280~320 A, 170~240 mm/min), 12 mm 板は MIG 溶接で X 型および Y 型開先で 2 層 (340~400 A, 20~26 V, 450~700 mm/min) である。

3. 実験結果

3.1 溶接金属の時効性

母材 P1 の 4 mm 板を R1~R5 の溶加材で TIG 溶接 12 mm 板を E1~E3 の溶加材で MIG 溶接し, 溶接部の時効性におよぼす溶加材の影響について検討した。

Fig. 1 に溶接直後, 溶接後30日, 60日常温時効, 溶接後7日間の予備時効 (常温時効) の後 120°C×24 hrs の高温時効を施せるものにつき溶接金属中央部の硬さを測定した結果を示す。Fig. 1 より明らかなごとく, いずれも溶接後の常温時効あるいは高温時効により著しい硬化を示しているが, その挙動は使用した溶加材あるいは溶接法によりかなり異なっている。すなわち, 溶加材としては Al-Zn-Mg 系の R3 (R5) および E3 が最も時効性に優れ, 次いで Al-Mg-Zn 系の R2 (R4) および E2 であり, Al-Mg 系の R1 および E1 は最も時効性が劣っている。

いっぽう, 溶接法について比較すれば, Al-Zn-Mg 系および Al-Mg-Zn 系の溶加材を使用する時は TIG 溶接より MIG 溶接の方が優れているが, Al-Mg 系の溶加材を使用する時は逆に TIG 溶接の方が優れている。これらの時効性においては TIG 溶接と MIG 溶接の熱入力および冷却速度のみならず開先形状の相違による溶接金属の化学組成の差異についても考慮する必要がある。

Fig. 1 Effects of filler metals on the aging characteristics of weld metals in Al-Zn-Mg alloys (P1).

(3.3 項の Fig. 4 参照のこと。) 単なる溶接法の違いだけで論じることにはできない。

3.2 溶接部の機械的諸性質

TIG 溶接部 (4 mm 板) および MIG 溶接部 (12 mm 板) の機械的性質におよぼす溶加材の影響について検討した。

Fig. 2 および Fig. 3 にそれぞれ余盛ありおよび余盛削除の試料につき溶接後1ヶ月常温時効せるものの引張性質 (JIS 5号試験片) を示す。母材は P1 で溶加材は R1~R5 および E1~E3 である。溶加材の影響としては Al-Zn-Mg 系の R3 (R5) および E3 を使用せる時に最も高い強度が得られ, 次いで Al-Mg-Zn 系の R2 (R4) および E2 で, Al-Mg 系の R1 および E1 で最も劣っている。しかし Al-Zn-Mg 系と Al-Mg-Zn 系の差は非常に少ない。なお, これらの試験材の伸びについては示さなかったが, いずれも10~15%で, 溶加材の影響としては, Al-Mg-Zn 系が最も優れ, 次いで Al-Zn-Mg 系で, Al-Mg 系が若干劣っている。

Table 2 に TIG 溶接継手についてシェンク型の平面曲ゲ (3500 rpm) で求めた疲労強度を示す。母材は P1

Fig. 2 Effects of filler metals on the tensile properties of butt-joints with reinforcements in Al-Zn-Mg alloys (P1).

および P2 の T4, T6 処理材で、溶加材は R1, R2 および R3 である。Table 2 より明らかごとく母材組成 (P1, P2) あるいは母材の質別 (T4, T6) による差は明らかに認められるが、溶加材による差はほとんど認められない。

Table 3 に TIG 溶接部および MIG 溶接部の曲げ試験結果を示す。曲げは表曲げと裏曲げについて行ない各々の曲げ限界を求めた。溶加材の影響としては TIG 溶

Fig. 3 Effects of filler metals on the tensile properties of butt-joints without reinforcements in Al-Zn-Mg alloys (P1).

接部の場合、Al-Mg 系の R1 が最も優れ、次いで Al-Mg-Zn 系の R2 (R4) であり、Al-Zn-Mg 系の R3 (R5) は最も劣っている。いっぽう MIG 溶接部の場合、Al-Mg 系の E1 と Al-Mg-Zn 系の E2 ではほとんど差はなく、Al-Zn-Mg 系の E3 のみ若干曲げ性が劣っている。

Table 4 に MIG 溶接部のシャルピー衝撃値を示す。試験片は JIS-Z-2202-4 号 (V-notch) で、試験温度は常温、 -75°C および -196°C の 3 条件である。シャル

Table 2 Effects of filler metals on the fatigue strengths of TIG-welds.

Parent metals	Filler metals	Fatigue strengths (10^7 cycles), kg/mm 2	
		With reinforcement	Without reinforcement
AlZnMg (Zr) —P1—	T4	R1	9.5~10.5
		R2	9.5~10.5
		R3	9.5~10.5
	T6	R1	9.0~10.0
		R2	9.0~10.0
		R3	9.5~10.0
AlZnMg —P2—	T4	R1	7.0~8.0
		R2	7.0~8.0
		R3	7.0~8.0
	T6	R1	6.5~8.0
		R2	7.0~8.0
		R3	7.0~8.0

Table 3 Effects of filler metals on the bending properties of welds in Al-Zn-Mg alloys (P1).

Welding Processes	Filler metals	Bending properties of welds									
		Face bending					Root bending				
		1.0 t	1.5 t	2.0 t	2.5 t	3.0 t	1.0 t	1.5 t	2.0 t	2.5 t	3.0 t
TIG	R1	●	●	●	●	●	○	○	○	●	●
	R2	○	●	●	●	●	○	○	●	●	●
	R3	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●
	R4	○	●	●	●	●	○	○	●	●	●
	R5	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●
MIG	E1	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●
	E2	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●
	E3	○	○	○	●	●	○	○	○	●	●

● No cracking ○ Small cracks ○ Fractures

ピー衝撃値の温度依存性は強いが, 溶加材の影響は各温度とも共通に見られる。すなわち, Al-Mg 系の E1 で最も高い値を示し, 次いで Al-Mg-Zn 系の E2 であり, Al-Zn-Mg 系の E3 は最も劣っている。なお, これらのシャルピー衝撃値は試験温度のみならず, 試験片の採取方向あるいはノッチの方向によりかなりその値が異なるが, 溶加材の影響は, いずれの場合にもほぼ同様な傾向を示している。

3.3 溶接部の耐応力腐食割れ性

TIG および MIG 溶接部の耐応力腐食割れ性におよぼす溶加材の影響について検討した。母材は P1 で溶加材は R1~R5 および E1~E3 で, いずれも溶接後 1 ケ月間常温時効を施した後, 3% NaCl 水溶液中で 60 日間引張応力腐食試験 (耐力の 75%) および 6% NaCl+0.3% H₂O₂ 水溶液中で 60 日間曲げ応力腐食試験 (表皮応力で耐力の 75%) を行ない割れ発生の有無を調査した。

これらの試験ではいずれの試料にもほとんど割れはなく良好であった。特に R1, R2, R3, E1, E2, E3 の溶加材で溶接せるものは全く異状が認められなかった。ただし R4, R5 の溶加材では, ごく一部の試験片にのみ, 微少な割れらしきものが認められた。

参考のために応力腐食割れに著しい影響を持つと思わ

れる溶接金属の化学組成を Fig. 4 に示す。Fig. 4 は溶接ビード内の Zn+Mg 量および Mn+Zr 量について示している。これらの化学組成は開先形状や溶接層数により著しい影響を受けるので溶加材の影響のみを簡単に論じることはできないが, 全般的には溶接金属中の化学組成は, 母材と溶加材のほぼ中間の値を示している。

Fig. 4 Effects of filler metals on the chemical compositions of weld metals in Al-Zn-Mg alloys (P1).

3.4 溶接中における移行合金組成の変化

MIG 溶接中における移行合金組成の変化について溶

Table 4 Effects of filler metals on Charpy impact values of MIG-welds in Al-Zn-Mg alloys (P1).

Materials	Filler metals	Testing temperatures, °C			Marks	Remarks
		25	-75	-196		
Parent metals	—	6.5	8.1	14.6	A	Face of plate
		4.6	5.7	11.2	B	
		3.5	3.6	2.7	C	Side of plate
		2.6	2.3	1.9	D	
Weld metals	E1	4.39	—	1.86	A	Face of weld
		3.43	4.13	1.37	B	
		3.67	—	1.26	C	Through weld
		3.35	3.20	1.32	D	
	E2	3.55	—	1.21	A	Face of weld
		3.02	2.23	0.73	B	
		2.50	—	0.77	C	Through weld
		2.55	2.01	0.56	D	
	E3	3.00	—	1.75	A	Face of weld
		2.22	2.29	0.50	B	
		1.94	—	0.74	C	Through weld
		2.18	1.68	0.51	D

接条件を変えて検討した。溶加材として E2 および E3 を用い、溶接電流、アーク電圧および溶接速度を変化させて 99.8% Al 板上に多層 (約 5~6 層) 肉盛溶接した場合の溶着金属 (第 4~6 層目) 中の Zn, Mg, Mn および Zr 量を調査した。

Fig. 5 Effects of welding conditions on Zn, Mg, Mn and Zr contents in multi-passes deposited metals made on 99.8% Al plates.

Fig. 5 に主成分である Zn および Mg, 微量元素である Mn および Zr 量と溶接条件の関連を示す。Fig. 5 より明らかなごとく Zn, Mg, Mn および Zr は、溶接電流やアーク電圧の増加とともに減少する傾向にあり、350 A (27 V) 以上で顕著である。これらの化学組成は母材 (99.8% Al) の稀釈 (dilution) の影響も受けているが、多層肉盛溶接部の上層部より試料を採取しているのでこれらの影響は比較的少なく、(なぜなら仮りに稀釈率を 50% とすると、4 層目は $(\frac{1}{2})^4 \approx 6\%$, 5 層目は $(\frac{1}{2})^5 \approx 3\%$ の稀釈で、ほとんど無視し得る。) 化学組成の変化は主としてアーク移行中における損失によると思われる。しかしながら E3 の溶加材で Mn, Zr 量がかなり減少しているが、これらの元素はアーク移行中における損失の少ないものであるので、この点については稀釈の影響があるのかも知れない。全般的には溶加材による差は特になく、Al-Mg-Zn 系の E2 および Al-Zn-Mg 系の E3 は、ともにほぼ同じ傾向を示している。

3.5 溶接割れ感受性

溶接割れ感受性におよぼす溶加材の影響について種々検討した。

母材は P1 および P2 で溶加材は R1~R5 である。試験方法は Fish-bone weld cracking test, Slit-type restrained weld cracking test, Tee-joint fillet weld cracking test および Cruciform weld cracking test の 4 種で、いずれも TIG 溶接である。

Fig. 6 Effects of filler metals on the weld-crack susceptibilities of Al-Zn-Mg alloys.

Fig. 6 に Fish-bone weld cracking test の結果を示す。割れの傾向は

$$R1 \approx R2 < R3 < R4 < R5$$

の順に増しており、Zr の添加を別にすれば

$$Al-Mg < Al-Mg-Zn < Al-Zn-Mg$$

の順に割れは著しくなる。しかしながら、Fig. 6 においては溶加材の影響よりむしろ母材組成の影響の方が顕著である。すなわち Zr を含有しない P2 では比較的割れは大きい、Zr を含有する P1 では割れは著しく小さい。

Fig. 7 Effects of filler metals on the weld-crack susceptibilities of Al-Zn-Mg alloys.

Fig. 7 に Slit-type restrained weld cracking test の結果を示す。この場合にも母材の影響がかなり顕著に認められ、P2 より P1 の方が割れは少ない。溶加材についても Fig. 6 と同様な結果になっており、Al-Zn-Mg 系の R5 で最も割れが大きく、次いで Al-Mg-Zn 系の R4 で、これらに微量の Zr を添加した R3 および R2 では、かなり割れの減少が見られる。特に R2 は、Ti を微量含有する Al-Mg 系の R1 とほとんど差はない。

Fig. 8 に Tee-joint fillet weld cracking test の結果を示す。割れの測定は片側のスミ肉溶接部についてのみ行なった。(反対側のスミ肉溶接部は単なる拘束である。) 割れの傾向は Fig. 6 および Fig. 7 と類似して

Fig. 8 Effects of filler metals on the weld-crack susceptibilities of Al-Zn-Mg alloys.

おり, 溶加材の影響および母材の影響も顕著に認められる。

Fig. 9 に Cruciform weld cracking test の結果を示す。割れの傾向は, Fig. 6, Fig. 7 および Fig. 8 とほとんど同様である。ただ本試験は比較的 Fig. 8 に示す Tee-joint fillet weld cracking test に類似しているにもかかわらず, 割れ長さが全般的に小さい点が不思議に思われるが, 試験片の形状が若干異なっており, このた

Fig. 9 Effects of filler metals on the weld-crack susceptibilities of Al-Zn-Mg alloys.

め拘束状態がいくらか変わっているためではないかと思われる。

以上の割れ試験の結果を総括すると, Ti を含有する Al-Mg 系あるいは Zr を含有する Al-Mg-Zn 系の溶加材が最も小さい割れ感受性を示し, 次いで Zr を含有する Al-Zn-Mg 系で, Zr を含有しないものは Al-Mg-Zn 系, Al-Zn-Mg 系ともかなり割れ感受性が大きい。

4. 考 察

Al-Zn-Mg 系合金の溶接性および溶接部の諸性能におよぼす溶加材の影響について種々検討した結果を総括すると Table 5 のごとくなる。時効性あるいは引張強度の点では, いわゆる共材系の Al-Zn-Mg 系が優れ, 逆に曲げ性あるいはシャルピー衝撃値は Al-Mg 系の方が良好な結果となっている。Al-Mg-Zn 系の溶加材は, 機械的性質に関する限り, これらの中間の性能を示している。

ところで, Al-Zn-Mg 系合金の析出過程¹¹⁾は

Spherical G.P. zones → ordered G.P. zones

→ η' (Mg Zn₂)

であり, G.P. zone および中間相 η' (Mg Zn₂) の析出で硬化が進行している (常温時効では G.P. zone, 高温時効では G.P. zone + η' (Mg Zn₂) が析出) ことはよく知られているが, これらの析出挙動は Zn, Mg 量および溶体化温度よりの冷却速度に著しい影響を受ける。組成については, 一般的に Zn-rich な場合で時効硬化は著しく, Mg-rich な場合にはこの程度は少ない。

したがって本実験において, Al-Zn-Mg 系の溶加材で溶接金属の時効性あるいは溶接部の引張強度が最も優れ, 次いで Al-Mg-Zn 系であり, Al-Mg 系で最も劣る点については, Zn, Mg 量との関連で明確にされう。

Table 5 Summary of the results obtained.

Several properties of welds	Parent metals									
	AlZnMg					AlZnMg (Zr)				
	Filler metals					Filler metals				
	5356	AlMgZn (Zr)	AlZnMg (Zr)	AlMgZn	AlZnMg	5356	AlMgZn (Zr)	AlZnMg (Zr)	AlMgZn	AlZnMg
Aging characteristics	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tensile properties	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bending properties	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fatigue properties	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Charpy impact properties	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Resistivity to stress-corrosion cracking	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Resistivity to weld crack susceptibility	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○

● Very good ● Good ● Fair ● Poor ○ Very poor

また、溶接金属の化学組成が一定であれば、冷却速度（凝固速度）の速い MIG 溶接が、TIG 溶接の場合より優れていることが理解されう。曲げおよびシャルピー衝撃値についても同様な考え方で理解できる。なお溶接継手の疲労強度では溶加材の影響はほとんどなく、むしろ母材質別 T4, T6 の差が顕著に認められるが、この T4 と T6 による相違については溶接部近傍の軟化域（熱影響部）の中が T6 より T4 の方が大きく、軟化域での曲げ応力の緩和を考えれば、溶接部への応力集中が T4 より T6 の方が高く、このため T4 より T6 の方が若干低い疲労強度になっていると思われる。

いっぽう、Al-Zn-Mg 系合金の溶接割れ感受性はかなり大きく、実用合金の範囲では、Al-Mg-Si 系や Al-Cu-Mg 系とはほぼ同様である。このため実用の Al-Zn-Mg 系合金の使用に際しては、割れ防止策として比較的割れ感受性の鈍い溶加材が使用されたり、また母材そのものに割れ防止効果の強い微量元素が添加されている。

一般的に Al-Zn-Mg 系合金においては Mg 量が多いほど割れ感受性は小さく^{12,13)}、また Zr や Ti の微量添加により割れは著しく防止される^{2,12-16)}。

本実験においても、Zr など微量元素の添加を別にすれば、Al-Mg 系の溶加材で割れは最も少なく、次いで Al-Mg-Zn 系であり、Al-Zn-Mg 系の溶加材では割れは最も大きい結果となっており、Mg 量の影響が明らかである。しかし Zr を含有せる場合には若干この挙動が変わってくる。すなわち、Zr を含有する Al-Mg-Zn 系の溶加材は Ti を含有する Al-Mg 系の 5356 filler と比べて割れ感受性はほとんど変わらず非常に良好な溶接性を示している。また Al-Zn-Mg 系の溶加材も Zr を含有せるものはかなり割れ感受性は小さくなっている。

したがって溶接割れの防止の点のみよりすれば、Al-Mg 系あるいは Zr を微量含有せる Al-Mg-Zn 系の溶加材が最も優れており、次いで Zr を含有せる Al-Zn-Mg 系である。Zr を含有しない Al-Mg-Zn 系あるいは Al-Zn-Mg 系の溶加材はかなり劣っており、実用上問題がある。

Zr の微量添加による割れの防止については、既に本研究の第 2 報²⁾で報告したごとくであり、Zr の同様な効果を示した報告は多く見られる¹²⁻¹⁴⁾。しかしながら、この割れ防止の機構については不明な点や疑問な点も多く、今後の検討が望まれる。

5. 総 括

Al-Zn-Mg 系合金の溶接性および溶接部の諸性能におよぼす溶加材の影響について調査した結果を総括すると次のごとくである。

1) 溶接金属の時効性は Al-Zn-Mg 系の溶加材が最も優れ、次いで Al-Mg-Zn 系で Al-Mg 系の 5356 filler は最も劣るが、溶接継手の引張強度は Al-Zn-Mg 系と Al-Mg-Zn 系ではほとんど差はなく、Al-Mg 系の溶加材のみ少し劣っている。

2) 溶接部の曲げ性およびシャルピー衝撃値は Al-Mg 系の溶加材が最も優れ、次いで Al-Mg-Zn 系で Al-Zn-Mg 系は最も劣る。

3) 溶接部の耐応力腐食割れ性や溶接継手の疲労強度には溶加材の差はほとんど認められない。

4) 溶接割れ防止の点では Al-Mg 系および Zr を微量含有する Al-Mg-Zn 系の溶加材が最も優れ、次いで Zr を微量含有する Al-Zn-Mg 系である。Zr を含有しないものでは、Al-Mg-Zn 系、Al-Zn-Mg 系とも著しい割れを示す。特に後者で顕著である。

5) 以上の点を総括すると、Al-Zn-Mg 系合金用の溶加材には、特殊な用途を除き、Zr を微量含有せる Al-Mg-Zn 系の溶加材が最も適している。

参 考 文 献

- 1) 杉山、福井；“溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究（第 1 報）”，溶接学会誌，Vol. 35 (1966)，No. 9，26~35
- 2) 杉山、福井；“溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究（第 2 報）”，溶接学会誌，Vol. 35 (1966)，No. 11，70~77
- 3) 杉山、福井；“溶接学会昭和 41 年度秋季全国大会（大阪）で発表
- 4) 杉山、福井；“溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究（第 3 報）”，溶接学会誌 Vol. 36 (1967)，No. 11，38~46
- 5) 竹内、杉山、福井；溶接学会昭和 42 年度秋季全国大会（東京）で発表
- 6) P.T. Houldcroft；“Investigation of Filler Materials for Welding Al-Zn-Mg Alloys”，British W.J.，Vol. 8 (1961)，No. 7，350~355
- 7) J.H. Dudas；“Joining New High-Strength Aluminum Alloy X7005”，W.J.，Vol. 44 (1965)，No. 8，358s~364s
- 8) F.E. Gibbs；“Development of Filler Metals for Welding Al-Zn-Mg Alloy 7039”，W.J.，Vol. 45 (1966)，No. 10，445s~453s
- 9) 辻内、杉山、福井；“Al-Zn-Mg 系 ZK41 溶接線について”，住友電気，No. 95 (1966)，82~93
- 10) 田中、吉田、重村、沖田；“Al-Zn-Mg 系合金 K70 溶接材の諸性質におよぼす溶加材の影響”，河内 電工 時報，No. 43 (1967)，59~67
- 11) A.Kelly & R.B. Nicholson；Prog. Mat. Sci.，Vol. 10 (1953) 151
- 12) K.P. Mudrack；“Schweisstechnische Untersuchungen einer AlZnMg1-Legierung unter besonderer Berücksichtigung der Schweißrissigkeit”，Schw. u. Schn.，12 (1960)，Heft 2，45~55
- 13) J.H. Dudas & F.R. Collins；“Preventing Weld Cracks in High-Strength Aluminum Alloys”，W.J.，Vol. 45 (1966)，No. 6，241s~249s
- 14) H. Schoer u. W. Gruhl；“Der Einfluss von Kupfer und Zirkon auf die Schweißrissigkeit von AlZnMg-Legierungen”，METALL，20 (1966)，Heft 3，221~225
- 15) 杉山、福井；“構造用 Al-Zn-Mg 系合金の溶接割れにおよぼす微量元素の影響”，住友軽金属技報，Vol. 8 (1967)，No. 2，1~9
- 16) 福井；“構造用 Al-Zn-Mg 系合金の溶接性について”，溶接界，Vol. 19 (1967)，No. 10 587~600。