

G : 非鉄金属の溶接施工資料

Welding of Nonferrous Metal

資料G 1…ニッケル及びニッケル合金の溶接について

資料G 2…ニッケル及びニッケル合金異材溶接時の
溶接材料の選定

資料G 3…銅及び銅合金の溶接について

資料G 4…銅及び銅合金異材溶接時の
溶接材料の選定（被覆アーク溶接）

資料G 5…銅及び銅合金異材溶接時の
溶接材料の選定（TIG・MIG溶接）

資料G 6…アルミニウム及びアルミニウム合金の
TIG・MIG溶接について

資料G 7…アルミニウム及び
アルミニウム合金溶接材料の選定

資料G 8…チタンのTIG・MIG溶接について

資料G 9…鋳鉄の溶接について

資料G 10…鋳鉄母材からみた溶接材料の選び方

資料G 11…鋳鉄の溶接に用いられる特殊な施工要領

資料G 12…異種材料の溶接難易度

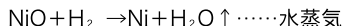
資料 G 1 ニッケル及びニッケル合金の溶接について

ニッケル及びニッケル合金の溶接について特別な方法というものはなく、ステンレス鋼の溶接と基本的には同じ溶接方法が適用されます。しかしながらニッケル及びニッケル合金の溶接においては、下記のような問題が発生しやすいために、より一層丁寧な溶接材料の選定、開先の準備、溶接施工が必要となります。

◎ 発生しやすい主な欠陥

※ブローホール

外見上はきれいな溶接ビードであっても、内部に無数のブローホールが内在している場合があります。このブローホールの成因に関しては、材料中に溶け込んだ酸素ガスが材料中の炭素と結合したり、雰囲気中の水素と結合することにより発生するといわれています。例えばニッケルの場合には、



の反応でブローホールが発生します。したがって、両反応に共通している酸素を固定すればブローホールは防止できることになります。

ニッケルやモネルの専用溶接材料においては、TiとAlを添加することにより以下の反応で酸素の固定を図っています。



※高温割れ

高ニッケル合金は凝固点付近の温度で脆弱ですので、凝固収縮時に付加される溶接の熱応力により割れが発生することがあります。この割れは、広い開先内の溶接や隅肉溶接の際に縦割れで発生したり、多層溶接部や連続溶接した部分にマイクロフィッシャーとして生じます。

またニッケル合金やモネル合金を炭素鋼に肉盛溶接する場合等には、母材側から炭素が希釈し、ニッケル中に高温で溶解していた炭素が、グラファイトの形で析出するために高温割れが発生することがあります。

こういった割れ感受性は、TiやAlを添加することで低下させることが知られており、溶接材料の成分設計に応用しています。

◎ 溶接上の注意点

欠陥を防止するために、次の諸点に注意してください。

- 母材に適合する専用の溶接材料を使用してください。

（母材を切り板としてTIG・MIG溶接に使用するのは、ブローホールの発生や拘束箇所の割れ、高温割れの発生につながるので、好ましくありません。）

- 適正電流で溶接し、出来るだけストリングビードを引いてください。

（TiとAlを添加していますので、やや湯流れが悪く溶接作業がやりにくく感じられますが、これは前述の理由によります。）

- 指定のパス間温度を守ってください。

（基本的にはパス間温度は100℃以下です。）

資料 G 2 ニッケル及びニッケル合金異材

		被 覆 ア ー ク		
		ニ ッ ケ ル	モ ネ ル	イ ン コ ネ ル 及 イ ン コ ロ イ
T I G ・ M I G 用 溶 加 材	ニ ッ ケ ル		Ni99, ML7D	Ni99, NiA NA182
	モ ネ ル	TGNi, TGML		Ni99
		MGNi, MGML		
	イ ン コ ネ ル 及 イ ン コ ロ イ	TGNi, TG82	TGNi	
		MGNi, MG82	MGNi	
	ス テ ン レ ス	TGNi, TG82	TGNi	TG82
		MGNi, MG82	MGNi	MG82
	ハ ス テ ロ イ B (B-2)	TGNi, TG82 TGHsB-2	TGNi, TGML	TG82, TGHsB-2
		MGNi, MG82 MGHsB-2	MGNi, MGML	MG82, MGHsB-2
	ハ ス テ ロ イ C (C-276)	TGNi, TG82 TGHsC-276	TGNi	TGNi, TG82 MGHsC-276
		MGNi, MG82 MGHsC-276	MGNi	MGNi, MG82 MGHsC-276
	軟 鋼 及 び Cr - Mo 系 低 合 金 鋼	TGNi, TG82	TGNi, TGML	TG82
		MGNi, MG82	MGNi, MGML	MG82

溶接時の溶接材料の選定

溶 接 棒			
ス テ ン レ ス	ハ ス テ ロ イ B (B—2)	ハ ス テ ロ イ C (C—276)	軟 鋼 及 び Cr — Mo 低 合 金 系 鋼
Ni99, NiA NA182	NiA, NA182 Ni99	NiA, NA182 Ni99, HsC-276	NiA, NA182 Ni99
Ni99	Ni99	Ni99	ML7D, ML4D
NiA, NA182	NiA, NA182	NiA, NA182 HsC-276	NiA, NA182
	NiA, NA182	NiA, NA182 HsC-276	NiA, NA182
TG82, TGHsB-2		NiA, NA182 HsC-276	NiA, NA182
MG82, MGHsB-2			
TG82, TGHsC-276	TGHsB-2, TGHsC-276		NiA, NA182 HsC-276
MG82, MGHsC-276	MGHsB-2, MGHsC-276		
TG82	TG82, TGHsB-2	TG82, TGHsC-276	
MG82	MG82, MGHsB-2	MG82, MGHsC-276	

資料 G 3 銅及び銅合金の溶接について

銅及び銅合金の溶接に際しては以下のような問題点があります。

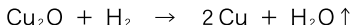
◎ 溶接時の問題点

※純銅の熱伝導度は軟鋼の約 8 倍もあるために、加えられた溶接熱が急速に母材側に拡散してしまうため、溶接部のなじみが悪く、融合不良やスラグ巻込み等の欠陥が発生しやすくなる。したがって、十分な溶込みを得るためにはかなりの予熱が必要となる。また熱影響部の幅も著しく大きくなる。

※熱膨張係数が軟鋼より約 50 % 大きい。したがって溶接時の変形が大きくなると同時に、冷却時の収縮歪が溶接部に集中して、割れを発生させる場合がある。割れを防止するためには、開先角度や拘束方法、ピーニング等を考慮して溶接施工を考える必要がある。

※固相では変態しないので、熱影響部や再加熱を受けた部分では結晶粒が粗大化しやすく、機械的性質を劣化させる。

※溶接時に大気に触れて発生する第 2 酸化銅 (CuO) はほとんど無害であるが、母材中にもともと存在していた酸素により発生した第 1 酸化銅 (Cu_2O) は、溶接金属部及びその近傍に銅-第 1 酸化銅の共晶を作り機械的性質を低下させる。また、高温での使用中に水素を吸収すると、次の反応によりブローホールを発生させる。



※溶接に有害な元素としては、Pb, Sb, Bi があり、結晶粒界に低融点の共晶フィルムをつくるために、溶接時の熱と応力により割れを発生させる。特に Pb の多いものでは溶接はほとんど不可能である。また P も含有量が多くなると割れの原因となる。

※銅-アルミニウム合金の溶接では、酸化物 (Al_2O_3) の発生により湯流れが悪くなり、融合不良やスラグ巻込みが発生しやすくなる。

※銅-亜鉛合金の溶接では、蒸発した亜鉛が酸化亜鉛 (ZnO) となって溶接部を覆い、溶接作業を困難にする。また溶接部の亜鉛含有量が減少して、組成が不均一になる。

※銅と鉄とはほとんど固溶し合わないために、炭素鋼への肉盛り等の異材溶接では溶接金属は銅－鉄の混合組織となり、特に鉄の希釈が多い場合には遊離鉄（Free Iron）の存在が溶接金属の耐摩耗性や耐食性を劣化させる。また炭素鋼側結晶粒界に銅が侵入して（浸銅現象）、溶接部の延性を低下させる。

◎ 被覆アーク溶接での注意点

- 母材に適した溶接材料を選択してください。
- 開先角度を大きくし、ルートも広めにしてください。
- 所定の予熱温度と溶接条件を守ってください。
- 変形を防止するために、仮付けを多くしてください。

◎ TIG・MIG溶接での注意点

- 基本的な注意事項は被覆アーク溶接の場合と同様です。
- TIG溶接では通常直流正極性（DCEN）で行いますが、アルミブロンズ等、酸化膜が発生して湯流れが悪くなるものでは、交流で溶接し、クリーニング作用を利用すると、良好な結果が得られます。
- TIG溶接用棒には、裸棒とフラックス被覆棒とがあります。それぞれ用途によって使い分けてください。
- シールドガスには純アルゴンを用いますが、純銅のTIG溶接ではTG991を使用し、窒素ガスシールドで効果をあげている場合があります。
- MIG溶接では、通常0.8～2.4φのワイヤが用いられ、直流逆極性（DCEP）で溶接します。
- 銅－亜鉛合金の溶接に共金は使用出来ませんが、GA900などアルミブロンズ系の溶接材料を用いて良い結果が得られている例があります。

資料 G 4 銅及び銅合金異材溶接時の溶接

	低炭素鋼 0.5% Mo 鋼	ニッケル青銅	アルミニウム 青銅	りん青銅
銅	KC 100 KE 960	KC 100 KN 910	KC 100 KA 900	KC 100 KE 960
予熱・パス間温度	400～600℃	400～600℃	400～600℃	400～600℃
黄銅	KE 960 KA 900	KN 910 KA 900	KA 900 KA 860	KE 960
予熱・パス間温度	200～400℃	200～400℃	200～400℃	200～400℃
青銅	KC 100 KE 960	KN 910 KN 700	KE 960 KC 100	KE 960
予熱・パス間温度	100～200℃	100～200℃	100～200℃	100～200℃
けい素青銅	KC 100 KE 960	KE 960 KN 910	KE 960 KA 900	KE 960
予熱・パス間温度	100～200℃	100～200℃	100～200℃	100～200℃
りん青銅	KE 960 KC 100	KE 960	KE 960	KE 960
予熱・パス間温度	100～200℃	100～200℃	200～400℃	100～200℃
アルミニウム 青銅	KA 900 KA 860	KA 900 KN 910	KA 900 KA 860	
予熱・パス間温度	100～200℃	200～400℃	200～400℃	
ニッケル 青銅	KN 910 KA 900	KN 910 KN 700		
予熱・パス間温度	100～150℃	70～130℃		

材料の選定 (被覆アーク溶接)

けい素青銅	青銅	黄銅	銅
KC 100 KE 960	KC 100 KE 960	KC 100 KE 960	KC 100 KE 960
400～600℃	400～600℃	400～600℃	400～600℃
KE 960 KC 100	KC 100 KE 960	KA 900	
200～400℃	200～400℃	200～400℃	
KE 960 KC 100	KE 960		
100～200℃	100～200℃		
KE 960 KC 100			
100～200℃			

資料 G 5 銅及び銅合金異材溶接時の溶接

		低炭素銅 0.5% Mo 銅	ニッケル青銅	アルミニウム 青銅	りん青銅
銅	TIG	GK100, GE960	GK100, GE960	GK100, TG990	GK100, GE960
	MIG	MG960, MG990	MG910, MG990	MG960, MG990	MG990, MG960
予熱・パス間温度		200～400℃	200～400℃	200～400℃	200～400℃
黄銅	TIG	GA900	TG910, TG700	GA900, GE960	GE960, TG960
	MIG	MG900	MG900, MG700	MG900	MG990, MG960
予熱・パス間温度		100～200℃	100～200℃	100～200℃	100～200℃
青銅	TIG	GE960, GK100	GE960, GK100	GA900, GE960	GK100, GE960
	MIG	MG990	MG960, MG990	MG990	MG990
予熱・パス間温度		50℃≤	50～150℃	50～150℃	50～150℃
けい素青銅	TIG	GK100, GE960	GE960, GK100	GA900, GE960	GE960, GK100
	MIG	MG960	MG960, MG700	MG960, MG900	MG960
予熱・パス間温度		50℃≤	50～150℃	50～150℃	50～150℃
りん青銅	TIG	GK100, GE960 TG990	GE960, GK100	GA900, GK100 GE960	TG960
	MIG	MG960	MG960, MG700	MG960, MG900	MG960
予熱・パス間温度		50℃≤	200℃≤	50～150℃	50～150℃
アルミニウム 青銅	TIG	GA900, TG860	GA900, TG910	GA900, TG860	
	MIG	MG900, MG860	MG900, MG910	MG900, MG860	
予熱・パス間温度		150℃≤	150℃≤	50～150℃	
ニッケル 青銅	TIG	TG910, TG700	TG910, TG700		
	MIG	MG910, MG900	MG910, MG700		
予熱・パス間温度		50～150℃	150℃≤		

材料の選定 (TIG・MIG溶接)

けい素青銅	青銅	黄銅	銅
GK100, GE960 TG990	GK100, GE960	GK100, GE960	GK100, TG991 TG990, TG960
MG960, MG990	MG990, MG960	MG990, MG960	MG990, MG960
200～400℃	200～400℃	200～400℃	200～400℃
GE960, TG960	GE960, GK100	GA900, TG960	
MG960, MG900	MG960	MG900, MG960	
100～200℃	100～200℃	100～200℃	
GE960, GK100	GE960, GK100		
MG990, MG960	MG960		
50～150℃	50～150℃		
GE960, TG991			
MG960			
50～150℃			

資料 G 6 アルミニウム及びアルミニウム合金の TIG・MIG溶接について

アルミニウムの溶接が他の金属材料に比較して異なるのは以下の点です。

1. 熔融温度が低い。
2. 熱伝導率が大きいため多量でしかも急速に熱を与えなければならない。
3. 膨張・収縮が大きいため変形や割れが生じやすい。
4. 酸化皮膜の除去が困難である。

◎ 溶接上の注意点

- 母材，溶接材料を清浄に保つこと。治具や手袋なども清潔なものを使用します。
- 変形を少なくするためには治具を用いて拘束します。
- 熟練するにしたがって大電流，高速で溶接するように心がけ，変形を少なくすることが必要です。
- アークの発生はなるべくタブ板で行って下さい。
- シールドガスは常に溶接部を覆うようにし，適当な防風策を施し，ガスの流れが乱れないように工夫してください。
- タングステン電極はノズルよりあまり出さないようにして下さい。
- 溶加棒は熔融金属の端で溶かすようにします。
- アースをしっかりと固定し，母材のスパークを防ぐようにします。
- TIG溶接は交流溶接機で高周波スタートを併用します。
- MIG溶接は直流逆極性（DCEP）で行います。
- 予熱は必要に応じて行いますが，200℃以上の加熱は避けて下さい。

◎ 欠陥の原因

※ブローホール……………母材・溶接材料の汚れ，アーク長の不適當，操作の不良

※縦割れ……………開先の不適當，過大拘束

※クレータ割れ……………アークの操作不良，溶接材料の種類・径の不適當

資料 G 7 アルミニウム及びアルミニウム合金 溶接材料の選定(JIS Z 3604抜粋)

母材		母材			7003, 7N01	6061, 6N01, 6063, 6101	5086, 5083, 5056	5154, 5254, 5454	5052, 5652	5005, 5N01	3004	1200	1100, 3003, 3203	1070, 1050
		鑄	物											
母材		AC7A	AC4D	AC4C, ADC12										
1070,1050		4043	4043	4043	5356	4043	5356	5356	4043	1100	4043	1200	1100	1070
		b,e		e	b,d,e	e,g	b	b,d,e	b,e	a,d,g	b,e	a,d,e	a,d,e	a,d,e
1100,3003, 3203		4043	4043	4043	5356	4043	5356	5356	4043	1100	4043	1200	1100	
		b,e		e	b,d,e	e,g	b	b,d,e	b,e	a,d,g	b,e	a,d,e	a,d,e	
1200		4043	4043	4043	5356	4043	5356	5356	4043	1200	1200	1200		
		b,e		e	b,d,e	e,g	b	b,d,e	b,e	a,d,g	a,d	a,d,e		
3004		4043	4043	4043	5356	4043	5356	5356	5356	5356	5356			
		b	e		b,c,d	b,c,e,g	b	b,c	b,c,d,e	b,c,d	b,c,d			
5005,5N01		5356	4043	4043	5356	4043	5356	5356	5356	5356				
		b,c	e	e	b,c	b,c,e,g	b	b,c	b,c,d,e	b,c,d,h				
5052,5652		5356	4043	4043	5356	4043	5356	5356	5356					
		b	e	b,c,e	b,c	b,c,e,g	b	b,c	b,c,d					
5154,5254, 5454		5356	—	4043	5356	5356	5356	5356		代替候補 a : 1100あるいは1200 b : 5356,5556又は5183 c : 5654又は5554 d : 用途によっては4043 e : 4047 g : 陽極酸化後の色調差をそろえるには 5356 h : 母材と同等材				
5086,5083, 5056		5356	—	5356	5356	5356	5183							
		b		b,d,e	b	b	b							
6061,6N01, 6063,6101		5356	4043	4043	5356	4043								
7003,7N01		5356	4043	4043	5356									
		b,c	e	b,c,e	b									
鋳	AC4C, ADC12	4043	4043	4043										
	AC4D	—	4043											
物	AC7A	5356												
		b,c,h												

代替候補

a : 1100あるいは1200

b : 5356,5556又は5183

c : 5654又は5554

d : 用途によっては4043

e : 4047

g : 陽極酸化後の色調差をそろえるには5356

h : 母材と同等材

備考

1. JIS Z 3604を基にしたが、A2***系合金母材は除いて作表している。
2. 表中では、アルミニウムを示す接頭詞Aを省略、棒及びワイヤを示すBY及びXYも、省略している。
3. 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℃を超える可能性のある場合には、A5356、A5183、A5556及びA5654の使用は避けることが推奨されている。

資料 G 8 チタンのTIG・MIG溶接について

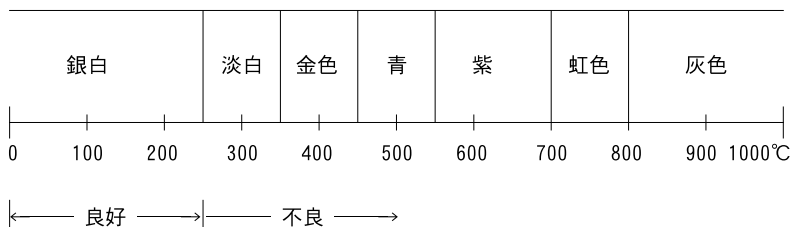
◎ チタンの性質

チタンは軽くて強度があり、耐食性の良い材料であるために、近代化学工業用装置に多く利用されています。他の金属と異なり、その性質（ガス吸収性）により溶接が非常に難しいものとされてきましたが、実際には、イナートガス雰囲気中で慎重なシールドを行えば、溶接は容易です。

◎ チタンのガス吸収

チタンはガス吸収がはげしく窒素・酸素・水素等を容易に吸収してしまいます。その場合、溶接部は脆化してしまい、曲げ加工や衝撃、引張加工などで簡単に破断します。チタンは溶接時はもちろん凝固後もはげしくガスを吸収するので、溶接の終わったビード及びその近傍の母材についてもアフターシールドを行う必要があります。

加熱され、ガス吸収したチタンの表面は概ね以下のようにあらわされ、またこのビード表面の色から溶接の良否を判定することができます。



また、ビッカース硬さを目安として、200HV以下ならば、機械的性質もほぼ良好といえます。

◎ チタンの熱伝導度

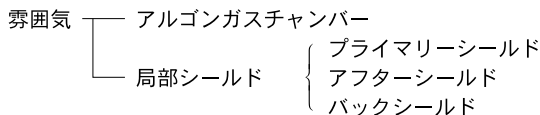
チタンは熱伝導度が小さいために ($0.041\text{cal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}$)、アークの発生している点でのみ局部溶融し、しかも湯流れが非常に良いので、溶接作業自体は容易です。

◎ チタンの熱膨張係数

チタンの熱膨張係数は炭素鋼よりも小さく ($8.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)、溶接歪が小さいので、急冷しても徐冷しても変形の問題はあまりありません。

◎ 溶接上の注意点

- アルゴンガスを封入した容器中で、または適当なシールド方法を用いて、TIG・MIG溶接を行います。溶接後も、溶接ビードが約200℃以下に冷えるまで、大気にふれさせてはいけません。



- 開先の仕上げは機械加工で行ってください。(グラインダー使用は不可)
- 溶接直前に開先及び溶接材料を溶剤 (アセトン等) で充分に洗浄して下さい。
- TIG溶接は直流正極性 (DCEN) で行います。
- 仮付けは極力さけ、またタングステンの混入を防ぐためタッチスタートは絶対に避けて下さい。(高周波スタート)
- 板厚が5 mm以上で、MIG溶接が可能となります。この場合は直流逆極性 (DCEP) で行います。

資料 G 9 鋳鉄の溶接について

鋳鉄の溶接法には、熱間溶接法と冷間溶接法があります。タセト鋳鉄用溶接棒による溶接は冷間溶接法に分類され、母材に与える熱量（入熱）を少なくし、溶込みを極度に制限し溶接を行います。それぞれの溶接棒の特性は次の通りです。

- 鋳物特号：ニッケル系の溶接棒で硬化性が少なく、耐割れ性に優れ、最も良好な溶接性を示します。
- 鋳物35号：ニッケル＋鉄系の溶接棒で、熱膨張係数が非常に小さく、耐割れ性に優れていると共に、機械的性能に優れております。
- 鋳物1号：ニッケル＋銅系の溶接棒で、単層溶接や簡単な巣埋に用いられます。鋳物特号や鋳物35号に比べ耐割れ性は劣ります。

◎溶接施工上の注意

- 鋳鉄に油が付着（しみ込み）している場合は、必ず溶接前に十分に油を焼いて下さい。またスケール等の付着は完全に除去して下さい。
- 割れの補修では、必ず割れの両末端又は長い割れの中央部等にストップホールをあけてから溶接して下さい。
- 開先加工は、ガウジング等では行わず、グラインディングか機械加工で行って下さい。
- 溶接電流は、出来る限り低めにして行って下さい。（溶込み及び熱量の制限）
- 溶接棒の角度は、出来るだけ寝かせて行って下さい。標準的には30°程度です。
- 一回の溶接長さは5 cm以下とし、次の溶接を行う場合には、母材・溶接部分が手で触れられる程度まで冷えてから行って下さい。（溶込み及び入熱の制限）
- 運棒は、出来るだけストリングビードで行って下さい。
- 溶接直後にピーニングを行って下さい。（収縮応力の軽減）

資料 G 10 鋳鉄母材からみた溶接材料の選び方

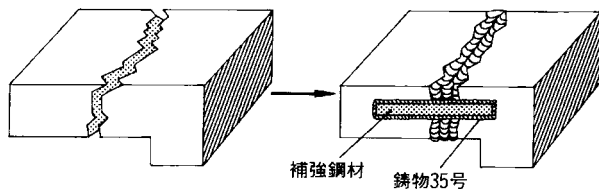
母 材		溶接棒の種類 溶接の種類	鋳物特号 ECNi-CI	鋳物35号 ECNiFe-CI	鋳物1号 ECNiCu
ネズミ 鋳鉄		巣 埋 め	●	●	●
		接 合	●	●	○
		割 れ 補 修	●	●	△
球状黒鉛 鋳鉄		巣 埋 め	◎	●	○
		接 合	○	●	×
		割 れ 補 修	○	●	×
可 鍛 鋳鉄	黒心及び白心	巣 埋 め	●	●	◎
		接 合	◎	●	△
		割 れ 補 修	○	●	×
	パーライト	巣 埋 め	●	●	○
		接 合	●	●	△
		割 れ 補 修	●	●	×

(注) ● 極めて良好, ◎ 良好, ○ 普通, △ やや不良, × 不良

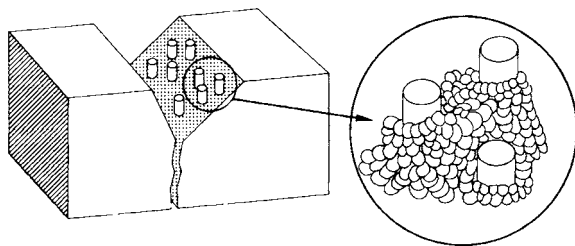
資料 G 11 鋳鉄の溶接に用いられる特殊な施工要領

● 板・棒の埋め込みによる補修

補修部の強度を向上させたいときは、鋳鉄補修材と溶接部分に鋼材・棒鋼などを埋め込んで補強することがあります。この際の溶接は鋳物35号を用いて下さい。



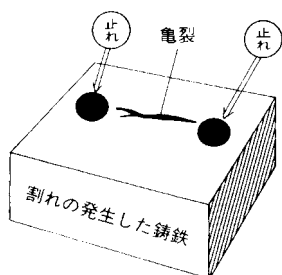
● ボルトの植込みによる溶接



先ずボルトのまわりを溶接します。

次にボルト間をビードで埋めていきます。

● ストップホール

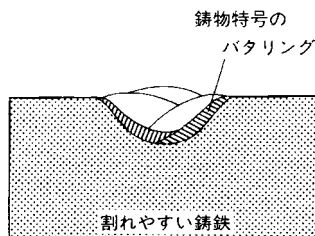


溶接を行うことにより、亀裂が更に成長して拡大するのを防止する為に亀裂の両端に穴をあけておく方法があります。

溶接する際は開先をこの穴までつくり、溶接で補修し最後に穴を埋める様になります。

● バタリング

溶着金属及び熱影響部（境界）に割れが発生しやすく，溶接補修が困難な場合にこの方法を採用すると良い効果が得られます。先ず開先面を鋳物特号で1～2層バタリングしてから開先内を溶接します。



● ピーニングの効果

ニッケル系の溶着金属を溶接直後（延性の十分あるうち）にピーニングハンマーで，ビードが変形するまでくり返したとくと，発生した応力を軽減でき，また，ブローホールなどが発生していても，圧着することができます。

(Hamilton Standard Co.)

[illegible]