

アルミニウムおよびその合金の溶接について

ホクセイアルミニウム㈱* 柴田喜三**

1. ま え が き

鉄鋼の溶接技術に比較して、アルミニウム(合金)***の溶接の普及度は未だに一般的でない。これはアルミニウムの使用範囲が小さく要求度が低かったためでもあるがアルミニウムは高温において酸化しやすく、しかも熱伝導、比熱が大きいため溶接作業を困難にしていたからである。

アメリカ溶接協会(The American Welding Society)の溶接の定義に、“溶接とは 1)可塑的にあるいは 2)塑性状態と溶融状態において圧力や打撃を与えるか、または 3)圧力や打撃を与えることなしに溶融状態で金属を局部的に結合すること”といわれる。1)の方法は鍛接で、冷間圧接(Cold Welding)と、熱間圧接(Hot Welding)がある。2)の方法は抵抗溶接で点溶接(Spot Welding)、シーム溶接(Seam Welding)、突合せ溶接(Butt Flush Welding)および衝撃溶接(Percussion Welding)がある。3)の方法は一般に溶接といわれているもので溶融溶接(Fusion Welding)一ガス溶接とアーク溶接一である。

わが国では、第2次大戦以前は酸素・アセチレン溶接がわずかになされていたが、終戦後アルゴンアーク溶接の導入によってアルミニウムの溶接は急速に発展した。また、それにもなってアルゴンアーク溶接についてはJIS 3811でアルミニウム溶接技術検定も制定された。

本稿では、アルゴンアーク溶接についての一般的な解説をおこない参考に供したい。

2. アルゴンアーク溶接の特徴

アルゴンアーク溶接の特徴は、溶接中の高温においても雰囲気は母材に対して完全に中性を保つことができることである。これは、アルゴンがCO、H₂やN₂などのように熱解離をおこさない単原子分子であるからである。

したがって、アルゴン量は溶接速度、板厚などには関係なく、単に酸化膜の除去、酸化防止によつてきめられる。アルゴンの密度は $1.6626 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ で、空気より約1.4倍重いので下向き溶接の被覆作用は良好である。アルゴンの被覆力の良いことはすでに写真によつて認め

られている。しかも、アルゴンはアーク長が変動してもアーク電圧の変化が少く熱量の供給も少いから溶接の調整が容易である。

これらの特性のために、実際に溶接作業を行なうと、溶接中に酸化物・窒化物のまき込みがなく溶接部の変化が少ない。しかも、アルゴンで急冷するため冷却中の酸化が防止できて光沢のあるビードを得ることができる。もちろんフラックスは使用しないので洗浄処理は全く不要である。また、溶接がかなり速くおこなわれるので溶接部の強さが高く、母材に与える熱影響の範囲もせいまいのでひずみも少ないなど多くの利点がある。

3. TIG 溶接と MIG 溶接

アルゴン溶接はアルゴン雰囲気中で、耐熱性電極としてタングステンを使用し、溶加材を使い、あるいは使わずに溶接する非消耗電極式(Nonconsumable)のタングステンアーク溶接と、アルゴン雰囲気中は前者と同様であるが、タングステン電極の代りに溶加材自体を電極とし、これを自動的に供給する消耗電極式(Consumable)のメタルアーク溶接に大別される。

一般に前者をTIG(Tungsten Inert Gas Shielded Arc Weld)、後者をMIG溶接(Metalic Inert Gas Shielded Arc Weld)と呼んでいる。

4. 電源の極性

アルゴン溶接の電源は、TIG溶接には高周波を重量した交流を用い、MIG溶接には直流逆極性を使用するのがもっとも普通である。

種々の電源の極性について説明すると次の如くである。

4.1 直流正極性(DCSP)

電極を(-)に、母材を(+)にする。(-)極から飛び出た電子は電極から母材に向い、これを打撃するから母材は多量の熱を発生して急速に溶融する。この際の熱の発生は母材で70%、電極で30%といわれている。図、1(a)のように母材の溶け込みが深く、溶接速度をあげることができるが、酸化膜の除去作用がないので一般にアルミニウムの溶接には使用されない。

4.2 直流逆極性(DCRP)

正極性とは逆に電極を(+)に、母材を(-)にする。こ

* 富山県高岡市金屋本町

** 技術部次長

*** 以降アルミニウムとする

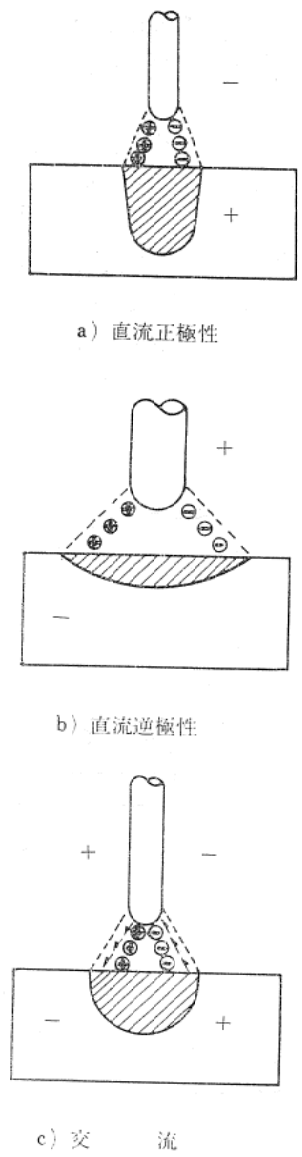


図1 極性と溶け込みの関係

の場合電子は母材から電極へ流れるので、電極は先端部から過熱される、したがって、電極の電気容量の大きい、すなわち太い直径の電極が必要となる。また、母材の溶け込みは図1(b)の如く浅く巾広である。

この方式では、電離したガスの陽イオンが陰極降下の電圧に加速されて、(-)極の母材表面を打撃するため、いわゆる陽イオンの Bonbardment が生じ母材表面の酸化膜が破壊される。一般にこの作用を清浄作用 (Cleaning Action) という、この性質は重要で見逃がすことはできない。

溶加材を電極とする MIG 溶接にはこの極性を使用する。

4.3 交流 (AC)

交流では前記2者の作用が交互におこなわれると考えられる。したがって、電極が(+)のときは母材を加熱し、

(-)のときは母材の酸化膜を破壊する。このために溶け込みも図1(c)の如く中間となり、電極の消耗もひどくない。

4.4 高周波重畳交流

交流方式で溶接を行なう場合、(+),(-)の変換時に電流が流れなくなりアークの起動が困難になる。

アークを容易にスタートさせるのと安定化を計る目的で高周波 (100 KC~2 MC, 3,000~4,000 V) を重畳する。高周波によれば電極を母材に近づけるだけで触れなくともアークが出て溶接作業を開始することができる。これは高周波放電が母材と電極との間隙をイオン化するのに役立つ溶接電流が流れ易くなるためである。

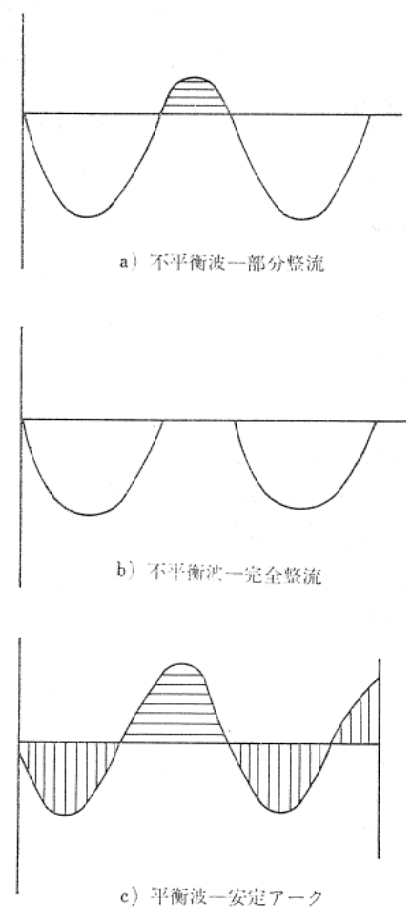


図2 交流溶接の電流波形

アルゴンガス中でのタングステン電極と母材のアルミニウム間のアークは、電極が(-)のときより(+)のときの方が電流に対して大きな抵抗を示し、交流の一周期中での不均一な抵抗は不平衡波形を作りだす。(図. 2(a))

不平衡波形は直流成分をもった交流波とも考えられ、図. 2(b)に示すように、アークが不安定の場合は、あるアークでは全く逆極性がなくなってしまうことがある。これを整流作用という。

高周波を重畳していてもこのような現象がおこるので

この有害効果を取り除くため回路にコンデンサーや抵抗を直列に入れて平衡にする。(図. 2(c))

5. TIG 溶接の技法

5.1 手 溶 接

溶接の準備として継手形式の選定, 開先の加工, 表面および継手の清浄, 継手間隔, 予熱などの作業は当然適用されなければならない。

電極の先端は溶接中融けて半球状をしていることが必要である。電極の寸法によつて溶接電流の範囲が限定されるので, 溶接電流に適した直径の電極を選ばなければならない。表 1 にタングステン電極の直径に対する溶接

表 1 純タングステン電極径と溶接電流範囲

電 極 径 mmφ	溶 接 電 流 Amp
1.6	0~ 65
2.4	65~150
3.2	150~175
4.8	175~275
6.4	275~400
7.9	400~500

電流を示す。電極が小さすぎると先端がとけすぎ、タングステンの溶滴が溶融池に落ちて母材を汚すことになる。また、電極先端が溶けるとアークが不安定になる。

実際作業を長く続ける場合、表 1 の電極の径より一まわり大きい電極を使つて先を図. 3 の如くグラインダーでけづつて使用すると好結果が得られる。

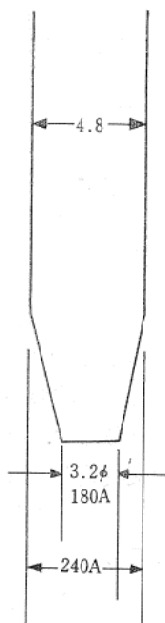


図 3 電極先端のテーパ
単位 mm

(4.2 mmφ を 3.2 mmφ と
して使用する場合を例と
した)

電極はカップに対して偏心していないようにとりつけて、先端はカップより 3 mm 位外に突出して溶接するべきであるが、溶接の困難な場所やすみ肉溶接には更に電極を多く突き出して、アルゴン流量を増すとよい。

溶接開始の際は、トーチを母材に近づけて振子のようにふると、高周波によりアークがとぶ。この場合、スターティングブロックを使用すると溶接開始部のビードが比較的美しい。良好なアーク指向性があり、連続した滑らかな音をたてるが、不安定なアークは断続音を発する。アークの長さは継手の形や位置によるけれども、大体 3~10 mm である。図 4 に示すが、下向姿勢では、トーチ

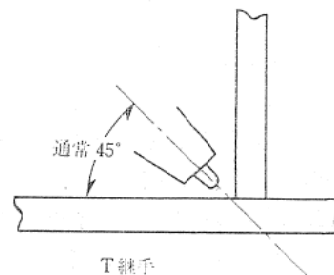
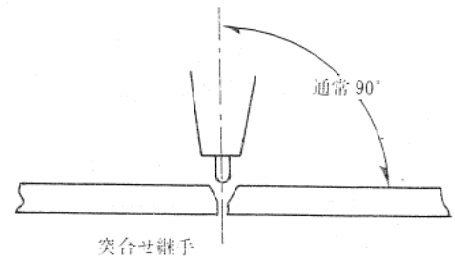
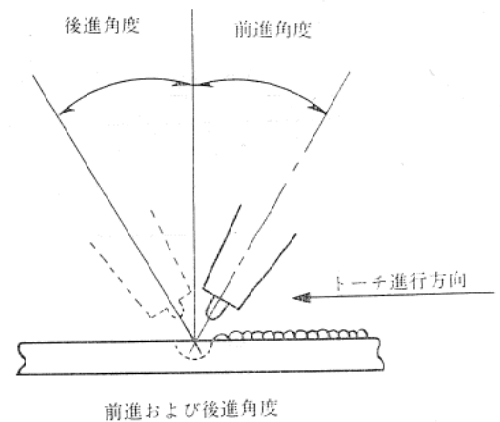


図 4 突合せおよび T 継手おけるトーチの角度

チは普通溶接線と直角で母材の角を 2 等分するようにする。また、前進角度を 5~15° にすると、溶接部がよく見え、清浄作用も良い。板厚が異なるものを溶接するには、両方の板が同程度に溶けるようにアークを厚い方の板に向ける必要がある。

アークが必要な大きさの光沢のある溶融池を作るまでの 3~5 秒の間はトーチを開始場所より移動させてはな

らない。必要な溶融池ができてから溶加材を加えてトーチを移動させる。トーチの移動は図5の如く、溶加材を溶融池の前端あるいは横側に供給しながら、前方に一樣な速度で動かす。溶加材は母材に対して $20\sim 30^\circ$ の角度で溶接線の中心から少しずらせておき、すばやく短い間隔で溶融池に供給したり引込めたりする。溶加材を溶融池に入れるときはトーチをわずかに後戻りさせる。このトーチおよび溶加材の前後運動は $2\sim 5\text{ mm}$ ぐらいの範

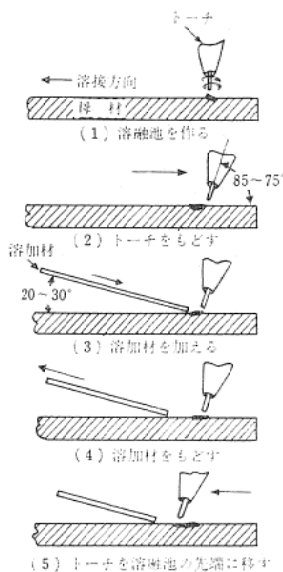


図5 TIG 溶接時におけるトーチの操作

囲で滑らかに一樣にくりかえしておこなう。

溶接速度および溶加材の加え方が溶接技量の最大ポイントであり、正しい波のあるビードを得るようにしなければならない。

なお、溶加材を使用しない溶接にはこのトーチの前後運動は必要でない。

溶接電流の適不適はビードの形状によっても判断でき

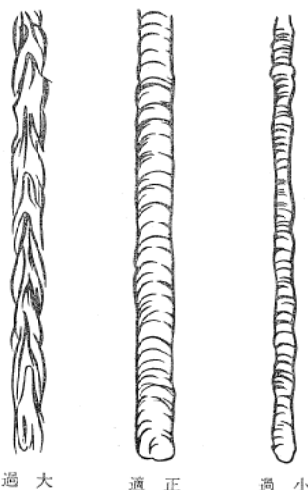


図6 溶接電流の大きさによるビードの外観

るがその形状を図. 6 に示す。

アークを切るときは、トーチを母材から離すが、溶加材はクレターが生じないように加えたままにしておく。トーチを母材から離すとき、アークは冷えている溶加材の上をはしらせてから切る。

横向き、立向き、上向きの姿勢も TIG では充分おこなうことができるが、これらの溶接では溶融池が凝固する前にもれないように溶融池を小さくする、したがって、下向きよりもわずかに小さい電流を用いる。また、立向きでは一般にトーチに前進または後進角をつけない。立向きの場合、突合せ、重ね、すみ肉溶接では下の方から上にむかって溶接するべきである。

代表的な溶接条件は表. 2 に示すから参照されたい。

5.2 機械溶接

溶け込みおよび余盛りのコントロールには機械溶接が実用的である、しかし、機械溶接では溶加材を使用しないので、突合せ、下向き、へり、かどなどの継手の下向き溶接にかぎられる。3 mm 以上の肉厚の溶接にはどうしても溶加材が必要であるので、この溶接は普通0.8~3 mm の肉厚に利用されることが多い。殆どどの合金に利用できるが、6061および6063は溶接中に熱間ぜい性による割れが発生するおそれがあるので、これを防ぐため充分継手を圧着しておかねばならない。

機械溶接は、適当な器具による母材の固定と、トーチの移動に振動などがない安定したものが必要であるが、溶接速度が大きいので、手溶接に比較して、ひずみが少ない。

5.3 実際の溶接作業における問題点

TIG 溶接作業をおこなつてしばしばおこる問題点と注意事項を述べる。

〔清浄作用〕アークによる清浄作用の適、不適の判定は、溶接ビードおよび溶融池の両側にそった光沢のある線の有無で判断する。光沢のある線がビード両側にそつて連続している場合はよいが、これがないか、もしくは断続している際は清浄作用が不安定ということである。

この原因は、母材の清浄不十分、高周波ユニット、コンデンサー（バッテリー）バイアス、溶接機の回路等の不備である。

〔ビードの形状〕ビードの巾が広すぎる場合は、電流に対するアークが長すぎるか、溶接速度がおそすぎるためである。狭すぎる場合はこの逆である。電極の径、溶接電流および溶接速度をチェックする。

〔溶け込み〕ビードが或程度美しく溶接されていても、溶け込み不良が発生している場合がある。これは溶接電流が低い、速度が大きいまたは開先加工の不適當のいずれかである。溶接条件をチェックするとともに、溶融池

に加える溶加材の量を少なめにするとよい。厚板の場合には、予熱、開先の形状、継手の間融などに注意する必要がある。

〔アーク〕アークのスタートは、電極棒を母材に、1mm位の距離迄近づければおこなねばならない。このスタートが悪い場合は、高周波スパークキャップを変えてみる。また、高周波がうまく発生しているかどうか電氣的にチェックしてみる。アークの指向性が悪い場合で適正な電極を使用していれば、その原因は溶接機の特性に在る。

6. MIG 溶接の技法

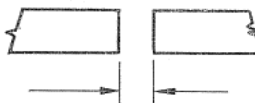
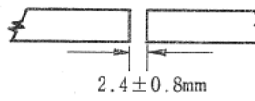
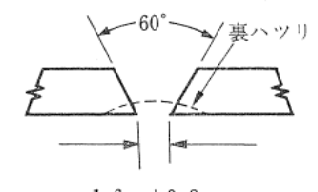
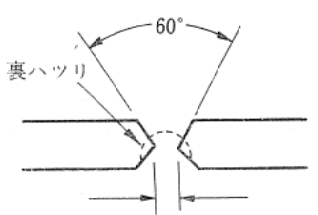

MIG 溶接においても準備作業は他の溶接と同様である。また、溶接心線（溶加材）の材質は、9の溶加材の選択を参考にされたい。MIG 溶接においては、溶接心

線の良否が重要である。溶接心線は、殆どどのメーカーの溶接機に合うようなスプールに巻かれており、嚴重な包装がされているはずである。心線は常に清浄でなければならず、特別に MIG 溶接用として、油や汚れのないように作られたものを使用し、その保管もできるだけ乾燥した場所でおこない、使用する直前に包装をとるようになるべきである。MIG 溶接では高電流を使用するので、トーチは水で冷却されるようになっているが、溶接前には必ず流水しているかどうかチェックしなければならない。

溶接条件の選定は、母材、開先、溶接姿勢に応じておこなうがその代表的なものを表3に記した。しかし、熟練者は、溶接中の音やアークの状態から適当な条件を選んで効果をあげている。しかし、MIG 溶接では電流の選

表2 TIG 溶接作業条件（母材63S、心線43S）

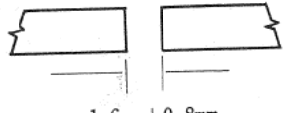
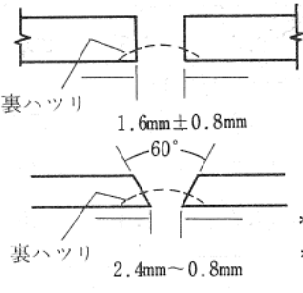
1. TIG：下向突合せ溶接……裏当てなし

母材厚 mm	パス 数	開先および間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極 棒径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴン 流量 l/分
1.6	1	 0.8mm~1.6mm	9.5	3.2	105	325	2.4	8
2.0	1		9.5	3.2	115	300	3.2	8
2.4	1		9.5	3.2	135	300	3.2	8
3.2	1.2R	 2.4 ± 0.8mm	9.5	3.2	160	350	3.2	8
4.8	1.2R		9.5	4.8	270	275	4.8	10
6.4	1.2R	 1.6mm ± 0.8mm	9.5	4.8	270	275	4.8	10
9.5	1.2.3R		12.7	6.4	380	225	6.4	10
12.7	1		15.9	8.0	450	200	6.4	15
	2			9.5	540			
15.9	1	 1.6mm ± 0.8mm	15.9	8.0	450	175	6.4	15
	2		9.5	540				
	3R		9.5	600				
	4R		9.5	540				
19.2	1	 1.6mm ± 0.8mm	15.9	8.0	450	175	6.4	15
	2		9.5	540				
	3R		9.5	600				
	4R		9.5	540				

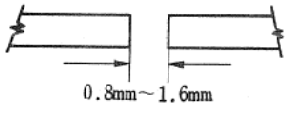
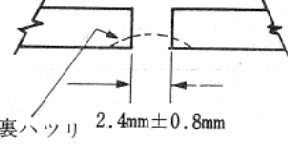
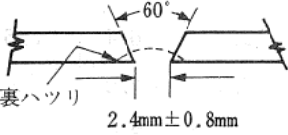
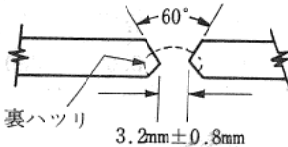
*：100℃まで予熱

表2 (つづき)

2. TIG：下向き突合せ溶接……一時裏当て使用

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴン 流量 l/分
2.7	1	 1.6mm ± 0.8mm	9.5	3.2	190	425	2.4	8
2.0	1		9.5	4.8	220	425	4.8	8
3.2	1		9.5	4.8	250	425	4.8	10
4.8	1.2R	 裏ハツリ 1.6mm ± 0.8mm 60° 裏ハツリ 2.4mm ± 0.8mm *	9.5	5.6	325	400	4.8	10
6.4	1.2R		9.5	6.4	360	325	6.4	10
9.5	1.2.3R		12.7	3.0	435	300	6.4	15
12.7	1.2.3R		15.9	9.5	540	250	6.4	15
15.9	1.2.3.4R		15.9	9.5	540	150	6.4	15
19.2	1.2.3.4.5R		15.9	9.5	540	125	6.4	15

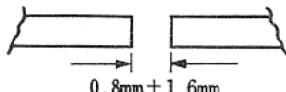
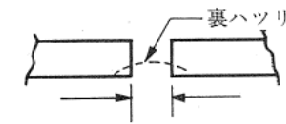
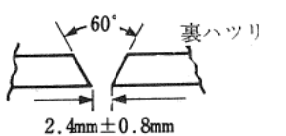
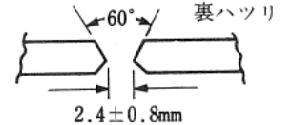
3. TIG：立向き突合せ溶接……裏当てなし

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴン 流量 l/分
1.6	1	 0.8mm ~ 1.6mm	9.5	3.2	85	300	2.4	8
2.0	1		9.5	3.2	105	300	2.4	8
2.4	1		9.5	3.2	135	300	3.2	8
3.2	1.2R	 裏ハツリ 2.4mm ± 0.8mm	9.5	3.2	160	400	3.2	8
4.8	1.2R		9.5	4.8	210	275	3.2	10
6.4	1.2R	 裏ハツリ 2.4mm ± 0.8mm	9.5	4.8	225	200	4.8	10
9.5	1.2.3R		12.7	6.4	350	200	6.4	12
12.7	1.2.3.4R		12.7	6.4	350	200	6.4	12
15.9	1.2R.3.4R 5.6R	 裏ハツリ 3.2mm ± 0.8mm	12.7	6.4	375	200	6.4	15
19.2	1.2R.3.4R 5.6R		12.7	6.4	375	200	6.4	15

* : 100℃まで予熱

表2 (つづき)

4. TIG：横向き突合せ溶接……裏当てなし

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極 棒径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴ ン流量 l/分
1.6	1	 0.8mm±1.6mm	9.5	3.2	90	325	2.4	8
2.0	1		9.5	3.2	120	325	3.2	8
2.4	1	 裏ハツリ 2.4mm±0.8mm	9.5	3.2	140	325	3.2	8
3.2	1.2R		9.5	3.2	160	350	3.2	8
4.8	1.2R		9.5	4.8	230	300	4.8	10
6.4	1.2R	 60° 裏ハツリ 2.4mm±0.8mm	12.7	6.4	270	275	4.8	10
9.5	1.2.3R		12.7	6.4	340	225	6.4	10
12.7	1.2.3.4R		12.7	9.4	350	225	6.4	10
15.8	1.2R. 3. 4R. 5.6R	 60° 裏ハツリ 2.4±0.8mm	*	12.7	450	225	6.4	15
19.2	1.2R. 3. 4R. 5.6R		*	12.7	8.0	450	225	6.4

5. TIG：下向きスミ肉溶接

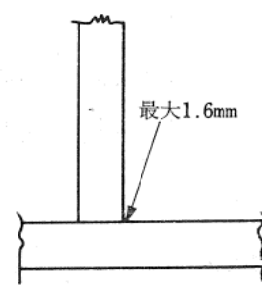
母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極 棒径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴ ン流量 l/分
3.2	1	 最大1.6mm	9.5	4.8	265	225	4.8	8
4.8	1		9.5	6.4	345	225	4.8	10
6.4	1		12.7	6.4	395	200	6.4	10
8.0	1		15.9	8.0	430	150	6.4	15
9.5	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15
12.7	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15
15.9	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15

表 2 (つづき)

7. TIG：下向き，横向き重ね溶接

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴン 流量 l/分
1.6	1		9.5	3.2	160	300	3.2	8
2.0	1		9.5	3.2	160	300	3.2	8
2.4	1		9.5	4.8	190	275	3.2	8
3.2	1		9.5	4.8	230	250	3.2	10
4.8	1		12.7	6.4	320	200	4.8	10
6.4	1		12.7	6.4	395	150	6.4	10
8.0	1		12.7	8.0	430	150	6.4	15
9.5	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15
12.7	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15
15.9	1		15.9	8.0	480	150	6.4	15

6. TIG：横向き，立向き，上向きスミ肉溶接

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	ガス・カ ップ径 mm	電極径 mm	電流 A	溶接 速度 mm/分	溶接 棒径 mm	アルゴン 事量 l/分
3.2	1		9.5	4.8	215	225	3.2	8
4.8	1		9.5	4.8	280	225	4.8	8
6.4	1		12.7	6.4	320	200	4.8	10
8.0	1		12.7	6.4	345	150	4.8	10
9.5	1		12.7	6.4	385	150	4.8	10
12.7	1		12.7	6.4	385	150	4.8	10
15.9	1		12.7	6.4	385	150	4.8	10

扱がかなりむつかしいので、溶接を開始する前に、母材と同じスクラップにあらかじめ溶接してみて、その電流が適しているかどうかを判断する必要がある。

アークのスタートは溶接開始位置より20~30mm 内側に入った場所でおこない、アークが発生すれば直ちに開始点に戻して溶接作業を続行する。アークの発生は心線の先端を斜めに切った方が容易である。トーチは母材から20mm 位の位置に近づけ、引き金を引くとアルゴンが流出し同時に心線が母材に接触してアークが発生する。

トーチの前進、後進角度は 5 ~ 15° に保つ (図. 4 参

照)。この角度は、溶け込み、ビード形状、アンダーカット*等に影響をおよぼし、溶接作業には重要である。

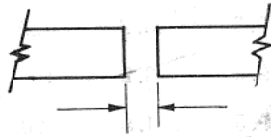
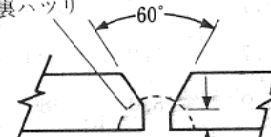
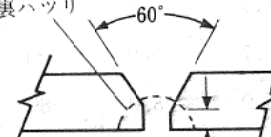
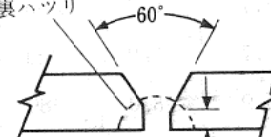
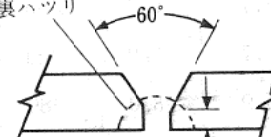
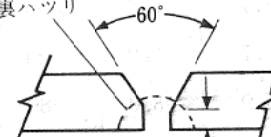
トーチの運び方は、溶接線にそって小さな円運動、または、前後運動をさせる。しかし、薄板の場合は直線的にトーチを運行してもよい。

アークの長ささは、板厚によって異なるが、一般に板厚 5 mm 以上では 5~12 mm, 5 mm 以下では 2.4~3.2 mm である。概して、アークが短い (ショートアーク) 場合は、ビードの巾が狭く、溶け込みが深い。アークが長い (ロングアーク) 場合には、ビードの巾が広く、溶

* アンダーカットはビードの片側または、両側にできる溝のことである。

表3 MIG溶接作業条件(母材63S, 心線43S)

1. MIG: 突合せ下向き溶接……一時裏当て使用

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴ ン流量 l/分			
3.2	1	 <p>2.4mm ± 0.8mm</p>	1.2	155	22 ± 1	660	900	15			
	2R			155	23 ± 1	635	1,200	15			
4.8	1		 <p>1.6mm ± 0.8mm</p>	1.6	200	22 ± 1	510	600	15		
	2R				200	23 ± 1	480	1,200	15		
6.4	1			 <p>裏ハツリ</p> <p>60°</p> <p>1.6mm ± 0.8mm</p>	1.6	230	23 ± 1	610	1,200	18	
	2					230	25 ± 1	580	900	18	
	3R	230				25 ± 1	580	900	18		
8.0	1	 <p>裏ハツリ</p> <p>60°</p> <p>1.6mm ± 0.8mm</p>			1.6	250	23 ± 1	660	900	20	
	2		250			25 ± 1	635	800	20		
	3R		250			25 ± 1	635	1,025	20		
9.5	1		 <p>裏ハツリ</p> <p>60°</p> <p>1.6mm ± 0.8mm</p>		1.6	270	23 ± 1	690	600	20	
	2					270	25 ± 1	660	400	20	
	3R					270	25 ± 1	660	600	20	
12.7	1				 <p>裏ハツリ</p> <p>60°</p> <p>1.6mm ± 0.8mm</p>	1.6	270	23 ± 1	690	600	20
	2						270	25 ± 1	660	400	20
	3						270	25 ± 1	660	300	20
	4R			270			25 ± 1	660	600	20	

2. MIG: 下向き突合せ溶接……裏当てなし

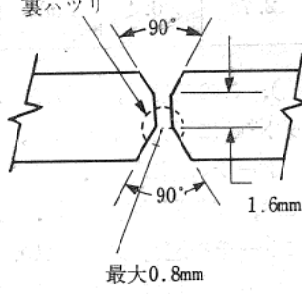
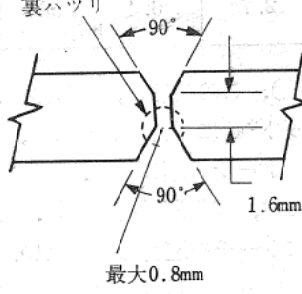
母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴ ン流量 l/分	
12.7	1	 <p>裏ハツリ</p> <p>90°</p> <p>1.6mm</p> <p>最大0.8mm</p>	1.6	270	25 ± 1	710	900	20	
	2R			270	25 ± 1	710	1,000	20	
	3			270	26 ± 1	690	550	20	
	4R			270	26 ± 1	690	650	20	
19.2	1		 <p>裏ハツリ</p> <p>90°</p> <p>1.6mm</p> <p>最大0.8mm</p>	1.6	270	25 ± 1	690	900	20
	2R				270	25 ± 1	690	600	20
	3				270	26 ± 1	690	425	20
	4R				270	26 ± 1	690	375	20
	5				270	26 ± 1	690	600	20
	6R				270	26 ± 1	690	600	20
	7				270	26 ± 1	690	600	20
	8R				270	26 ± 1	690	600	20

表3 (つづき)

3. MIG：横向き突合せ溶接……一時裏当て使用

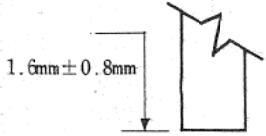
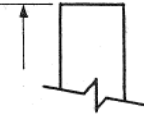
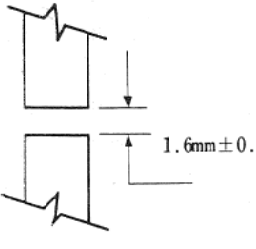
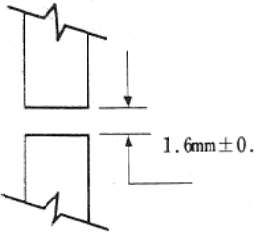
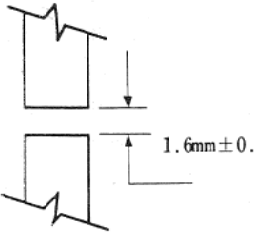
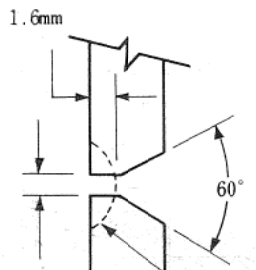
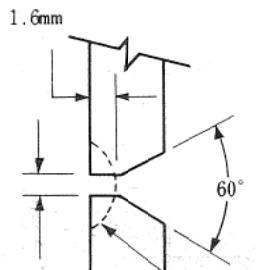
母材厚 mm	パス 数	開発及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	必線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン 流量 l/分
3.2	1		1.2	150	22±1	660	900	15
	2R			150	22±1	660	1,200	15
4.8	1		1.2	180	23±1	740	700	15
	2R			180	23±1	740	500	15
6.4	1		1.2	215	24±1	990	1,000	18
	2			190	25±1	810	650	18
	3R			190	25±1	810	850	18
8.0	1		1.2	230	25±1	1,000	1,100	18
	2			230	26±1	990	725	18
	3			190	26±1	790	750	18
	4R			190	26±1	790	800	18
8.0	1		1.6	240	24±1	610	900	20
	2			240	25±1	610	650	20
	3			200	25±1	480	800	20
	4R			200	25±1	480	750	20
9.5	1		1.6	250	24±1	610	625	20
	2			250	25±1	610	500	20
	3			210	25±1	510	700	20
	4R			210	25±1	510	900	20
12.7	1		1.6	250	25±1	610	375	20
	2			250	25±1	610	375	20
	3			220	25±1	560	800	20
	4R			220	25±1	560	700	20

表3 (つづき)

4. MIG：横向き突合せ溶接……裏当てなし

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	必線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴ ン流量 l/分		
12.7	1		1.6	270	25±1	710	1,000	20		
	2R			270	25±1	710	750	20		
	3			250	25±1	635	750	20		
	4R			250	25±1	635	675	20		
	5			250	25±1	635	1,200	20		
	6R			250	25±1	635	1,200	20		
19.2	1				1.6	270	24±1	690	825	20
	2R					270	25±1	690	675	20
	3					270	26±1	690	450	20
	4R					270	26±1	690	450	20
	5					250	26±1	635	725	20
	6R					250	26±1	635	650	20
	7					250	26±1	635	675	20
	8R					250	26±1	635	650	20

5. MIG：立向き、突合せ溶接……一時裏当て使用

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴ ン流量 l/分		
3.2	1		1.2	140	21±1	635	800	15		
	2R			140	21±1	635	900	15		
4.8	1				1.2	150	22±1	635	500	15
	2R					150	22±1	635	600	15
6.4	1		1.2			210	23±1	890	800	18
	2					190	25±1	810	800	18
	3R			190	25±1	810	850	18		
8.0	1				1.2	230	24±1	1,120	650	18
	2					190	25±1	810	400	18
3R	190					25±1	810	600	18	
8.0	1		1.6			230	24±1	610	750	18
	2					200	25±1	530	475	18
	3R					200	25±1	530	750	18
9.5	1				1.6	240	24±1	610	400	20
	2					210	25±1	530	350	20
	3R					210	25±1	530	525	20
12.7	1		1.6			250	25±1	610	400	20
	2					220	25±1	530	400	20
	3					220	25±1	530	375	20
	4R			220	25±1	530	475	20		

表3 (つづき)

6. MIG：立向き突合せ……裏当てなし

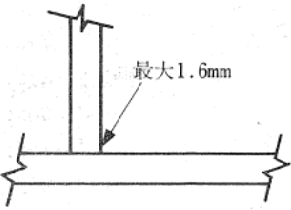
母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン 流量 l/分
12.7	1		1.6	250	24±1	660	1,000	20
	2R			250	24±1	660	750	20
	3			220	25±1	530	375	20
19.2	4R		220	25±1	530	450	20	
	1		250	24±1	635	650	20	
	2R		250	24±1	635	500	20	
	3		250	25±1	635	650	20	
	4R		250	25±1	635	450	20	
	5		230	25±1	560	750	20	
	6R		230	25±1	560	825	20	
	7		230	25±1	560	500	20	
	8R		230	25±1	560	675	20	

7. MIG：上向き突き合せ溶接……一時裏当て使用

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン 流量 l/分
3.2	1		1.2	150	22±1	660	1,200	15
	2R			150	22±1	660	12,00	15
4.8	1		1.2	180	23±1	690	750	15
	2R		180	23±1	690	750	15	
6.4	1		1.2	220	23±1	1,000	750	18
	2			220	25±1	990	1,000	18
	3R			220	25±1	990	1,200	18
8.0	1		1.2	230	24±1	1,000	800	18
	2		220	26±1	970	475	18	
	3R		220	26±1	970	900	18	
8.0	1		1.6	240	24±1	610	750	20
	2		230	25±1	580	625	20	
	3R		230	25±1	560	975	20	
9.5	1	1.6	260	24±1	660	625	20	
	2	240	25±1	580	450	20		
	3R	240	25±1	580	850	20		
12.7	1		1.6	260	25±1	635	525	20
	2			240	25±1	580	450	20
	3			240	26±1	580	450	20
	4R			240	25±1	580	850	20

表3 (つづき)

8. MIG：下向，横向き，スミ肉，重ね溶接

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン流量 l/分
3.2	1		1.2	155	22±1	660	1,200	15
4.8	1		1.2	195	23±1	790	800	15
6.4	1		1.2	220	24±1	1,000	725	18
8.0	1		1.2	240	24±1	1,070	600	20
8.0	1		1.6	250	24±1	610	750	20
9.5	1		1.6	270	24±1	660	676	20
12.7	1		1.6	280	24±1	740	425	20
	2		280	25±1	690	525	20	
	3		280	26±1	690	900	20	
19.2	1		1.6	280	25±1	710	375	20
	2		280	26±1	710	475	20	
	3		280	26±1	710	900	20	
	4		280	26±1	710	550	20	
	5		280	26±1	710	750	20	
	6		280	26±1	710	825	20	

9. MIG：立向き，重ね及びスミ肉溶接

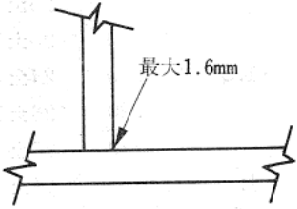
母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン流量 l/分
3.2	1		1.2	155	22±1	660	1,200	15
4.8	1		1.2	180	23±1	590	750	15
6.4	1		1.2	210	24±1	940	700	18
8.0	1		1.2	220	24±1	1,000	600	18
8.0	1		1.6	230	24±1	580	600	18
9.5	1		1.6	240	24±1	610	425	20
12.7	1		1.6	250	24±1	660	325	20
	2		250	25±1	610	900	20	
	3		250	25±1	635	450	20	
19.2	1		1.6	280	25±1	710	350	20
	2		280	26±1	710	600	20	
	3		280	26±1	710	525	20	
	4		250	26±1	635	500	20	
	5		250	28±1	635	475	20	
	6		250	26±1	635	375	20	

表3 (つづき)

10. MIG: 上向き, 重ね及びスミ肉溶接

母材厚 mm	パス 数	開先及び間隔	心線径 mm	電流 A	アーク 電圧 V	心線供 給速度 cm/分	溶接 速度 mm/分	アルゴン 流量 l/分
3.2	1		1.2	155	22±1	660	1,200	15
4.8	1		1.2	195	23±1	790	800	15
6.4	1		1.2	220	24±1	1,000	725	18
8.0	1		1.2	240	25±1	1,070	600	20
8.0	1		1.6	250	24±1	610	750	20
9.5	1		1.6	250	24±1	635	500	20
12.7	1		1.6	260	24±1	660	575	20
	2		260	25±1	660	725	20	
	3		260	25±1	660	600	20	
19.2	1		1.6	280	25±1	710	375	20
	2		280	26±1	710	600	20	
	3		280	26±1	710	475	20	
	4		260	26±1	660	450	20	
	5		250	26±1	660	475	20	
	6	260	26±1	660	600	20		

け込みが浅くなる。この性質を多層溶接に利用する。すなわち、第1パスは、ショートアークで溶け込みをねらい、中間パスは標準アーク長さでおこない、最終パスはロングアークでおこなうと効果的である。しかし、余りアークが長すぎたり、短かすぎると、前者では空気の巻き込み、後者ではスパッターの飛散があってよくない。

溶接前に継手を同一線上に正しくならべ、上手く溶接をおこなうためにじぐで固定するか仮止めをする。仮止めは本溶接で割れを生じないで良好な溶け込みを得られる程度に必要な最小限度に行なう。太過ぎる仮止めは本溶接の際良好な溶接部が得られないので仮止めは浅くて長い方がよい。

突合せ溶接では一般に裏あて金を用いる。これは強いMIGのアークが継手を通して抜けないため、アルミニウムや鉄鋼、銅などを用いる。

6.2 実際の溶接作業における問題点

〔戸外での溶接作業〕MIG溶接を戸外で行なうときは風が不活性ガスのシールドを乱すので、これを防ぐためにカップと母材の距離を小さくする必要がある。さらにアルゴンガス流量をふやすようにする。

〔アークスタート〕アークのスタートの悪いのは、アーク不完全、制御回路調整不良、シールドガスの不足などの原因が考えられる。

〔アンダーカット〕溶接電流が高すぎる。アークの移動速度がおそすぎる、ガン角度の不適切からおこる。

〔割れ〕割れは、母材に対して溶加材が不適切なときにおこる。これは表.5を参考されたい。また、割れは開先準備、継手間隔が不適であったり、溶接速度がおそすぎるときにおこる。

〔不完全な溶融〕溶融が不完全であるのは、継手の清浄の不足、アークが長すぎる、継手間隔または開先加工が不適切のためである。

7. TIG 溶接と MIG 溶接の比較

TIG溶接とMIG溶接とを比較して表にすると、表4の如くなる。しかし、このような比較は一般的なものであって、特別な応用に際しては例外もある。

8. 溶接の準備と仕上げ

8.1 継手の形式

継手には図.7に示したように5つの基本的な形式がある。実際にはこれらの継手形式の変形および組合せて溶接作業が進められる。

8.2 開先加工

開先の形状は、母材の材質、板厚、継手形式、溶接方法、溶接位置および要求される溶接品質によって異なる。開先の形状については、溶接条件の表の中に付記してお

表4 MIG と TIG の比較

項 目	優 先 順 位	
	MIG	TIG
経 済 性		
装置の価格	2	1
維持費	2	1
作業	1	2
溶接工の訓練係数時間	1	2
溶着金属量	1	2
溶接時間	1	2
融 通 性		
1. 2mm以下の板の溶接	—	1
3. 2mm以上の板の溶接	1	2
いろいろな姿勢での溶接	1	2
短距離溶接	2	1
輪郭の変化	2	1
低速溶接	2	1
溶 接 品 質		
強 度	1	2
じん性	1	2
耐食性	1	2
欠陥の有無	1	2
溶込み	1	2
変 形	1	2
機 械 溶 接		
溶加材の供給	1	2
溶加材なしの溶接	—	1
薄物の突合せ溶接	2	1
厚物の突合せ溶接	1	2
すみ肉溶接	1	2
鋳物の溶接		
一般的修正	2	1
特別の修正	2	1
溶接による修理	2	1
鋳物の組立	1	2

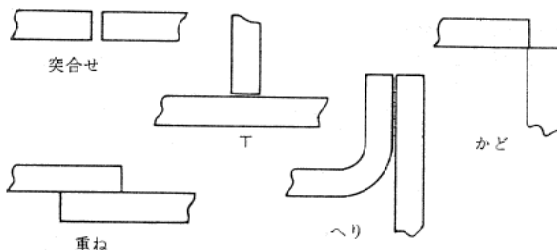


図7 基本的継手形式

いたので参考にされたい。この項では開先を取る方法について述べる。

開先を取るには、切断、鋸引き、チップング、かんなかけなどの方法がある。いずれの加工によっても最高の品質を得るには仕上げをすることが必要である。この場合はアルミニウム用やすりを使用するとよい。5mm以下の板厚のものはシャーで切断できる。鋸で切断する場合は、ジグソー、帯鋸、丸鋸などを用いるがアルミニウム用の正しい歯と、切削速度が必要である。チップングで開先を取ることも有効であるが能率が悪い。

8.3 溶接部の清浄

健全な溶接をするための必須条件である。溶接部分は溶接直前に油、グリース、汚れなどを取除かねばならない。一般的には、溶接直前に溶接部をきれいな布で拭けば良い。それでも除去できない場合は、ワイヤブラッシング、サンデング、やすりかけを行なうがこれらの機械的清浄の後に布で拭くとより効果的である。

化学的な清浄法としてもつともよいのは苛性ソーダで洗滌することである。油脂をとるために四塩化炭素などを使用するのは余りすすめられない。

8.4 開先の間隔

継手の間隔は、良い溶け込みと歪の調節にとって大切なことである。実際の間隔については溶接条件の表を参考されたい。溶接の進行にともなつて溶接熱は一般に母材を膨張させるから、継手間隔が変つてくる。そのためにじく或は仮止めによつてこの間隔を一定に保てるよう手段をこうじる必要がある。

8.5 予熱

予熱は溶接法、母材、板厚、周囲の温度などによっておこなうことがある。もつとも良い予熱の方法は炉による加熱であるが、これができない場合は予熱用のトーチで行なう。予熱を行なう場合はなるべく均一な温度になるよう、また過熱しないように気をつけねばならない。適切な予熱を行なうと溶接による歪を減らすことができるが、予熱が適当でない場合はかえつて歪を大きくし、内部応力を高め、機械的性質を悪くする。

TIG、MIG 溶接において一般に -10°C 以下の場合および、12mm以上の板厚の溶接以外に予熱は行なわれない。予熱しても大体 100°C 以下である。

8.6 溶接部の仕上げ

アルゴンガス溶接したものの外観は比較的良好なので、特別な要求がない限り溶接余盛りを削つて仕上げる必要はない。仕上げの方法としては、一般にチップング、やすりなどを用いるが、グラインダーで仕上げる方法が多く利用される。この場合、アルミニウムの微粉でグラインダーの目をつまらすことがあるので灯油を併用すると

表6 各種合金の溶接部強度

母材	溶加材	母材強度			突合せ溶接部強度			
		引張強さ	耐力	伸び(50mm)	せん断強さ	引張強さ	耐力 ⁽¹⁾	伸び(50mm) ⁽¹⁾
		kg/mm ²	kg/mm ²	%	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	%
1060—O	4043または1060	8.1	3.2	37	6.3	8.1	3.2	25
1060—H14	〃	11.6	10.9	8	7.4	8.1	4.2	20
1060—H18	〃	15.5	14.8	7	8.4	8.1	4.2	15
1100—O	〃	9.5	3.9	35	6.7	9.5	3.9	25
1100—H14	〃	11.9	11.2	9	7.7	9.5	4.6	20
1100—H18	〃	18.6	16.9	6	9.1	9.5	4.6	15
3003—O	〃	11.2	4.9	32	7.7	11.2	4.9	25
3003—H14	〃	15.1	14.1	8	9.8	11.2	6.0	20
3003—H18	〃	20.4	19.0	4	11.2	11.2	6.0	15
	5356	30.2	17.6	23	16.9	28.0	19.1	16
5154—H11A	5254	26.7	21.1	17		24.6	13.7	14
5052—O	5356	20.4	9.9	23	13.7	20.4	9.9	22
5052—F	〃					22.5	12.6	18
	〃	29.4	16.8~21.7			28.0	14.0	16
6063—T5 ⁽²⁾	4043または5356	21.1	18.3	16	—	14.8	9.9	17
6063—T4 ⁽²⁾	〃	16.2	9.9	30	10.5	14.8	9.9	17
6063—T6 ⁽²⁾	〃	23.2	20.4	18	14.1	14.8	9.9	17
6061—T4	〃	24.6	14.8	22	16.8	20.4	14.1	8
6061—T6	〃	31.6	28.1	12	21.1	19.7	12.6	5
6061 溶接後熱処理	〃					29.5	26.0	8

註 (1) この値は板厚によって多少異なる。
(2) 押出形材

表7 異なる溶接方法による継手の引張り強さ
(99.7%Al—H14)

溶接方法	引張り強さ kg/mm ²	伸び %	継手効率 %
酸素・アセチレン	7.3	36.5	54.8
TIG	8.2	25.4	62.7
MIG	9.1	19.2	68.5
母材	13.3	17.0	—

11. 溶接継手の検査と試験

溶接継手の検査と試験は、製造中に継手に要求された品質を得ることとこれを維持するために必要である。検査や試験の方法は、非破壊試験と破壊試験とにわけられる。

11.1 非破壊試験

〔目視試験〕継手の試験は先づ目による観察をおこなう。ビードの外観の不均一、溶け込み不良、表面割れ、アンダーカット、オーバーハング、たれ下り、流れ等を検査する。外観不均一は本来欠陥ではないが、溶接ビー

ドの不揃いは溶接がスムーズにおこなわれなかったこと、および欠陥の存在の可能性を示している。

〔放射線試験〕主としてX線を用いておこない、欠陥の存在とその性質や溶接部内の不連続部の存在等を検査するのにしばしば用いる。また、放射線試験では目視試験でわかる欠陥をすべて解折することができる。

〔蛍光および染料浸透試験〕表面の割れ、表面のガス、溶接部表面にまで達している融合不良等を調べるのに用いる。蛍光または染料成分を含み、浸透性の良い水溶性浸透剤を溶接部に塗ると、表面のきわめて小さい欠陥にも速かに浸入していく。余分の浸透剤は水で洗い落した後乾燥する。その後発色剤を塗って乾かすと欠陥の箇所が発色する。

11.2 破壊試験

〔破断試験〕もつとも簡単におこなえる試験で、溶接部を外部からの力で破断して、ガス気孔、巻込み、不完全な溶け込み、溶融不良、ビード下の割れ等を検査する。

〔型曲げ試験〕この試験は突合せ溶接の品質と展延性を調査するのにもつとも簡単な方法である。溶接部内の気孔、溶融不良、クレーター割れ、内部割れおよび溶け

表8 アルミ溶接の型曲げ試験の中心ピンの半径

母材合金 (すべての調質材)	2S 溶加材 使用の場合	43S 溶加材 使用の場合	56S 溶加材 使用の場合
1S, 2S, 3S	2T	4T	2T
52S		4T	2T
NP5/6			2T
61S		4T	4T

込み不良等の欠陥がわかる 試験方法は、試験片を表. 8 に示すようなRで180°の角度に曲げその割れの発生状況で判断する。普通3mm以上の長さの割れがあれば不健全な溶接と判断する。

〔引張り試験〕試験片を定められた形状にして、引張り試験機にかけて破断し、引張り強さ、耐力および伸びを測定する。

〔硬さ試験〕図. 8 に例を示したように熱影響部の拡がりを調査する。ブリネル、ロックウエル、ビッカース等の硬度測定機が一般に使用される。

(8頁より続く)

- (24) 長谷川上義編:「ステンレス鋼便覧」(日刊工業新聞社) p. 246. P. 242.
- (25) N. P. Inglis and W. Andrews: 'Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 128 (1933), P. 383.
- (26) E. Houdremont: 「Sonderstahlkunde」, (Julius Springer, 1935), P. 268.
- (27) I. S. Vanick: Proceedings of ASTM, vol. 24-II. (1924), P. 348.
- (28) 中山忠行: 日本金属学会誌, vol. 20(1956), p. 288.
- (29) W. H. Hatfield: Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 115-I (1927), P. 483.
- (30) 文献4の p. 298.
- (31) 日本金属学会編: 「新制金属講座, 材料篇」(NKG. 1655).
- (32) A. B. Kinzel and R. Franks: 「The Alloys of Iron and Chromium」 vol. 2. (McGraw-Hill, 1940)
- (33) T. Lyman et al. editors: Metals Handbook, 8th Edition, vol. I. (ASM, 1961).
- (34) M. Szczechanski: 「The Brittleness of Steel」 John Wiley & Sons, Inc., 1963).
- (35) V. F. Zackay: 「High Strength Materials」(John Wiley, 1965).
- (36) M. G. Lozinskii. (L. Herdan): 「High Temperature Metallography」(Pergamon, Press, 1961).
- (37) J. E. Dorn editor: 「Mechanica Behavior of Materials at Elevated Temperatures」(McGraw-Hill, 1961).
- (38) K. A. Gschneidner Jr. et. al. editors: 「Metallurgy at High Pressures and High Temperatures」(Gordon and Breach, Science Pub., 1964).
- (39) H. T. Daniel, J. E. Antill and K. A. Peakall: Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 20 (1963). p. 154.
- (40) G. T. Horne, G. B. Roy and H. W. Paxton: Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 201 (1963), P. 161.
- (41) P. W. Teare and N. T. Williams: Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 201 (1963), P. 125.
- (42) J. McCann and K. A. Ridal: Journal of the Iron and steel Institute, vol. 202 (1964), P. 441.
- (43) J. V. Hardy and G. T. Brown: Journal of the Institute of Metals, vpl. 202 (1964), P. 437.
- (44) J. Koutsky and J. Jezek: Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 200 (1962), P. 938.
- (45) W. McDowell: 鉄と鋼, vol. 51 (1965), P. 2233.