

第1章 材 料

《材料》

1 5083-H321と5083-H32の違いは？

Q-1 5083-H321と5083-H32とは、どう違うのですか？ また、それらの機械的特性を、教えて下さい。

A-1 H321は、H32に必要な加工硬化量以下の加工硬化処理を施したものです。H111、H311も同様に、それぞれH11、H31よりも軽度の加工硬化を受けたもので、引張矯正、レベラー矯正などを行ったものに付けられます。

A5083Pの引張強さは、JIS H 4000によれば、H321の最小値とH32の最小値は同一の値になっています。(Table 1)

なお、参考までに加工硬化材に用いられる多様な質別記号の例をTable 2に示します。

Table 1 A5083Pの引張強さ

質別	厚さ t (mm)	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)
H32	2.9 < t ≤ 12	305以上 380以下	215以上 295以下	12以上
H321	4 ≤ t ≤ 13	305以上 385以下	215以上 295以下	12以上

Table 2 加工硬化材の質別記号

記号	内 容
O	焼きなまししたもの (軟質)
H111	焼きなまし後、わずかに冷間加工(圧延, 矯正)
H112	押し出し, または熱間圧延のまま
H116	熱処理と圧延の組合せにより剥離腐食を改善したもの
H14	1/2硬質 (冷間加工)
H311	H31より冷間加工が小さい
H32	1/4硬質 (冷間加工後, 安定化処理)
H321	H32より冷間加工が小さい
H323	1/4硬質, 応力腐食割れ性を改善したもの
H34	1/2硬質 (冷間加工後, 安定化処理)
H343	同上, 応力腐食割れ性を改善したもの

2 展伸材と鋳物材を溶接する時の要点は？

Q-2 アルミニウム合金展伸材と、鋳物材の溶接は可能でしょうか？

A-2 アルミニウム合金展伸材の溶接は広く行われておりますが、鋳物材の溶接例は限られているようです。また、展伸材と鋳物材の溶接例も少なく、ホイール、ポピン、オートバイフレーム等に幾つか見られる程度です。

このように展伸材と鋳物材の溶接は実用化されておりますが、その溶接性は鋳物材の品質に大きく影響されます。

鋳物には、溶解時に生成される酸化アルミニウム(ドロス)が残存したり、鋳造時に巻き込まれたり、鋳型が溶損して砂や非金属介在物が混入したりすることが多く、また水素ガスや気泡が多いことも事実です。

展伸材と鋳物材の溶接例を示しましたが、これ等の鋳物は、溶接されることを前提にして製作されており、具体的には鋳造欠陥を可能な限り低減する方策が採用されております。従って、内部欠陥の程度が明確でない鋳物や、溶接することを前提に製造されていない鋳物は、鋳造欠陥が多いと考えておく必要があります。

鋳物の内部品質が十分であれば、次には溶接材料の選択となります。展伸材同士の溶接と同じように、JIS Z 3604『アルミニウムのイナートガスアーク溶接作業標準』のTable 3「母材の組合せによる溶接棒および溶接ワイヤの選定指針」を参考にして選択します。溶接金属の割れ性に関しては、溶接金属の化学組成が問題になり、母材と溶接材料の化学組成が関係します。また溶接金属の要求強度も無理のない範囲に低めにするのがポイントでしょう。

鋳造欠陥が多い鋳物を溶接する場合、溶接中に溶融池からガスが噴出します。このため、アルゴンガスでシールドしていてもアークが乱れ不安定になって、母材が酸化する問題が発生します。ミグ溶接では滑らかなビードを確保することは困難ですし、ティグ溶接でもクリーニング作用を十分に活用して丁寧な溶接をすることが望まれます。溶接することを前提にして製造された鋳物でも、展伸材と比較しますとガス含有量が多く、ブローホールが発生し易い傾向にありますので、溶接速度を遅くして、ガスの放出を助長する必要があります。

以上のように、展伸材と鋳物材の溶接は可能ですが、鋳物材の内部品質を十分知って溶接することが肝要です。

《溶接冶金》

Table 3 母材の組合せによる溶接棒及び溶接ワイヤの選定指針(抜粋) JIS Z 3604

母材	AC7A	AC4D	AC4C ADC12
A1070 A1050	(2) (5) A4043	(6) A4043	(5) (6) A4043
A1100 A3003 A3203	(2) (5) A4043	(6) A4043	(5) (6) A4043
A1200	(2) (5) A4043	(6) A4043	(5) (6) A4043
A3004	(2) A4043	(5) A4043	(5) (6) A4043
A2014 A2017	—	(6) A2319	BA4145B
A2219	(5) A4043	(4) (5) (6) A2319	(4) (5) BA4145B
A5005 A5N01	(2) (3) A5356	(5) A4043	(5) A4043
A5052 A5652	(2) (3) A5356	(5) A4043	(2) (3) (5) A4043
A5154 A5254 A5454	(2) (3) A5356	—	(2) (3) (5) A4043
A5086 A5083 A5056	(2) A5356	—	(2) (4) (5) A5356
A6061 A6N01 A6063 A6101	(2) (3) (4) (5) A5356	(5) (6) A4043	(2) (3) (5) A4043
A7003 A7N01	(2) (3) A5356	(5) A4043	(2) (3) (5) A4043
AC4C ADC12	(2) (3) (5) A4043	(5) (6) A4043	(5) (6) A4043
AC4D	—	(5) (6) (8) A4043	
AC7A	(2) (3) (8) A5356		

注(2) A5356, A5556又はA5183を用いてもよい。

(3) A5654又はA5554を用いてもよい。

(4) 用途によってA4043を用いてもよい。

(5) A4047を用いてもよい。

(6) BA4145Bを用いてもよい。

(8) 母材と同組成の溶加材を用いてもよい。

備考1. この組合せは、常温及び低温で使用される一般的な溶接構造物を対象としたものであるが、使用温度が65°Cを超える可能性のある場合には、A5356, A5183, A5556及びA5654の使用は避けた方がよい。

2. 溶接棒及び溶接ワイヤを示すBY及びWYは、省略した。

3. 母材のうち展伸材の形状を示す記号は省略したが、いずれの形状のものにも適用できる。

4. BA4145Bは、JIS Z 3263に規定されているものであるが、2000系合金の溶加材としては有効な場合がある。

3 溶接金属の結晶粒微細化方法は？

Q-3

アルミニウム合金の溶接金属の結晶粒を微細化する溶接方法としては、どのようなものがありますか？

A-3

アルミニウム合金の溶接金属部の結晶粒を微細化する方法としては、ティグ溶接では、溶融池を磁気攪拌して微細化する方法が、またミグ溶接では、低周波パルスミグ溶接を適用して溶融池を振動し攪拌する微細化方法があります。

まずティグ溶接の場合の磁気攪拌による微細化方法について説明します。Fig. 1はティグ溶接における磁気攪拌を模式的に示したものです。タングステン電極から溶融池に流れた電流は、母材の板面にはほぼ平行に、アークから放射状に流れているものと見なせます。そこで、板面に垂直な磁場を与えると、溶融池を流れる溶接電流との相互作用により、Fig. 1(b)に示すようなローレンツ力が溶接金属に働き、そのために溶融池内の溶融金属が回転し、溶融池が攪拌されます。

Fig. 2は、Al-Zn-Mg系合金(7N01)のティグ溶接

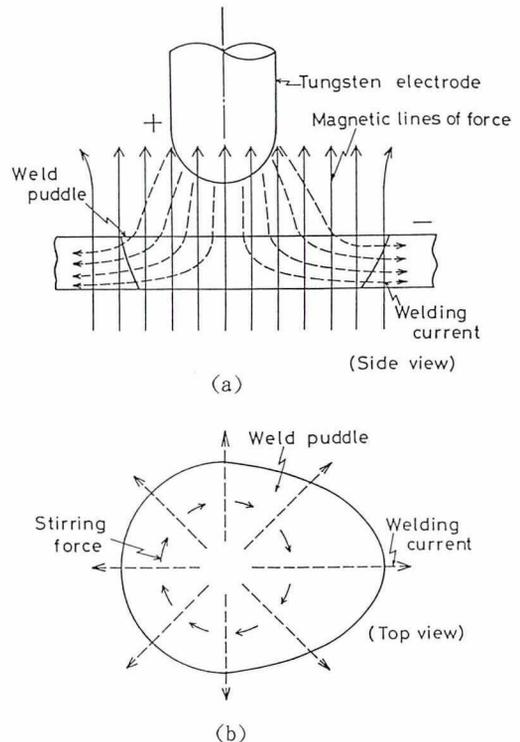


Fig. 1 ティグ溶接における磁気攪拌の模式図

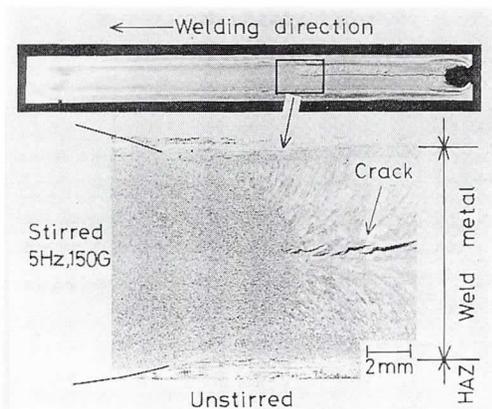
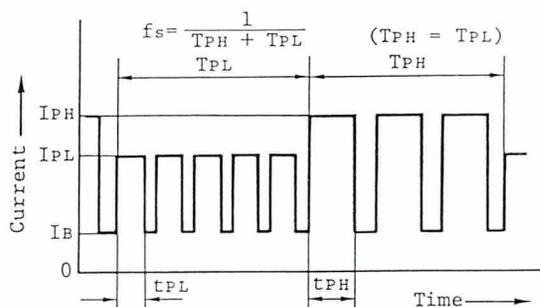


Fig. 2 磁気攪拌による結晶粒微細化の効果



$f_s = \frac{1}{T_{PH} + T_{PL}}$ (TPH = TPL)
 IPH: Pulse current of pulse condition H
 IPL: Pulse current of pulse condition L
 tPH: Pulse duration of pulse condition H
 tPL: Pulse duration of pulse condition L
 TPH: Duration of condition H
 TPL: Duration of condition L
 IB : Base current
 f_s : Switching frequency of pulse condition

Fig. 3 低周波パルス電流波形

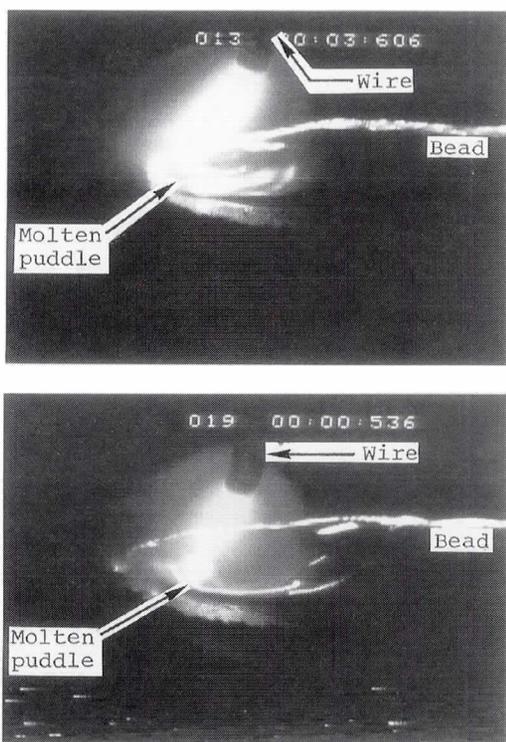


Fig. 4 ミグ溶接における溶融池の振動

Base metal: A5052, Wire: A5356, 1.6mmφ	
f_s (Hz)	Grain structure
0 Conventional pulsed MIG welding	
2.5	
5	
10	
30	
50	

Fig. 5 適用周波数とミグ溶接金属の凝固組織

割れ試験における溶接金属の凝固割れ試験結果を示したもので、溶接は右側から左側になされております。その溶接試験の途中から、周波数 5 Hz, 150 G の磁場を加えて溶融池を磁気攪拌した結果、溶接金属の組織は微細化して、縦割れが停止していることが分かります。このように、溶融部に磁場を加えて磁気攪拌することにより、

溶接金属の凝固組織を微細にすることができます。

次に低周波パルスミグ溶接法による微細化方法について説明します。この方法は、Fig. 3 に示すように、安定な溶滴移動が行われる 2 つのユニットパルス（パルス電

流 I_p とパルス幅 T_p の組み合わせ) を周期的に切り換え、アーク力の変動によって、Fig. 4に見られるような溶融池の振動を起し、溶融池を攪拌するものです。Fig. 5は、Al-Mg系合金(A5052)を種々の低周波パルスで溶融した場合の溶接金属部の凝固組織を比較して示したものです。低周波パルスミグの溶接の適用による溶接金属の微細化の程度は、溶融池の振動数に依存し、溶融池の固有振動現象が得られる周波数で最も顕著に結晶粒が微細化されます。

参 考 文 献

- 1) 松田, 中田, 塚本, 成願: ジルコニウムを添加したAl-Zn-Mg三元系合金の溶接凝固割れ感受性に及ぼす磁気攪拌の効果, 溶接学会論文集 Vol. 4 (1986) No. 1. P. 120~125.
- 2) 山本, 原田, 上山, 中田: 低周波パルスミグ溶接法によるアルミニウム合金溶接金属の結晶粒微細化と凝固割れ感受性の改善, 軽金属溶接 Vol. 31 (1993) No. 2. P. 12~20.

4 アルミニウム合金の溶接割れとその防止対策は?

Q-4

アルミニウム合金の溶接割れには、どのような種類のものがあるのですか、また、その防止策について教えてください。

A-4

アルミニウム合金溶接部に発生する割れは、発生場所あるいは形態によってFig. 6のように分類されています。発生機構によって分類すると、アルミニウム合金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、または低融点物質の存在に起因するものです。

割れの種類によって、その防止策も異なりますが、溶

接施工上で配慮すべき事項を以下に記述します。

- (1) 先ず、仮付け溶接に割れが生じている場合には、必ず割れ部をハツリ取ってから、本溶接を行うようにして下さい。
- (2) 溶接条件としては、過少入熱や過大入熱となる条件を避けて下さい。
- (3) ビードの縦割れは、ルート間隔が広い場合や、へり継手、角継手などの溶接において、溶着量が少なくビード形状が扁平な時に生じやすい。ルート間隔の管理、溶着量の増加及び溶接部の拘束を少なくする溶接順序などの配慮が必要です。
- (4) 溶接の始終端部には、ブローホールや溶込み不良及び割れなどの欠陥が発生し易く、特にミグ溶接ではある程度避けたいと考えるべきであり、溶接継手の両端には、母材と同材質のエンドタブを付け、始終端部を本体溶接部から逃がしてやるのが望ましい。
- (5) クレータ割れは、最終凝固部に発生しますので、溶接を終了する際には、クレータ処理を行って下さい。クレータ処理は、溶接の走行または運棒を停止した後、アークを継続して発生させ、クレータ部を盛り上げてからアークを切るようにします。その後、カッターなどでクレータ部を整形します。
- (6) 多層溶接を行う場合、次の溶接パスの入熱により、溶接部近傍の結晶粒界が局部的に溶融し、その時の溶接部に加わる熱変形との関係でミクロ的な割れが発生することがあります。このような微小割れは、層間温度が高い場合や、溶接入熱が大きい時に発生します。このため、層間温度としては、70°C以下を標準として管理する必要があります。また、両面溶接を行う場合には、裏ハツリ部の溶接入熱が過大にならないように注意すべきで、裏ハツリの深さを必要最小限にする必要があります。

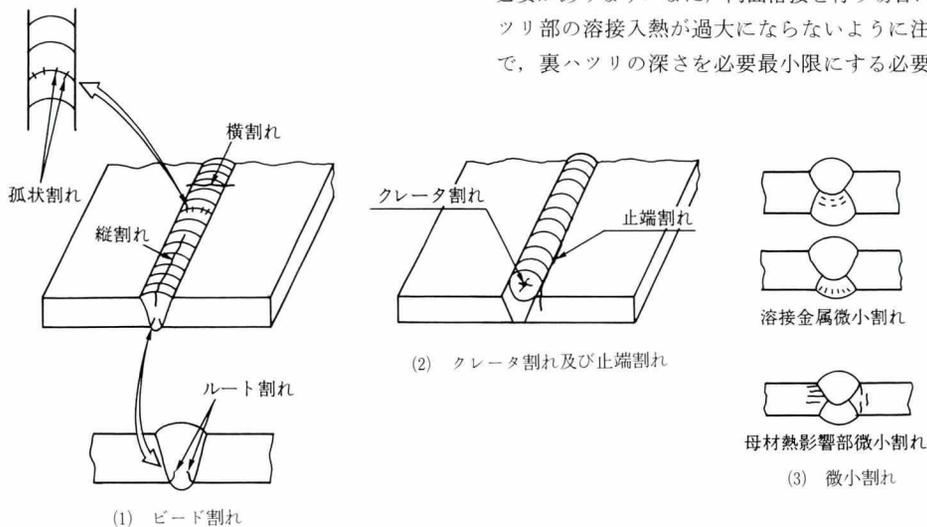


Fig. 6 アルミニウム合金溶接部に発生する割れの種類

す。開先形状にもよりますが、裏ハツリの深さは、板厚の1/2以下を目安にするのがよいでしょう。

(7) 溶接途中に、バーンバック（ミグ溶接で、溶接ワイヤがコンタクトチップに焼き付く現象）が生じたり、銅製裏当てに直接アークを発生させた場合は、銅その他の金属を溶接金属中に巻き込み、割れが発生する危険性があります。このような場合は、周辺の溶接金属を十分にハツリ取り、カラーチェックなどにより割れの無いことを確認してから溶接を継続するようにします。

参 考 文 献

1) イナートガスアーク溶接入門講座, P. 27, 30, 31, (財)軽金属溶接構造協会 (1995年発行)。

5 6000系アルミニウム合金の溶加材選定の考え方は？

Q-5

6000系アルミニウム合金（例えば6N01-T5）の溶加材として、溶接割れ、継手強度の観点から、海外では4043の方が5356よりも一般に優れるとする文献を多く見受けますが、日本では5356が多用されています。その理由は何ですか、教えてください。

A-5

6000系合金の6N01は、中強度を有し、押出加工性に優れることから、溶接構造用材料として広く用いられています。しかし、6000系合金は、溶接熱影響部に微小割れが発生し易いと言われていいます。アルミニウム合金の溶接割れは、高温割れと言われており、その発生には、

- ①熱的要因（結晶粒界が溶融する熱）、
- ②冶金的要因（材料の割れ感受性）、
- ③機械的要因（結晶粒界が開く力）

が関係し、これらの要因が複雑に絡み合った結果として、溶接割れの発生程度が左右されると考えられます。熱影響部に発生する微小割れも、やはり高温割れの一種で、その生成過程から推察すると液化割れと思われまます。従って、上記各要因が作用し合った結果として、微小割れの発生程度が異なってくると考えられます^{1),2)}。

6000系合金の溶加材には、4043および5356が一般的に用いられますが、Gittos（英 TWI）らは、BS規格HS30母材と、NG21（Al-4.5~6Si）及びNG61（Al-5~5.5Mg-0.6~1Mn）溶加材を用い、固相温度 T_s と希釈率Dとの関係を3元状態図から求め、熱影響部の液化割れについて検討しています。その結果は、Fig. 7の通りです。NG21の場合は、希釈率が変化しても、固相温度はHS30母材の値よりも低いのにに対して、NG61の場合は、希釈率が50~90%の範囲において、固相温度は、HS30母材の値よりも高くなっており、この範囲におい

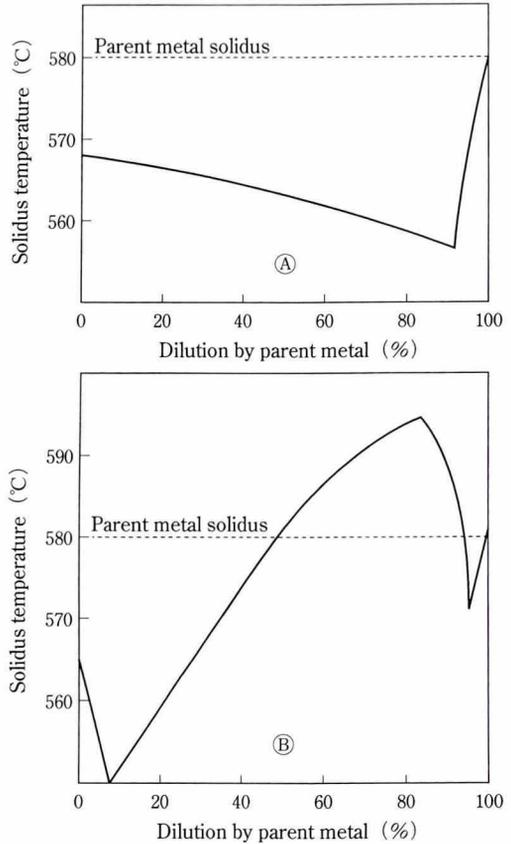


Fig. 7 HS30母材にNG21 (A) 及びNG61 (B) 溶加材を用いた場合の希釈率と固相温度の関係

て、溶融境界部に沿って割れが形成されると報告しています²⁾。

一方、日本国内において迎、加藤らは、“アルミニウム合金6061の溶接液化割れの定量的検討”の中で、Gittosらと同様に4043及び5356溶加材により、固相温度 T_s と希釈率Dとの関係について検討しています。その結果は、Fig. 8の通りです。4043を用いた場合には、希釈率の減少に伴い（これは、実際の溶接においては、入熱を増大させることに対応します）、母材の固相温度である597°Cから急激に低下し、希釈率85%で514°Cと最低値を示した後、希釈率が減少すると共に、固相温度は次第に上昇します。一方、5356を用いた場合には、希釈率の減少と共に、始め固相温度は573°Cまで低下しますが、その後は、希釈率65%における580°Cまで漸増します。更に希釈率が減少すると、希釈率15%にて553°Cまで次第に固相温度は低下します。その後は、固相温度は上昇

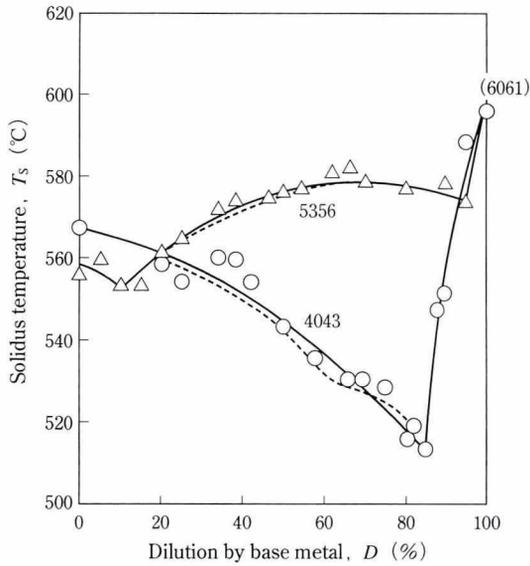


Fig. 8 希釈率と固相温度の関係 (実験値)

する傾向が認められます。これらの固相温度と希釈率の関係は、Fig. 7のGittosらの結果と定性的には類似していますが、5356においても、母材の固相温度よりも高くなる現象は認められないとしています³⁾。

また、迎、加藤らは同論文において、バレストレイント割れ試験を用い、4043と5356の熱影響部の割れ感受性について検討しており、横割れは4043および5356のいずれの溶接ワイヤを用いた場合にも形成されるが、4043の場合の方が最大割れ長さは長いと報告しています³⁾。

参 考 文 献

- 1) 福井, 杉山: アルミニウム合金の溶接熱影響部におけ微小割れについて, 溶接学会誌, Vol. 40 (1971) No. 9, P. 868~874.
- 2) N. F. Gittos, M. H. Scott: Heat-Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys, W. J. 60 (1981), No. 6, P. 95s~103s.
- 3) 迎, 加藤: アルミニウム合金6061の溶接液化割れの定量的検討, 軽金属溶接, Vol. 27 (1989) No. 1, P. 2~13.