

2-9 軽金属*



笹部 誠二**

Light Metals*

by SASABE Seiji**

キーワード アルミニウム, マグネシウム, 溶加材, 継手強度, 溶接割れ

1. はじめに

アルミニウムの国内での総製品需要量はリーマンショック前の'07年度で約440万トンに達している。アルミニウム合金（以下 Al と略記）に関する溶接構造物としては、船舶、鉄道車両、二輪車を始め航空・宇宙機器など多岐に渡っており、最近では自動車の蓋物としてのパネル材以外の足回り部品などにも適用され始めている。Al は、地球環境に優しい材料として最近特に注目されており、そのリサイクル性の良さは言うに及ばず、軽量化による燃費改善を介して CO₂ ガス排出量削減に直接結びつくことから、とりわけ自動車のアルミ化進展には期待が大きい。

一方、マグネシウム合金（以下 Mg と略記）も、環境・省エネルギーなど地球に優しい新たな金属材料として、携帯系電子機器の筐体で使用されてきている。そして Al と同様に最近では、自動車の CO₂ ガスの削減目標に向けて軽量化設計の戦略として、ダイカストを主体として着実な需要の増加が見込まれている。'07年における年間総需要量 4.7 万トン（世界的には年間約 40 万トン）のうち、約 10% の 4000 トン強は構造材用でありダイカスト、射出成形（チクソ成形）、鋳物ならびに展伸材などがある。

2. Al, Mg 適用の利害得失ならびにその接合性

低密度で比強度も高く、電磁波遮蔽性、熱伝導性、リサイクル性などの利点から、鋼あるいは樹脂を代替する材料として注目されている。比強度と伸びとの関係で鋼と比較すると Fig. 1¹⁾ のようになり、Al や Mg の比強度のメリットが認められるが、さらなる伸びと強度改善のた

めの結晶粒の超微細化などが取組まれている。

種々の特性の中で、とりわけ軽量化への期待度は大きいことから、各部材の要求特性パラメータにより板厚比・重量比を試算すると Table 1²⁾ のようになる。これによると、張剛性、耐デント性や動的圧壊特性については、軽量化効果は大きく、その程度は Mg>Al>ハイテン鋼の順となる。但し、部材剛性については軽量化効果が認められないが、自由な断面性能が出せる押出し型材の活用により、そのメリットが出せるものと考えられる。

さて、これら材料適用時の接合性について概観すると、Table 2 の物理的性質からもわかるように、Al や Mg は鉄よりも融融点は低く、且つ同一体積量における比熱、潜熱が小さいことから溶融エネルギーは、Al は鉄の 2/3、Mg は 1/5 で済む。但し、熱伝導率が高いのでより瞬時的な投与が効率的である。さらに、Mg の特徴としては、表面張力が低いことから溶滴の離脱がスムーズでなくスパッタが多発し、溶湯の裏波保持などにも留意が必要となる。また、線膨張係数が大きく且つ弾性係数が小さいので、十分な溶接変形対策も必要となる。なお、ワイヤ溶融速度は、DCEP における CO₂ 溶接、ミグ溶接で、鋼、Al, Mg の順で概略 4, 9, 18 m/min (1.2 mmΦ, 150 A) となり、Mg の場合は溶着量が特に多く、ギャップ補完には有利であるが溶込みなどには配慮が必要である³⁾。

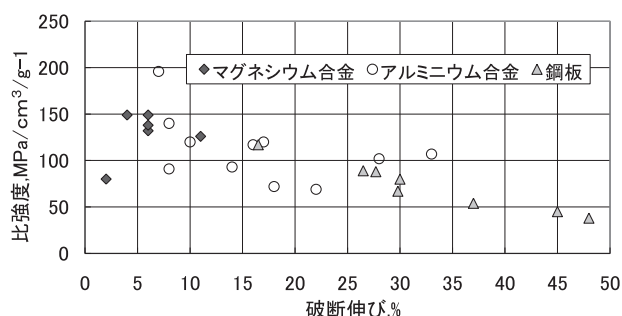


Fig.1 各種材料の比強度と伸びとの関係

*原稿受付 平成22年9月15日

**正 員 株式会社神戸製鋼所 Member, KOBE STEEL, Ltd. Al&Cu Business

Table 1 各種材料による軽量化試算

		張剛性		耐デント性		部材剛性		耐久限度		動的圧壊特性		部品例				
外板		◎		○				△		○		フード、ドア、トランクリッド				
内板		◎		△		○		○		○		フロア、ダッシュボード				
構造部材						◎		○		○		ボディサイドメンバ、クロスメンバ				
						○		◎		○		サイドメンバ、デフマウントメンバ				
						○		○		◎		ドア補強ビーム、バンパ、シートベルトアンカ				
パラメータ		$E \cdot t^3$		$\sigma_y \cdot t^2$		$E \cdot t$		σ_B		$\sigma_y^{0.6} \cdot t^{1.8}$		形状	比重	E(GPa)	σ_B (MPa)	σ_y (MPa)
軟鋼	SPCC	1.00	100	1.00	100	1.00	100			1.00	100	板	7.8	205.8	294	167
高張力鋼	HT590	1.00	100	0.58	58	1.00	100			0.70	70	板	7.8	205.8	590	490
	HT980	1.00	100	0.44	44	1.00	100			0.57	57	板	7.8	205.8	980	882
アルミニウム合金	5182-O	1.44	49	1.07	36	2.91	99			1.04	35	板	2.7	70.6	289	147
	6N01-T5	1.44	49	0.86	30	3.00	104			0.90	31	形	2.7	68.7	270	226
マグネシウム合金	AZ31-O	1.66	38	1.09	25	4.61	105			1.03	24	板	1.8	44.6	255	152
	AZ61A-F	1.66	38	0.86	20	4.61	106			0.90	21	形	1.8	44.6	310	228

板厚決定に対する各要因の支配度の強さ: ◎強い、○普通、△弱い、無印無

軟鋼と同一特性にした時の板厚比、重量比

E: 縦弾性係数、t: 板厚、 σ_B : 引張強さ、 σ_y : 降伏点あるいは耐力

Table 2 各種材料の物理的性質

特性	単位	温度	Al	Mg	Fe
比重	g/cm^3	20°C	2.70	1.74	7.87
融点	K(°C)		933(660)	924(651)	1809(1536)
比熱	$J/kg \cdot K$	20°C	917	1038	456
	$J/m^3 \cdot K$		2476	1806	3589
潜熱	kJ/kg	融点	398	368	272
	kJ/m^3		1075	640	2141
表面張力	kN/m	融点	914	559	1872
熱伝導率	$W/m \cdot K$		238	155.5	78.2
線膨張係数	$10^{-6}/K$		23.5	26	12.1
縦弾性係数	kN/mm^2		70.6	44.7	211.4
比抵抗	$10^{-2} \mu \Omega \cdot m$		2.67	4.2	10.1

Table 3 溶接用アルミニウム合金母材の区分 (JIS Z 3040 による区分)

母材の区分	合金の種類	JIS 合金例	主な標準合金成分 (%)
P21	アルミニウム	A1070	Al ≥ 99.70
		A1100 A1200	Al ≥ 99.0, 0.1Cu Al ≥ 99.0
	Al-Mn 合金	A3003 A3203	1.2Mn, 0.1Cu 1.2Mn.
		Al-Mg 合金 (Mg < 4%)	A3004
A5005	0.8Mg		
A5052	2.5Mg, 0.25Cr		
A5154	3.5Mg, 0.25Cr		
A5254*	3.5Mg, 0.25Cr, Mn ≤ 0.01		
A5454	2.7Mg, 0.75Mn, 0.1Cr		
P23	Al-Mg-Si 合金 (熱処理型合金)	A6061 A6063** A6N01**	1.0Mg, 0.6Si, 0.3Cu, 0.2Cr 0.7Mg, 0.4Si 0.6Mg, 0.65Si, (Mn + Cr) ≤ 0.50
P24	Al-Cu 合金 (熱処理型合金)	A2014 A2219	4.4Cu, 0.5Mg, 0.8Si, 0.8Mn 6.3Cu, 0.3Mn, 0.18Zr, 0.06Ti
P25	Al-Mg 合金 (Mg ≥ 4%)	A5083 A5086	4.5Mg, 0.7Mn, 0.15Cr 4.0Mg, 0.5Mn, 0.15Cr
P27	Al-Zn-Mg 合金 (熱処理型合金)	A7N01 A7003**	4.5Zn, 1.5Mg, 0.5Mn, 0.15Zr 5.7Zn, 0.75Mg, 0.15Zr
P28	アルミニウム合金鋳物	AC4C AC7A	7.0Si, 0.3Mg 4.5Mg

注) * 過酸化水素装置用に Mn を抑制した合金

** 押出材専用合金

Table 4 溶加材の種類と適用・特徴

	主化学成分 mass%	継手強度		適用	特徴
		継手母材	N/mm ²		
1070	Al \geq 99.70	A1070P-O	\geq 54	99.70%以上の高純度アルミニウム用	耐食性良好
1100	Al \geq 99.00, 0.13Cu	A1100P-O	\geq 74	99.0%以上の純アルミニウム	耐食性良好
1200	Al \geq 99.00	A1200P-O	\geq 74	Al-Mn系合金	耐食性良好
2319	6.3Cu, 0.3Mn, 0.18Zr, 0.1V, 0.15Ti	A2014P-T6	\geq 254	Al-Cu系合金	2219用
4043	5.3Si	A6061P-T6	\geq 167	Al-Mg-Si系合金、鋳物	高温割れに対する抵抗大。延性。韌性低い。陽極酸化により黒灰色になる。
4047	12Si	A5454P-O	\geq 167	Al-Cu系合金、Al-Mg-Si系合金、鋳物	使用温度は65°Cを超えても良い
5554	2.7Mg, 0.8Mn, 0.13Cr, 0.1Ti	A5254P-O	\geq 216	5454などMg含有量の低いAl-Mg系合金	過酸化水素装置用
5654	3.5Mg, 0.25Cr, 0.1Ti	A5254P-O	\geq 206	5254など中強度のAl-Mg系合金	広範囲に活用される溶加材の一つ
5356	5.0Mg, 0.13Mn, 0.13Cr, 0.13Ti	A5083P-O	\geq 265	Al-Mg系、Al-Mg-Si系、Al-Zn-Mg系合金	5183に比較して継手強度若干高い
5556	5.1Mg, 0.8Mn, 0.13Cr, 0.13Ti	A5083P-O	\geq 275	5083, 7N01など特に高い継手強度が要求される溶接構造物	広範囲に活用される溶加材の一つ
5183	4.8Mg, 0.8Mn, 0.15Cr	A5083P-O	\geq 275	5083及び一般の溶接構造物	

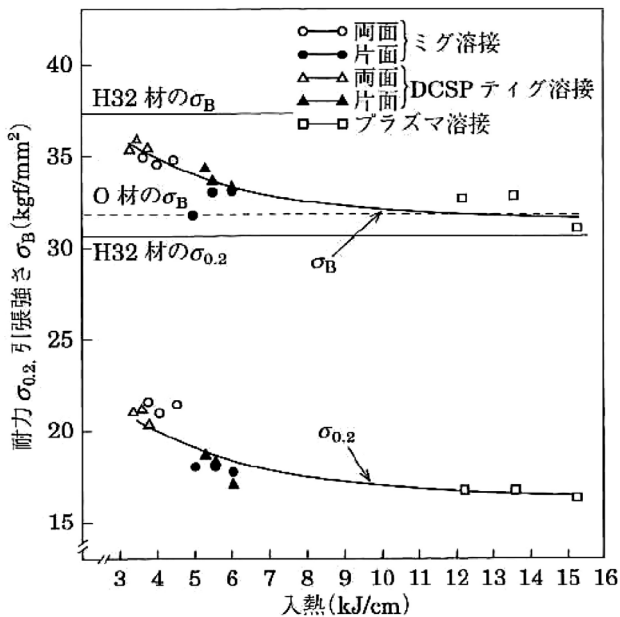


Fig.2 溶接入熱と継手強度の関係 (A5456-H32 の場合)

3. Alの種類と溶接性⁴⁾

溶接用素材としては、JISZ3040 (溶接施工方法の確認試験方法)によると、P21-P28の7種類に分類され、代表例とともにその溶接性も合わせて記すとTable 3の通りである。P21は、耐食性などを重視するいわゆる器物などに適用されるもので、溶接構造物としては、P22-P28の6種類で、P28は鋳物材として多用されている。

溶加材としては、JISZ3232 (アルミニウム及びアルミニウム合金溶加棒ならびにワイヤ)によると、Table 4に示すように11種類で、素材成分と比較するとAl-Mg-Si系やAl-Zn-Mg系の溶加材は存在しない。これは、これら成分の素材を共金系で溶接すると溶接割れが発生し適用できないためである。これら11種類の溶加材の中から適当な溶加材を選択するためには、一般に以下の各項目を考慮することになるが、溶接物が使用される目的によってその重要度の順位は当然変わる。①溶接の難易(割れの発生)②継手の強度③継手の延性④継手の耐食性⑤高温特性(高温での使用可否)⑥陽極酸化処理後母材と溶接部のカラーマッチ

3.1 Al-Mg系材料の溶接性と留意点

Al-Mg系合金材のアーク溶接は容易である。この系の合金材は、圧力容器ほか一般の構造部材として使われる

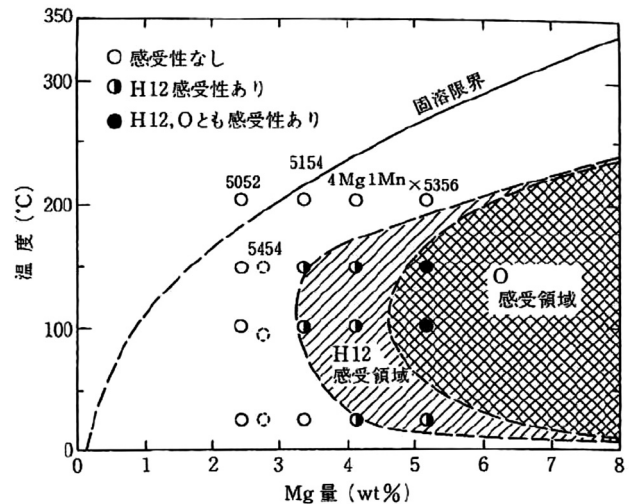


Fig.3 Al-Mg系合金各調質における応力腐食割れ感受性

が、溶接部の強度はその軟質材と同じ強さで延性も十分ある。このシリーズ中で比較的強度の高い5083-O材が溶接構造物としてよく採用されるのは、その継手強度だけでなく、この材料の成形加工性、大気及び化学的雰囲気での耐食性および材料費など、設計上の要求に満足を与えるためである。その継手効率は100%で軟質材と同じとなり、一般には引張強さ275 N/mm²、耐力125 N/mm²を保証できる。

本系合金は加工硬化材であるので、その硬化を利用して素材強度をできるだけ高く設定して構造物を製作したいという要望がある。溶接熱により軟化する様子を溶接入熱や溶接方法で調査した結果をFig. 2に示す。溶接入熱の増加によってO材強度にまで低下する傾向が有り、また片面施工の方が両面施工よりも継手強度は低くなるようである。これは、片面施工の方が1パス当りの溶接入熱量が増加するためと思われる。

本系合金の応力腐食割れ感受性はFig. 3のように、Mg含有量ならびに環境温度にて異なり、3%以上のMg含有合金材料は約65°C以上の環境で使用される溶接構造物には使われない。したがって、溶加材にもMg量が約2.8%の5554の溶加材が使われる。

3.2 Al-Mg-Si系材料の溶接性と留意点

Al-Mg-Si系材料は、共材の溶加材で溶接すると熱間割れを発生する。これを、4043あるいは5356などの溶加材を使って防止するが、それは溶接金属にけい素またはマグネシウム量を増加して、割れ感受性の高い成分領域を

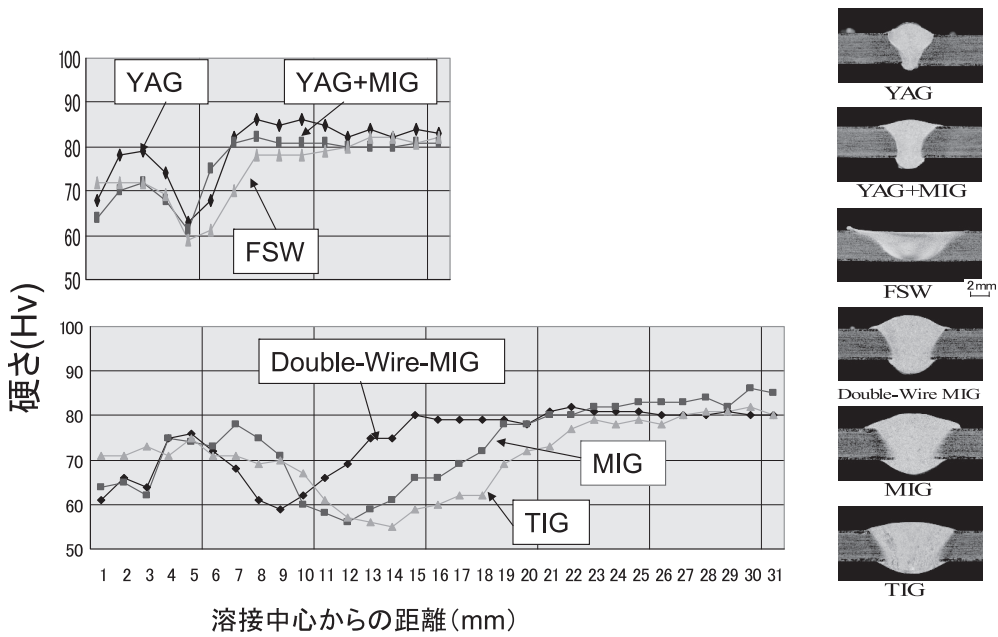


Fig.4 各種接合方法における継手部の硬さ分布 (Al-Mg-Si 系合金 T5 材, 2mm 突合せ溶接部)

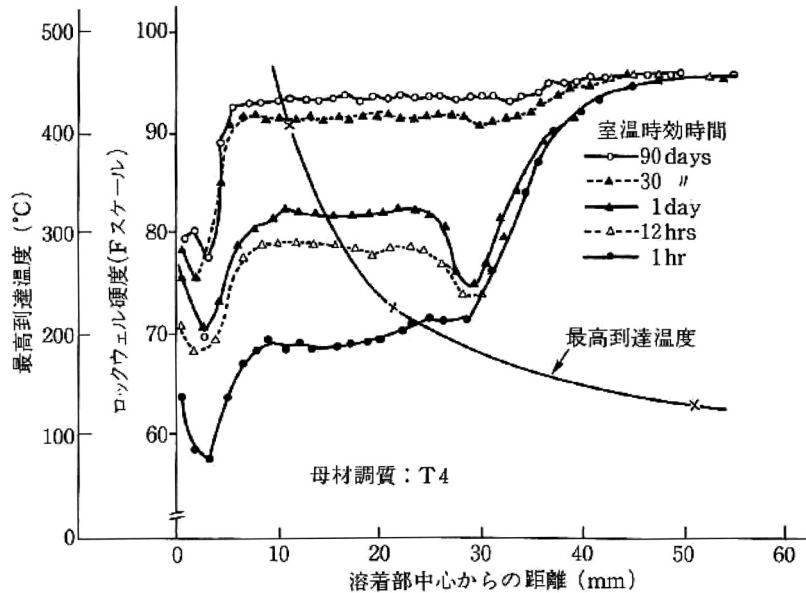


Fig.5 7N01 相当 T4 材突合せ継手溶接部の最高到達温度と硬さ分布

避けるためである。6N01は大型押出形材を用いた車輛・船舶の溶接構造材として多く利用されている。この材種は延性があり、しかも耐食性・強度が優れている。

溶接継手に関しては、素材は熱処理により強度を上げているので溶接熱による軟化が考えられる。Al-0.5Mg-0.6Si-T5材を用いての各種溶接方法における継手部の硬さ分布(溶接後室温1ヶ月時効後)をFig.4に示す。YAGレーザー溶接(LBW), YAGレーザーとミグ溶接とのハイブリッド溶接(L&M), 摩擦攪拌接合(FSW), タンデムミグ溶接(T-MIG), ミグ溶接(MIG), ティグ溶接(TIG)の硬さ分布から、その熱影響の程度はLBW<L&M<FSW<<T-MIG<MIG<TIGとなる。YAGレーザー溶接の冷却速度が他に比較して著しく大きいことから、冷却時の非強化相 β' , β への時効進行の抑制効果が

功を奏していると推測される。溶接方法による差異はあるものの溶接部近傍には素材よりも軟化した部位が残るのが特徴であり、継手効率は60%以上となる。

また、本系材料の中には強度をあげるために過剰Siタイプの合金があるが、溶接熱影響部に粒界に沿った高温割れの一種である溶接マイクロ割れが生じる場合がある。低融点共晶物の生成抑制や結晶粒の微細化など素材からの対策ならびに、溶接の観点からは過大な入熱の抑制ならびにAl-Si系溶加材の適用が推奨される。

3.3 Al-Zn-Mg系材料の溶接性と留意点

本系材料は熱処理合金であり、銅を含まないAl-Zn-Mg系の合金は3元合金または溶接構造用高力合金として利用されている。T6材で溶接したままの引張強さは325N/mm²以上あり、母材の強さを380N/mm²とすると

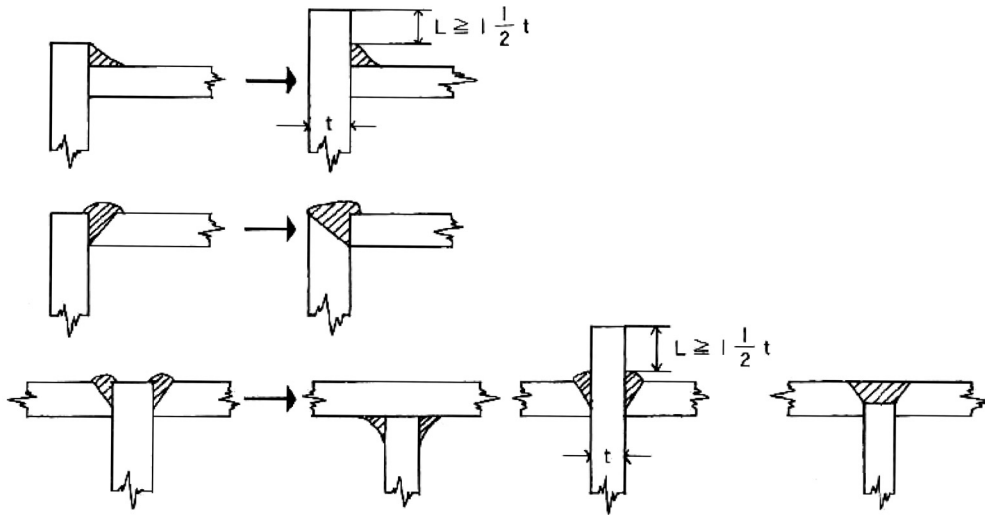


Fig.6 板端面の応力腐食割れ防止のための継手形状変更案

継手効率は約85%となる。継手はじん性に富み、溶接用構造材として利用されている。

この合金の特長の一つは、従来の熱処理用合金に要求されている焼入温度より低い温度（約450℃）で焼入れされ、しかも冷却速度に対して鈍感なので空冷でも十分焼入効果を発揮する。しかも常温で時効性があるため、溶接後室温に放置するだけでも時効硬化が行われる特性がある。T4素材の溶接継手部の室温時効性をFig.5に示すが熱影響軟化部は素材レベルにまで回復していることがわかる。

本系材料の応力腐食割れ感受性は、他系材料よりもいささか高いと言われており、溶接による引張残留応力が熱影響部に発生するので、留意が必要である。調質の影響は、T4が鋭敏で、次いでT6、そしてT7が最も優れた特性を示す。応力方向に対する感受性は、厚さ方向が鋭敏で、次いで圧延直角方向、そして圧延長手方向が最も優れた特性を示す。これら最善の組合せが設計上不可能な場合、たとえばすみ肉継手の場合に、溶接残留応力の影響を少なくしたり、厚さ方向の端面を該当部位からずらしたりなどといった対策が考えられるが、例えばFig.6のような溶接設計変更などが上げられる。

3.4 継手の疲労強度特性

溶接継手の疲労特性について、鋼の場合と同様に素材の疲労特性は引張強さと相関性が認められるが、溶接継手になると繰り返し数が増すに従い、素材の影響は少なくなり、継手の幾何学的形状や余盛形状などによる応力集中の方が大きく影響してくるようになるのが特徴である。鋼とアルミニウム合金との疲労亀裂進展速度のデータは ΔK （応力拡大係数範囲）/E（弾性係数）で整理するとほぼ1本の幅を持つ線で表されるようになる⁵⁾。実験データを基にして作成された日本鋼構造協会（JSSC）の疲労設計指針と、米国アルミニウム協会の同指針とを 2×10^6 回での値で比較するとTable 5⁶⁾のようになり、疲労強度比は鋼の場合の1/2.2~1/2.5程度の弾性係数比よりも若干高い値がえられる。継手形状による疲労強度の差異をみると、突合せ継手余盛有りで素材の55%前後、すみ肉継手で素材の20%程度の値がえられるのは鋼の場合と同じである。

Table 5 疲労設計指針における材料ならびに継手形状の差異

素材	日本鋼構造協会 JSSC		米国アルミ協会 AA		JSSC/AA
	(A)190MPa	100%	(A)80MPa	100%	
突合せ継手(余盛削除)	(B)155MPa	82%			
突合せ継手(余盛有り)	(D)100MPa	53%	(B)45MPa	56%	2.2
すみ肉継手	(H) 40MPa	21%	(E)(F)16MPa	20%	2.5

()は、等級区分

4. Mgの種類と溶接性

Table 6にその概要を示す。高純度のMgは、強度や耐食性が良くないのでほとんど実用化されておらず、Zn, Al, Mn, Zr, 希土類元素などを添加し、改良されている。通常、Znは単独添加されることはなく、AlまたはZrとともに添加される。Zrの添加は結晶粒微細化と強度向上に効果があるが、Alを含有する場合は、その効果が消失する。また、希土類元素は溶接割れ感受性を低下させる。

1, 2, 3種のMg-Al-Zn系材料の場合、Alの添加は、溶接性向上に効果はあるが、Znが1%以上添加されると割れ感受性が高くなり溶接性は低下する。よって、Znをほとんど含まないMC5（AM100A）の溶接性は良好である。Mg-Zn-Zr系材料の場合にもZnが少ないと割れは発生しないが、多い場合には溶接性は劣り、溶接は困難となる。一方、Zn添加量を若干下げ、希土類元素を2.4-4.0%添加したMC8（EZ33A）は非常に良好な溶接性を示し、MC5（AM100A）よりも溶接性は優れている。

また健全な溶接部を得るためには、溶加材と素材との組合せに留意する必要がある。先に述べたようにZrの添加効果は、Alを含有する場合はその効果が消失するのでMg-Al-Zn系材料に対しては、合金系且つZn添加量の少ない溶加材を用い、Mg-Zn-Zr系材料に対しては、同系にさらに希土類元素を添加したEZ33Aを溶加材として用いるのが良い。また、鋳物の補修溶接には合金系の溶加材を用いるのが一般的である。

4.1 溶接方法

Mgの溶接は、1920年代から取組まれてきたが、表面

Table 6 マグネシウム合金の溶接性と溶加材との組合せ

	JIS合金			ASTM 相当合金	溶加材					溶接性
	種類	記号	概略成分		AZ61A	AZ91A	AZ92A	EZ33A	共金	
展伸材	1種	MS1	Mg-3Al-1Zn	AZ31	○		○			A
	2種	MS2	Mg-6.4Al-1Zn-0.3Mn	AZ61A	○		○			B
	3種	MS3	Mg-8.4Al-0.6Zn-0.3Mn	AZ80A	○		○			B
鋳物材	1種	MC1	Mg-6Al-3Zn-0.4Mn	AZ63A		○*	○		○	C
	2種	MC2	Mg-8.7Al-0.7Zn-0.3Mn	AZ91C		○*	○		○	B+
	3種	MC3	Mg-9Al-2Zn-0.3Mn	AZ92A		○*	○		○	B
	5種	MC5	Mg-10Al-0.3Mn	AM100A		○*	○		○	B+
	6種	MC6	Mg-4.6Zn-0.8Zr	ZK51A				○	○	D
	7種	MC7	Mg-6Zn-0.8Zr	ZK61A				○	○	D
	8種	MC8	Mg-2.6Zn-0.8Zr-3.2RE	EZ33A				○	○	A

溶接性:A優、B+優と良の中間、B良、C可、D制限有り

Zn \geq 3%の場合、EZ33Aを使用するが溶接は難しい

*:割れが発生し易い場合は、AZ92Aを使用する

性状に優れた溶加材、プッシュプル式のトーチの開発や電源の開発などにより、ワイヤ送給や溶滴移行がより安定的に可能となった昨今、Mgのニーズの高まりも受けて、その研究開発活動は活発である。

Al材料に対して使われている溶接方法の大半が、Mg材に対しても適用可能である。一般的な溶接方法であるアーク溶接においては、溶融金属の大気からの保護のためにアルゴンやヘリウムなどの不活性ガスをシールドガスとして使用する。炭酸ガスや窒素ガスは、溶融Mgと反応して炭化物や窒化物を生成するために用いられることはない。

ティグ溶接は一般的に用いられる溶接方法であるが、表面酸化膜のクリーニング作用を活用するために少なくとも母材がマイナスとなる交流あるいは直流逆極性(DCEP)が適用可能となるが、タングステン電極の消耗ならびに溶込みの観点からもっぱら交流が用いられるのはAlの場合と同様である。

ミグ溶接は、Al用の溶接電源ならびに送給システムが必要となる。Mgワイヤは非常に軟らかく座屈を起こしやすいと同時に切削性が良いために送給経路にてワイヤが削り取られ切り粉が溜まり送給不良を起こしやすいからである。また、ワイヤの溶融量が大きく、Mgの溶融点がAlとほぼ同程度であるにもかかわらず、熱伝導率がAlの2/3、電気抵抗がAlの約2倍、比熱がAlの約3/4であることや、Mgの沸点がAlの約1/2であることなどから、同一電流設定に対して約2倍の溶融量となる。つまり、余盛が多く、母材への溶込みが浅くなり易い傾向になる。パルス有りとパルス無しの同一電流と比較するとFig. 7^oのようになり、ビード外観ならびに溶込み形状ともにパルスミグ溶接の方が良好である。

継手強度に関しては、ティグ溶接継手の例をTable 7^oに、ミグ溶接継手の例をFig. 8^oに示す。このミグ溶接の例は、AZ31押出材のI型突合せ溶接継手をAZ31、AZ61およびAM50(Mg-4.8Al-0.32Mn)の各種溶接ワイヤで作製したもので、破断は溶接熱影響部あるいは母材で有り、母材の引張強さ253MPaに対して87-91%の継手効率を示している。

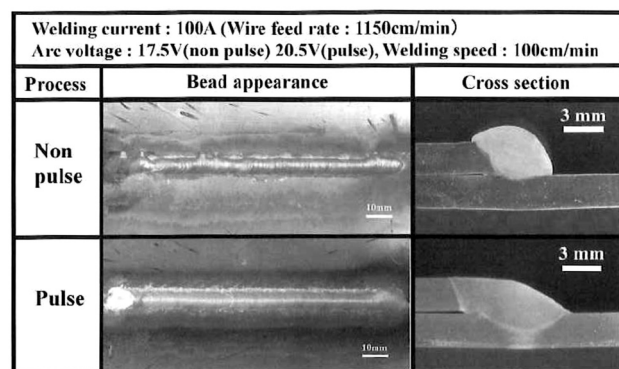


Fig.7 ビード外観ならびに溶込み形状におよぼす溶接通電時のパルス有無の影響

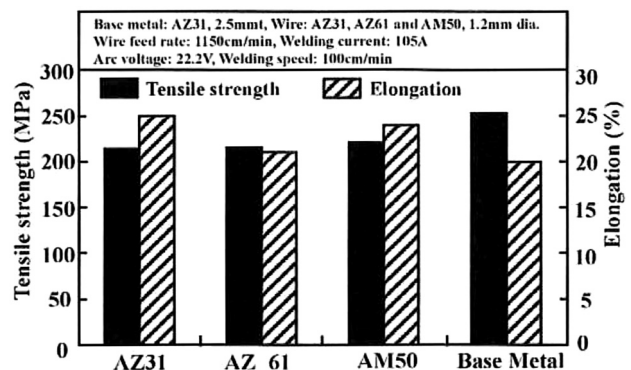


Fig.8 ミグ溶接継手の継手強度例

4.2 溶接留意点

溶接不完全部としては、溶接割れが大きな課題で有り、適正な溶加材の選定、予熱、入熱制限などがその対策となる。予熱は材料の種類や溶接物の大きさ・形状などによっても異なるが、薄板で拘束が大きい場合やZnの多い材料等では予熱することが望ましい。その条件は合金種や拘束の程度により適当に選択されるが、一般には200-400℃以下の温度で行う。しかし、予熱により溶接割れの防止にはなるが、代わってマイクロシュリンケージキャビティが発生する場合もあるので注意が必要である。

また、Alを1.5%以上含む合金は、溶接の残留応力に

Table 7 ティグ溶接継手の継手強度 (室温)

合金	溶加材	溶接継手強度			継手効率 (%)	
		引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)		
板材	AZ31B-O	AZ61A, AZ92A	241~248	117~151	10~11	95~97
	AZ31B-H24	AZ61A, AZ92A	248~255	131~152	5	86~88
	ZE41A-T5	ZE41A	207	138	4	100
	ZH62A-T5	ZH62A	262	172	5	95
押出材	AZ10A-F	AZ61A, AZ92A	221~228	103~124	6~9	91~94
	AZ31B-F	AZ61A, AZ92A	248~255	131~152	5~7	95~97
	AZ61A-F	AZ61A, AZ92A	262~276	145~165	6~7	84~89
	AZ80A-E	AZ61A	248~276	152~179	3~5	74~82
	AZ80A-T5	AZ61A	234~276	165~199	2	62~73
	ZK21A-F	AZ61A, AZ92A	221~234	117	4~5	76~81
鋳造材	AZ63A-T6	AZ61A, AZ92A	214	—	2	77
	AZ81A-T6	AZ101A	234	90	8	85
	AZ91C-T6	AZ101A	241	110	2	87
	AZ92A-T6	AZ92A	241	145	2	87
	ZE33A-T6	EZ33A	145	110	2	100
	K1A-F	EZ33A	169	55	10	100

* 高い数値：余盛付。低い数値：余盛削除

Table 8 Mg 合金の溶接後熱処理条件 (応力除去)

	合金	溶接後熱処理条件	
		温度, °C	時間
圧延材	AZ31B-O	260	15 min
	AZ31B-H24	150	1 h
	ZE10A-O	230	30 min
	ZE10A-H24	135	1 h
押出材	AZ10A-F	260	15 min
	AZ31B-F	260	15 min
	AZ61A-F	260	15 min
	AZ80A-F	260	15 min
	AZ80A-T5	205	1 h
鋳造材	AM100A	260	1 h
	AZ63A	260	1 h
	AZ81A	260	1 h
	AZ91C	260	1 h
	AZ92A	260	1 h
	EZ33	330	2~4 h
	EQ21	505	1 h
	QE22	505	1 h
	ZE41	330	2~4 h
	ZC63	425	1 h
	WE43	510	1 h
	WE54	510	1 h

注：AZ31, 61, 80の圧延及び押出材では応力腐食割れ防止のために実施

より応力腐食割れの発生が懸念されるので、応力除去のための熱処理が必要となる。この応力除去のための熱処理条件は Table 8⁹⁾のとおりである。一方、溶接後調質を整える場合にも熱処理を行なうが、結晶粒が粗大化する場合もあり、個々の材料、調質ごとにこの点を考慮した熱処理が必要である。

5. おわりに

Al や Mg は、各種特性のメリットにより鋼や樹脂を代替するところとなってきたが、構造物としての軽量化が最も期待されているからでもある。その適用に当たっての溶接性を述べたが、紙面の都合上、その基本のみにとどまったが、レーザ溶接・電子ビーム溶接さらには摩擦攪拌溶接 (FSW) に関する開発も活発に行なわれている分野でもあり、各種報告書や解説書¹⁰⁻¹²⁾があるので、是非ご参照願いたい。

参考文献

- 1) 渡辺, 向井, 東: “マグネシウム超塑性の研究”, 軽金属, Vol.51 (2001), No.10, p504.
- 2) 佐藤: “高強度薄鋼板の自動車車体への適用性 1”, 第74, 75回西山記念技術講座, p166 (1981).
- 3) 上山, 矢澤, 全, 藤江, 中田: “マグネシウム合金のパルス MIG 溶接”, 溶接学会軽構造接合加工研究委員会資料, MP338-2003 ('03. 6) .
- 4) アルミニウム合金構造物の溶接施工管理テキスト (第4版), (社)軽金属溶接構造協会発行, 2009-8.
- 5) R. C. Bates & W. G. Clark Jr.: Trans. ASM, 62 (1969), 380.
- 6) 笹部) 溶接学会フォーラム資料, 2004-4, F35.
- 7) 上山, 中田: 軽金属溶接, Vol.42 (2004), No.5, p203.
- 8) ASM Special Handbook, ASM International, 1999.
- 9) 上園, 上山: 溶接学会シンポジウム, 2008-4, S-15.
- 10) Welding Handbook "Magnesium and Magnesium alloys".
- 11) 中田: 軽金属溶接, Vol.39 (2001), No.12, p582.
- 12) 朝比奈: 軽金属, Vol.60 (2010), No.5, p251.