テーマ特集

自動車用材料とその接合技術

アルミの接合技術*

松 本 二 郎**

Joining Technique of Aluminium and it Alloys*

by Jiro Matsumoto**

キーワード：ティグ、ミグ、抵抗スポット溶接、レーザ溶接、電子ビーム溶接

1. はじめに

アルミニウム及びアルミニウム合金（以下アルミニウムという）の接合は、その緻密な表面酸化皮膜と活性度が高く酸化しやすい特性のために、鉄鋼材に比較して困難であると考えられてきた。しかしながら、アルミニウムは接合加工に要するコスト高や、工程の複雑さ及び製作範囲等改善されるべき点は多数あると考えられるものの、この材料の軽量性、耐食性、加工性、押出性、高熱伝導性及び非磁性等の数多くの有用な特性を生かして、その利用範囲が非常に広がってきている。またその接合法にも工夫がされており、少なくとも接合を駆使した製品の品質レベルは、鉄鋼材料をはじめ他の非鉄金属材料のそれに比較しても遜色のないレベルにきていると考える。本章ではアルミニウム接合の概要について説明する。

2. 接合法

金属の接合法を大別すると機械的接合、接着剤による接合及び溶接法がある。そしてこのうちの溶接法には分類の方法にもよるが、細かく分類すれば50種類にも達する溶接法が開発され、色々な用途に駆使されている。これらの溶接法を大別すると表1に示すように融接・圧接・ろう接の3種類に分けられる。

融接は接合する母材を溶融点以上に加熱・溶融して接合する方法であり接合に対して圧力を加えることはしない。

い。この融接では母材を溶融させるために相当な高温に加熱する必要があり、加熱の熱源によりガス溶接、アーク溶接からレーザ溶接まで色々な種類に分類される。表2にアルミニウムの溶接に現在利用されている主な融接の特徴と適用例を示す。

圧接は融点以上に加熱するものもあり、また熱を加えずに常温で行うものもあるが、いずれにしても加圧して接合する溶接法である。超音波溶接、爆発溶接及び冷間圧接などは、ほとんど加熱しないで常温で加圧接合する

表1 溶接法の種類

*原稿受付 平成3年2月20日

** ㈱日軽技研 Nikkei Techno-Research Ltd.

表 2 溶融溶接

エネルギー源	熱入力	雰囲気	溶接方法	特徴・適用例等
電 気	アーク	不活性ガス	TIG 溶接 MIG 溶接 スタッド溶接	比較的薄板, 溶接長が長くなく, 連続しない溶接 中～厚板, 溶接が連続して長い場合 ボルト, ピン等の植込み
	電子の運動エネルギー	多くの場合真空中	電子ビーム溶接	航空機, ロケット部品等
	副射	不活性ガス	レーザ溶接	アルミには, 切断の形式で実用化

表 3 圧接

エネルギー源	熱入力	溶接方法	特徴・適用例等
電気	電気抵抗	スポット溶接 フラッシュバット	道路標識, 鉄道車両, 航空機等の広範囲の分野で使用 二輪車, 四輪車等のホイールリム, 窓枠コーナー, 自転車リム
	誘導電流による抵抗アーク	高周波溶接	誘導された高周波の表皮効果を利用して条から各種の電縫管を製造
化学	爆発圧力変形	爆発溶接	アルミニウムと異種金属の接合, 異種金属間を溶接する トランジションピースの製造
機械	摩擦	摩擦圧接	棒・管の溶接, アルミニウムと異種金属の溶接
	超音波振動	超音波溶接	アルミニウム箔, 薄板の接合, アルミニウムと異種金属の 接合, ボンディングワイヤの接合
	特になし	冷間圧接	線・薄板等の接合, 電気部品の伝染の接続

方法であり, それ以外はほとんど溶融点以上の温度に加熱して接合する方法である。加熱の方法には継手に直接電流を流して接合部の温度を上げる抵抗溶接, フラッシュバット溶接, 酸素アセチレンを用いるガス圧接, 高周波を用いる高周波抵抗あるいは誘導溶接, 接合面の摩擦発熱を利用する摩擦溶接がある。表3にアルミニウムに利用されている圧接法についてその特徴と適用例を示す¹⁾。

ろう接は母材よりも溶融点の低い合金を溶加金属として, 母材を溶融することなく継手の狭い間隙を毛細管現象により接合面に行き渡らせて溶接する方法である。そしてこのろう接は溶加金属のろうの溶融点により約450℃以上の硬ろうと450℃以下の軟ろうに分けられ, 前者をろう付, 後者をハンダ付けと呼んだりしている。表4に示すように種々のろう接方法がある。

3. アルミニウムの種類

純アルミニウムは軟らかく伸展性に富んだ金属であり, これにCu, Mg, Si, Mn, Zn, NiあるいはLi等を添加して合金にすると, 機械的性質は改善され, それぞれの目的に応じた優れた工業材料が得られる。大別すると非

熱処理合金と熱処理合金に分けられる。アルミニウムはローマ字Aと4桁の数字AXXXXで表わすようにJIS H 4000で決められている。第1位の数字は主要添加元素を表わす。非熱処理合金は, 冷間で加工すると加工硬化により強さが増し, 伸びは減少する。このようにして強さを増した材料を加工硬化材と呼ぶ。これに属するものとしては, 純アルミニウム(純度が99.0%以上のアルミニウム, A1XXXで表わす), Al-Mu合金, (A3XXXで表わす), Al-Si系合金(A4XXXで表わす)及びAl-Mg系合金(A5XXXで表わす)がある。熱処理合金は析出硬化によって機械的性質が向上する。これに属するものとしては, Al-Cu系合金(A2XXXで表わす), Al-Mg-Si系合金(A6XXXで表わす)及びAl-Zn系合金(A7XXXで表わす)がある。非熱処理合金は焼きなまし軟質材(O材という), あるいは適当な加工硬化の状態(H材という)で使用される。熱処理を受けた合金には, 合金記号の後に熱処理記号を付ける。その主なものは次のとおりである。T4: 溶体化処理後, 自然時効硬化させたもの, T5: 高温加工から冷却した後, 人工時効硬化処理したもの, T6: 溶体化処理後, 人工時効硬化処理したもの。

表4 ろう接

エネルギー源	熱 入 力	機械的入力	雰 囲 気	ろう接方法*	特徴、適用例等
電 気	アーク	(特になじ)	不活性ガス	TIG ろう付	アルミニウムと異種金属の接合
	伝導、抵抗		フラックス	浸漬(ディップ) ろう付	主として大型の各種熱交換器、フラックス残渣洗浄の必要
	輻 射		大 気 フラックス	炉内ろう付	各種の熱交換器(ラジエータ、コンデンサ、エバポレータ、オイルクーラ等)、塩化物系フラックスの残渣洗浄の必要あり。フラックス残渣洗浄不要の非腐食性ふっ化物系フラックスもあり
			真 空	真空ろう付	各種の熱交換器、フラックス不使用で仕上がりが美しい。赤外加熱もあり
			不活性ガス	不活性ガス雰囲気ろう付	VAW 法と呼ばれ、各種の熱交換器の組立に適用。雰囲気ガスは主に露点を-60℃以下に制御したちっ素
	伝 導	超音波	溶融はんた	超音波はんた付	溶融亜鉛はんた浴中に組立品を浸漬し、超音波振動にて界面のぬれを促進しつつ接合、Uベンド管等で実用化
化 学	ガス炎	(特になし)	大 気 フラックス	トーチろう付	ガス炎により加熱し、ろうはブリフォームや線を用いる
		摩擦	大 気	摩擦はんた付	フラックスを用いずに行う分割鋳造品のはんだ付
		(特になし)	フラックス	反応はんた付	塩化亜鉛主体のフラックスから還元析出する亜鉛を溶加材とするはんた付

* ろう付(硬ろう付)とはんだ付(軟ろう付)は、用いる溶加材(ろう)の融点の高低で区別され、JISでは 450°C を境にしている。

表5 アルミニウム合金の分類

展伸材	非熱処理型合金 熱処理をせずに使える	純アルミニウム (1000系) Al-Mn系合金 (3000系) Al-Si系合金 (4000系) Al-Mg系合金 (5000系)	鋳物材	非熱処理型合金 熱処理をせずに使える	純アルミニウム Al-Si系合金 Al-Mg系合金
	熱処理型合金 規定の熱処理をして使う	Al-Cu-Mg系合金 (2000系) Al-Mg-Si系合金 (6000系) Al-Zn-Mg系合金 (7000系)		熱処理型合金 規定の熱処理をして使う	Al-Cu-Si系合金 Al-Cu-Mg-Si系合金 Al-Mg-Si系合金

3.1 アルミニウムの性質と溶接性

非熱処理合金は、一般に耐食性が優れている。純アルミニウムは強さは小さいが、耐食性や加工性や加工性が重要となる化学薬品タンク用に使われている。Al-Mg系合金は軟質の状態でも比較的強さが大きく、溶接継手効率も100%近くになり、低温じん性が優れているため、压力容器、車両、船舶、建材あるいはLNG用タンク等、溶接構造物に最も多く使用されている。このようなことから自動車にもこの系の合金が多く使用するものと考えられる。

熱処理合金は、非熱処理合金と比較すると一般に強さは大きい、耐食性や溶接性が劣る場合が多い。Al-

Mg-Si系合金は欧米などでは広く車両用に用いられている。Al-Zn-Mg合金はわが国においても車両、建築、二輪車のフレーム等の溶接構造物に使用されている。一方Al-Cu-Mg系合金(ジュラルミン、超ジュラルミン)及びAl-Zn-Mg-Cu系合金(超々ジュラルミン)は、高張力鋼に匹敵する強さを持つものもあるが、耐食性が悪く、溶接が困難なものが多い。ただし、Al-Cu系合金である2219は例外的に溶接性、耐応力腐食割れ性、高温強さ低温じん性が良いため、ロケット等航空宇宙関係の溶接構造物に使用されているので、自動車関係にも使用されるようになるであろう。

新しい材料としては、Al-Li合金が航空機用材料とし

て最近注目されはじめ、溶接性の検討もされはじめている。表5にアルミニウムの分類を示す²⁾。

アルミニウムの溶接に際しては、鉄鋼材料とは性質がかなり異なるため、次の点について気をつけて溶接する必要がある。鉄に比べてアルミニウムを比較すると

- ①溶融温度は約 43 % であるが、比熱が 2 倍、溶融潜熱が 1.5 倍も大きいので、局部加熱が難しく、溶融させるためには多量の熱を急速に供給する必要がある。
- ②膨張係数が 2 倍と大きく、凝固収縮率が Fe の 2.2 % に

対して Al では 6.0 % と 2.7 倍も大きいので、溶接による変形を生じやすい。また、合金によっては凝固割れを生じ易い。

- ③溶接に際しては表面の酸化皮膜は有害であり、これを除去するための前処理が必要である。特にろう付やガス溶接ではこの酸化皮膜があると接合ができないためフラックスを用いて除去する方法がとられている。
- ④ほとんどのアルミニウムは溶接熱によって熱影響部が軟化し、溶接のままである継手の強さは母材の軟質材の

表 6 突合せ継手の機械的性質 (ミグおよびティグ溶接材 板厚 6~12 mm)

母材調質	溶加材	母材の機械的性質			溶接材の機械的性質 ⁽¹⁾⁽²⁾			継手 ⁽²⁾ 効率 (%)
		引張強さ N/mm ² (kgf/mm ²)	耐力 N/mm ² (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張強さ N/mm ² (kgf/mm ²)	耐力 ⁽⁴⁾ N/mm ² (kgf/mm ²)	伸び (%)	
1050-O	1070	79.4 (8.1)	31.4 (3.2)	37	79.4 (8.1)	31.4 (3.2)	25	100
1050-H14		109.8 (11.2)	103.9 (10.6)	8	79.4 (8.1)	41.2 (4.2)	20	72
1050-H18		151.9 (15.5)	145.0 (14.8)	7	79.4 (8.1)	41.2 (4.2)	15	52
1100-O	1100	93.1 (9.5)	38.2 (3.9)	35	93.1 (9.5)	38.2 (3.9)	25	100
1100-H14		119.6 (12.0)	109.8 (11.2)	9	93.1 (9.5)	45.1 (4.6)	20	79
1100-H18		176.4 (18.0)	165.6 (16.9)	6	93.1 (9.5)	45.1 (4.6)	15	53
2219-T81	2319	454.7 (46.4)	388.1 (39.6)	10	261.7 (26.7)	—	3	58
3003-O	1100	109.8 (11.2)	48.0 (4.9)	32	109.8 (11.2)	48.0 (4.9)	25	100
3003-H14		144.0 (14.1)	138.2 (14.1)	8	109.8 (11.2)	58.8 (6.0)	20	76
3003-H18		199.9 (20.4)	186.2 (19.0)	4	109.8 (11.2)	58.8 (6.0)	15	55
5052-O	5154	199.9 (20.4)	96.0 (9.8)	25	199.9 (20.4)	96.0 (9.8)	22	100
5052-H34		261.7 (26.7)	213.6 (21.8)	10	205.8 (21.0)	107.8 (11.0)	20	79
5052-H38		290.1 (29.6)	254.8 (26.0)	7	220.5 (22.5)	124.5 (12.7)	18	76
5154-O	5183	241.1 (24.6)	117.6 (12.0)	27	241.1 (24.6)	117.6 (12.0)	20	100
5154-H34		289.1 (29.5)	227.4 (23.2)	13	250.8 (25.6)	120.5 (12.3)	16	87
5083-O	5183	289.1 (29.5)	145.0 (14.8)	22	289.1 (29.5)	145.0 (14.8)	16	100
5083-H32		317.5 (32.4)	227.4 (23.2)	16	297.9 (30.4)	149.9 (15.3)	15	94
6061-T4	5356	240.1 (24.5)	145.0 (14.8)	22	199.9 (20.4)	138.2 (14.1)	8	83
6061-T6		309.7 (31.6)	295.4 (28.1)	12	193.1 (19.7)	124.5 (12.7)	5	62
6063-T4	5356	172.5 (17.6)	87.2 (9.1)	22	145.0 (14.8)	96.0 (9.8)	17	91
6063-T5		186.2 (19.0)	145.0 (14.8)	12	145.0 (14.8)	96.0 (9.8)	17	70
6063-T6		241.1 (24.6)	213.6 (21.8)	12	145.0 (14.8)	96.0 (9.8)	17	64
6N01-T5	4043	274.4 (28.0)	235.2 (24.0)	13	198.0 (20.2)	120.5 (12.3)	11	72
	5356	274.4 (28.0)	235.2 (24.0)	13	197.0 (20.1)	124.5 (12.7)	11	72
7N01-T6 (U74S)	5356	389.1 (39.7)	326.3 (33.3)	11	339.1 (34.6)	256.8 (26.2)	7	87
7E10-T6	5183	568.4 (58.0)	509.6 (52.0)	15	328.3 (33.5)	225.4 (23.0)	6	58

注 (1) 溶接材は溶接のままで熱処理を施していない。

(2) 溶接材は余盛を除去した。

(3) 継手効率 = $\frac{\text{溶接材の引張強さ}}{\text{母材の引張強さ}} \times 100 \%$

(4) 溶接材の耐力は参考値である。

強さにはほぼ等しくなる。表6にアーク溶接部の代表的強度を示す。

3.2 溶接割れ

アルミニウムの溶接部に発生する割れは高温割れであり、主として結晶粒界における合金元素の偏析あるいは低融点化合物に起因するものである。割れは高温割れといわれ溶接金属が凝固する際、凝固温度範囲の低温側で凝固時の収縮応力又は外力が作用することによる発生する割れと融解割れといわれる熱影響部の高温に加熱された粒界が局部的に溶融し、凝固する時の収縮力により発生する割れがある。また多層溶接をした際に、先に置かれた溶接部の発生する微小割れも一種の融解割れである。

図1に2元素合金の高温割れ感受性と凝固過程の関係を示す²⁾。合金成分の量が增大すると共に高温割れ感受性は増大し、上図のb点に対応する合金量の近くで高温割れ感受性は最大となり、それ以後は次第に減少して行く。この図において高温割れ感受性が認められる合金量は合金元素の種類により異なり、Al-Cu系においては1~3%Cu、Al-Si系においては0.6~0.8%Si、Al-Mg系においては1~2%Mg、Al-Mg-Si系においては1%Mg₂Siである。実用合金ではAl-Cu-Mg系、Al-Zn-Mg-Cu系で割れやすく、純アルミニウム、Al-Mu系、Al-Si系及びAl-Mg系では割れが発生しにくい。またTi、Zn、Ti+B等の元素を添加し、結晶粒を微細化すると割れ防止に効果があることも分かっている。

図1. 2元素合金の高温割れ感受性と凝固過程の関係

3.3 ブローホール

アルミニウムの溶接部にはブローホールが発生しやすく、溶接施工上大きな問題になっている。このブローホールの原因は水素であり、アルミニウムは溶融金属中では多量の水素を溶解することが可能であるが、凝固時にはその溶解度は激減することに起因している。水素源としては種々のものが考えられるが、特に寄与率の高いものとしては、空気中の水分、母材表面及び溶加材表面に吸着した水分、溶接機器の汚れなどが挙げられる。

4. 各 接 合 法

次に自動車の接合を考慮して各接合法について簡単に説明する。

4.1 イナートガスアーク溶接

この溶接法にはティグ溶接とミグ溶接があるが、いずれもロボット溶接が可能であり、今後大いに自動車関連の接合には利用できる。今まで、ミグ溶接は2mm程度の薄板は難かしいとされてきたが、溶接機の進歩によりティグと同じように薄板の溶接が可能になってきた。ミグ溶接の中でミグスポット溶接法があるが、溶接割れ、ブローホールが発生しやすく、溶け込みの上からも現在のところ信頼性が薄いとされているが、装置が簡略で作業性に富むことあるいは片側から施工が可能であることなど、メリットを有している。このようなことから部品の接合で抵抗スポットが容易でない所には採用は可能である。

表7にティグ溶接とミグ溶接の一般的な使い分けの指針を示す²⁾。

4.2 電子ビーム溶接

この溶接法はアルミニウムの物理的性質を考えると非常に好ましい溶接方法であるといえるが、装置が複雑で高価であったり、接合面の仕上の程度、ギャップ、汚れなどの管理が厳しかったり、真空中でないとその利点を活かさない欠点がある。このようなことから自動車関連に利用する場合には、厚肉部材で加工精度の良い部材の接合に適していると考えられる。

表7 ティグ溶接とミグ溶接の使い分け

	ティグ溶接	ミグ溶接
板厚	薄板用(3 mm 以下)	厚板用(1 mm 以上)
溶接速度	低速	高速
狭箇所部位	適	不適
溶接歪	大	中
溶接欠陥	少ない	ブローホール
スパッター	なし	あり

4.3 レーザ溶接

レーザ溶接は鉄鋼材料の接合には実用化されているものの、アルミニウムの接合に実用化されている例は非常に少ない。しかし、今後研究開発が進み、種々の問題を解決すれば実用化が可能である。

アルミニウムの接合に利用できるレーザの種類としては出力的に CO₂レーザ、CO レーザ、YAG レーザの 3 種類が考えられるが、いずれも一長一短がある。アルミニウムのレーザ溶接が、実用化されていない大きな理由は、イナートガス溶接のように外観的に滑らかな溶接部が得られないこと、内部に多数のブローホールを発生するため気密を要求される場合には不適であること、プラズマの発生により均一な溶け込みが得られなかったり、電子ビームと同じように接合面の仕上げ精度、ギャップが厳しかったり、アルミニウムの溶融粉末の飛散によってレンズが汚損しやすい等の欠点があるためである。しかし、電子ビームのように真空中で接合する必要がなかったり、YAG レーザを利用すれば光ファイバーを利用することによって発振器から 50 m も遠く離れた所でも接合が可能であるといった利点がある。今後自動車関係にはレーザ溶接の利用が大いに期待できると考える⁹⁾。

4.4 抵抗スポット溶接

アルミニウムの抵抗スポット溶接は、現在非常に幅広く利用されており、特に道路標識はほとんどこの方法で組立てられている。鉄道車両関係にも大いに利用されている。しかし、アルミニウムは鉄鋼材料に比べて、抵抗スポット溶接が難かしいと言われており、またスポット電極のドレッシングなしの連続打点数は非常に少ない。その理由は次の通りである。

- ①固有抵抗が低く、熱伝導率が高いので大電流、短時間通電が必要である。
- ②アルミニウムは容易に酸化皮膜を生じ、その電気抵抗が大きく、また均一でないので、接合強度バラツキやすい。
- ③ナゲット生成の前後において、塑性範囲がきわめて狭く、溶接条件の適正範囲が狭い。
- ④凝固時の体積収縮率が大きく、合金によっては割れや空洞などの欠陥を生じやすい。
- ⑤高温で急激に軟化するため、圧こんの深さ、板の浮き上りが大きい。
- ⑥電極材料とアルミニウムとの固有抵抗の差が少ないために電極汚損（ピックアップ）が生じやすい。

このようなことから、アルミニウムを溶接する場合は、精密な溶接機、例えば三相整流流やインバータ式のものを利用したり、材料の表面処理を工夫したり、電極の材質

及び形状の適正なものを利用したり、溶接条件の選定を適正にする必要がある。このように改善することによって従来 20 点程度でピックアップを起していたものが、1000 点近くまで連続打点可能になったという報告もある⁹⁾。

今後自動車にアルミニウムが利用されるかどうかは、この抵抗スポットが鉄鋼材料と同じように連続打点数を増加させることとロボット化を可能にすることにかかっていると考える。

4.2.1 ウェルドボンド

抵抗スポット溶接単独の継手では応力集中が発生しやすく、特に疲れ強さが低くて問題となる場合があり、応力の分布を均一にすることによる強度の向上並びに耐密性においてウェルドボンドな有効な方法である。またこの方法を用いることによって抵抗スポット打点数を少なくすることも可能になってくる。

4.5 フラッシュバット溶接

フラッシュ溶接はアブセット溶接によく似ているが、発熱が材料の端部に集中する、特有な現象によって接合する方法であり、現在二輪車、四輪車のホイールリムの接合に非常に利用されており、今後益々利用されて行く⁷⁾と考える。このフラッシュバット溶接で改善しなければならないことは、フラッシュが周辺に飛散し、また騒音を発生するので作業環境を良くすることである。

4.6 摩 擦 圧 接

摩擦圧接によれば、アルミニウム同志はもちろんのことアルミニウムと銅、軟銅、ステンレス鋼、チタニウムなどの異種金属の接合が可能である。溶接条件因子は回転数、加熱圧、アブセット圧及び加熱時間などである。母材の前処理は他の溶接法において要求されるほど厳しくない。継手の強さとしては非熱処理合金ではほぼ母材の軟質材（O 材）程度であるが、熱処理合金では合金の種類や調質によって変るが、70～95 %程度の継手強度が得られる⁷⁾。現在、アルミニウム同志の管や棒の突合せ溶接には利用されているし、自動車関係ではプロペラシャフトの接合やその他円形のものでの接合に利用されると考える。

4.7 高周波溶接

アルミニウムは高周波溶接及び誘導溶接が可能であり、特に成形装置と組み合わせてフープから管の連続的な製造を行っている。押し出し性の劣る合金やクラッド材をパイプに押し出すことは非常に難しいが、高周波溶接を利用すれば比較的簡単にパイプの製造が可能である。今後、アルミのラジエータ及びコンデンサーで利用する偏平管の製造には大いに期待できる溶接法である。

4.8 超音波溶接

金属板の表面を微視的に見ると平滑でなく、重ね合わせると突起した部分が接触しているが、静加圧と振動による滑りによって接触部の酸化皮膜などが破壊除去され、清浄な両同志が互いに接触すると共に、弾性変形や塑性変形、さらには摩擦熱による温度上昇が加わって、接触面間に原子間引力が作用し合う程度まで近接し溶接にいたる。この超音波溶接はスポット及びシームの形態で行われ、アルミニウムの箔や薄板の溶接、コンデンサ用アルミニウムケースのリード線の溶接、アルミニウムと銅の異材の溶接、その他シリコンウエーハとアルミニウム線の溶接にも利用されている。また抵抗スポット溶接に代わるものとして採用されたこともある⁹⁾。

5. ろう付

アルミニウムのろう付技術は非常に進んでおり、自動車部品である熱交換器はほとんどろう付で組み立てられている。これらの熱交換器のろう付法としては、従来、フラックスを用いたろう付が主体であったが、この方法によるとフラックス洗浄液の公害の問題や洗浄不良による腐食の問題があった。そこで最近では多量生産に向く真空ろう付法が開発されたり、不活性雰囲気ろう付や、非腐食性フラックスを用いたろう付法が開発されて広く利用されるようになってきた。熱交換器部品の接合には益々ろう付が採用されて行くと考えられる。

6. 接 着

接着接合は世の中の的には非常に多く利用されている技術であるが、アルミニウムの構造物の接合には余り利用されていないのが現実である。しかし、航空機分野では接着がかなり利用されている。接着接合の長所と短所について考えて見ると、長所としては

- ①接着部において荷重は、より平均的に分配される。応力集中は少なくなる。それゆえ、より大きな疲労寿命が得られる。
- ②接着剤は、膨張率の異なった異種金属を接合した場合、その界面に発生する応力を小さくするように働く。
- ③接着剤による接合は、振動を減衰させる働きがある。
- ④高価な機械設備や金属加工操作がいらないため、接合コストを低減できる場合がある。
- ⑤軽量化による節約が可能になる。
- ⑥接着によって電気絶縁性をもたすこともできる。また電気伝導性が必要なところには、やや高価ではあるが、導電性の接着剤を利用することができる。
- ⑦接合部において接着剤によってもたらされる電気絶縁

性により、異種金属間の電食を減少させたり、なくしたりすることができる。

- ⑧接合部の外面を平滑にし、美観を高めることが容易である。

などがあり、短所としては、

- ①前処理の洗浄工程または接着剤の塗布工程に費用がかかりすぎたり、高価なジグが必要であったりする。
 - ②ある種の接着剤は高温及び極低温により悪い影響を受ける。
 - ③接着剤接合の耐候性についてのデータが非常に少ない。外界にさらされた時の接合部の寿命ははっきりわかっていない。いいかえれば信頼性に欠ける。
 - ④硬化時間が製造工程を制限する場合がある。
- などが考えられる。

現在自動車は相当な部分で接着接合が行われているが、アルミニウムの接着を良好に行うためには、接着剤の選定、前処理工程、接着剤の塗布方法、硬化法が非常に大切である。

7. 機械的接合

機械的接合には、一般的な接合法としてリベット接合、機械的成形接合、ねじ止めなどが古くから知られている。これらの接合法をアルミニウムに適用することは可能であるが、実際に用いる場合設計の段階においてその接合部が要求する機能を果たすのに必要とされる強度、機械的な特性、価格、外観、耐食性等を考慮して決定すべきである。表8に現在利用されている機械的接合への種類を示すが、自動車関係では、この中でリベット接合が最も広く利用されており、はぜ継ぎやメカニカルクリンチングのような機械的成形接合も利用されている。

8. 材料の取り扱いと切断について

アルミニウムは軽量で製作時の運搬は楽であるが、反面キズがつきやすいこと、油などによる汚染が接合の時欠陥の原因となるのでその取扱いは鉄鋼材料より慎重

表8 機械的結合法の種類

にする必要がある。

アルミニウムの切断は、ガス切断が適用できなく、ほとんど機械切断に頼ってきたが、最近レーザー切断が可能になり、少しずつ利用されるようになってきた。板厚 8 mm 程度まではかなり精度良いレーザー切断が可能になった。現在実用化されているレーザーは CO₂ レーザーと YAG レーザーであるが、どちらを利用しても良好な切断が行われる。しかし、10 mm 以上の厚板や押出し型材のような複雑な断面形状のものはレーザー切断は不可能なので、これらの切断は従来通りの機械的切断に頼らざるを得ない。これ以外プラズマ切断やウォータージェット切断も利用されているが、自動車関係では、必要ない方法と考える。

9. 接合部の性質について

以上自動車に関連したアルミニウムの主な接合法について解説したが、このような各種の接合法で接合した部分の性質はどのようになるかを簡単に説明する。接合部に要求される性質としては機械的強度、物理的性質、化学的性質の 3 つである。これらが接合される前の母材の性質と同等もしくはそれ以上であれば良いわけであるが、アルミニウムの接合の場合、母材のそれ以上になることはない。したがって如何に母材の性質に近い接合部を作るかが技術者の役目であると考ええる。

一般に熱を加え材料が溶融・凝固して接合が行われる場合、アルミニウムはいずれの合金も強度的には、その合金の軟質材 (O 材) 相当に強度は低下する。もちろん接合における熱エネルギーの大小によって低下の程度は異なるが、それ程大きな違いはない。また 1 部の合金は時間の経過と共に強度が回復するが、100 % 回復することはない。物理的及び化学的性質も強度と同じように、ほとんどの合金が低下する方向に向かうと考えて良い。特に化学的性質などは、合金によって著しく低下する

場合があるので注意する必要がある。

熱を加えない接合の場合は、健全な接合部が得られれば、機械的性質、物理的性質及び化学的性質は母材の性質とほとんど同じである。しかしながら、実際に母材と同等の性質の接合部を得ることは至難なことである。

10. お す び

わが国における自動車に対するアルミニウムの使用量は次第に増加しており、昨年ホンダが販売した NSX のアルミニウムの使用量は全車体重量の 35 % 程度である。しかし、一般の自動車のアルミニウムの使用量は未だ 5 % 程度である。今後、アルミニウムが益々自動車に利用されるには接合技術が非常に重要な課題となる。

今度、自動車用材料の溶接・接合技術という中でアルミの接合技術の執筆にあたり、非常に範囲が広いですが、できるだけアルミの接合技術を理解してもらうため、現在利用されている接合法及び将来利用されるであろう接合法について広く浅く解説した。これからアルミニウムがより合理的、より経済的に自動車材料に利用されるためには、種々の問題点がまだ多く存在するが、今後更なる研究開発に期待したい。

参 考 文 献

- 1) 麻野：アルミニウム接合，軽金属，1990，7
- 2) 軽金属溶接構造協会：アルミニウム溶接入門講座
- 3) 内田：軽金属溶接 No. 13 '64. P. 12.
- 4) 軽金属溶接技術会：アルミニウムとその合金イナートガスアーク溶接，(1971)
- 5) 平本他，第 114 回溶接法研究委員会，SW-1799-87
- 6) 自動車技術会中部：“1990 年度自動車技術談話会資料” 1990 年 6 月 14 日
- 7) 軽金属協会，自動車のアルミ化技術ガイド，昭和 56 年 11 月 15 日，接合編
- 8) 小玉：“非鉄金属の超音波溶接”，軽金属溶接，vol. 26，1988，6