

各種材料の溶接

1	薄鋼板の溶接	1
	(1)溶接の考え方.....	1
	(2)溶接施工上の基本的事項.....	2
	(3)薄鋼板施工上の注意点.....	7
	(4)材料規格.....	16
2	中厚板、高張力鋼、中炭素鋼の溶接	18
	(1)溶接の考え方.....	18
	(2)材料規格.....	19
	(3)溶接ワイヤの選定.....	20
	(4)溶接施工上の基本的事項.....	21
	(5)溶接施工上の留意点.....	25
3	表面処理鋼板の溶接	32
	(1)塗装鋼板の溶接.....	32
4	ステンレス鋼の溶接	33
	(1)ステンレス鋼の分類と用途.....	33
	(2)ステンレス鋼の特徴.....	33
	(3)溶接施工の基礎.....	33
	(4)溶接施工上の注意点.....	37

1 薄鋼板の溶接

(1) 溶接の考え方

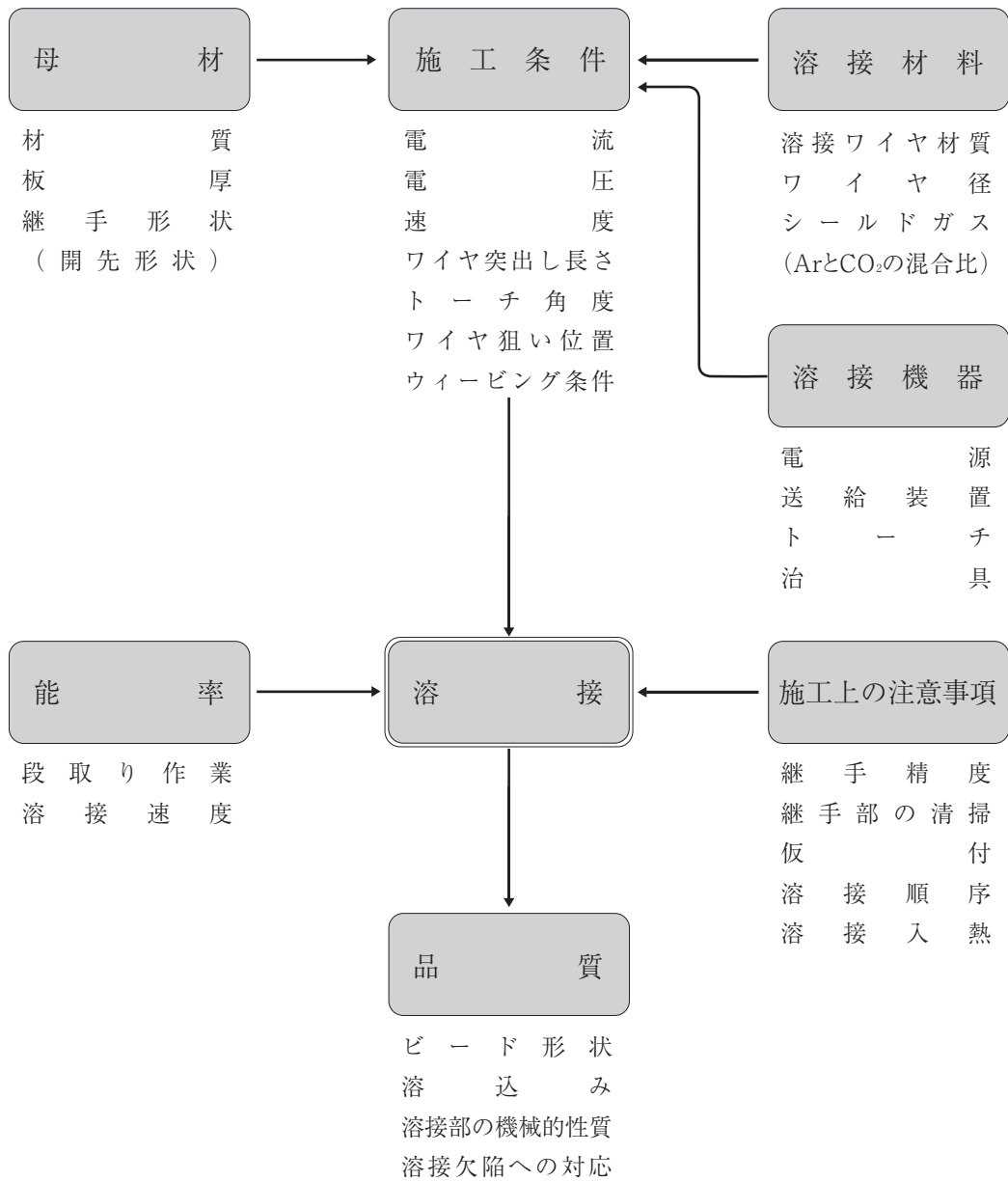


図7・1

(2) 溶接施工上の基本的事項

ア. ワイヤ径、シールドガスと板厚

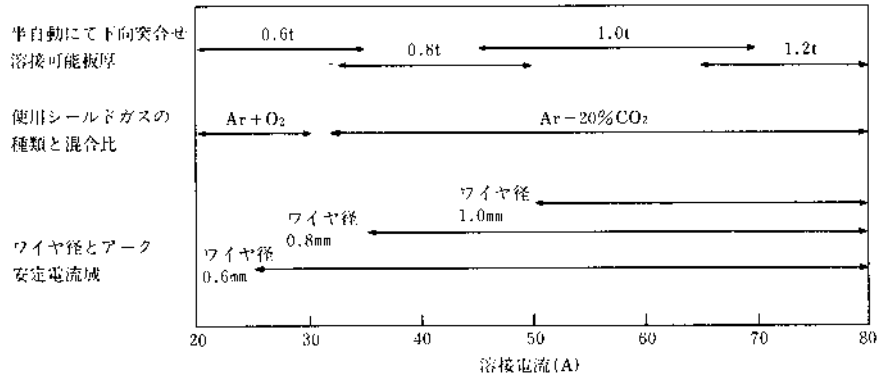


図7・2 低電流域におけるワイヤ径・シールドガス・板厚の関係

イ. 細径ワイヤによる低電流域での薄板溶接施工上の注意点

- ・ ワイヤ送給性の確保 (ワイヤ送給機構、コンジット (内径×長さ) の選定)
- ・ ワイヤ突出し長さの選定 (ワイヤ径×10以下)
- ・ シールドガス混合比の適切な選定
板厚が薄く、かつルートギャップが大きくなるに従いAr混合比を多くする。
- ・ 低電流・短絡移行溶接に適する溶接電源の選定
- ・ クランプ治具・溶接部冷し金の使用 (溶落ち、歪発生対策)

参考：

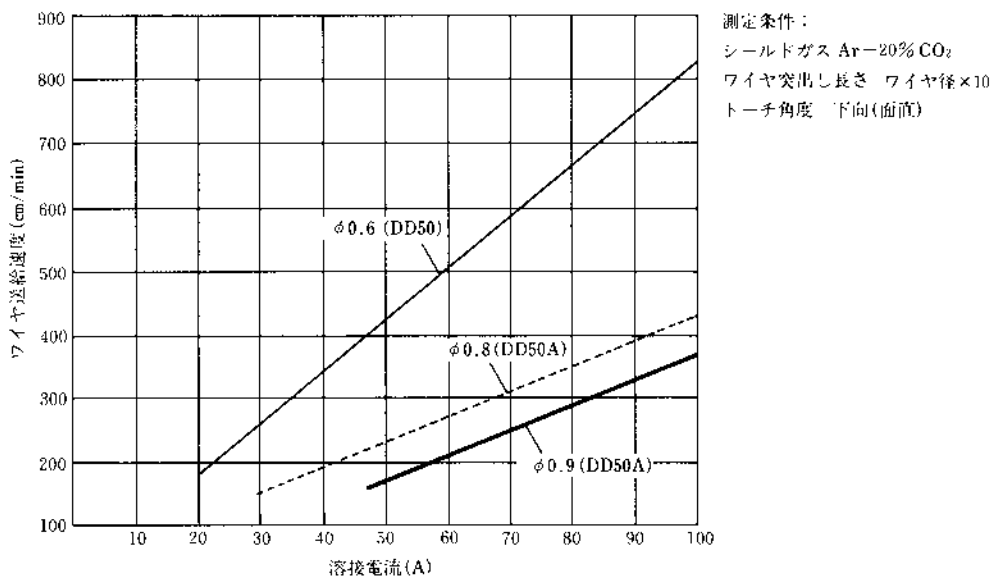


図7・3 低電流におけるワイヤ送給速度と溶接電流との関係

ウ. 継手形状・姿勢と溶接条件

(ア) 下向突合せ溶接

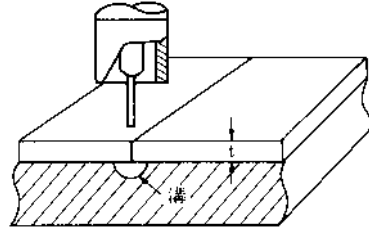


表7・1 SPC下向突合せ溶接条件（薄板）

SPC材板厚 (mm)	使用ワイヤ径 (mm)	シールドガス流量 (l/min)	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)	ルート間隔 (mm)	トーチ角度 (度)
0.4	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	23	13	55	0	15
0.4	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	25	13	65	0	15
0.4	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	27	13.5	70	0	15
0.5	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	28	13.5	55	0	10~15
0.5	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	30	14	75	0	10~15
0.5	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	32	14	80	0	10~15
0.6	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	30	14	55	0~0.2	10
0.6	0.6	Ar-20%CO ₂ 10	32	14.5	70	0~0.2	10
0.6	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	36	15	80	0~0.2	10
0.7	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	36	14.5	80	0~0.25	10
0.7	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	40	14.5	70	0~0.25	10
0.7	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	40	16	70	0~0.25	10
0.8	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	46	17	80	0~0.3	5~10
0.8	0.6	Ar-50%CO ₂ 12	50	18	90	0~0.3	5~10
0.8	0.8	Ar-50%CO ₂ 12	50	18	90	0~0.3	5~10
1.0	0.8	Ar-50%CO ₂ 12	56	18.5	90	0~0.5	0~5
1.0	0.8	Ar-50%CO ₂ 12	60	19	100	0~0.5	0~5
1.0	1.0	Ar-50%CO ₂ 12	60	19	90	0~0.5	0~5

要点 ●ワイヤ径の選定は板厚、ルート間隔を考慮。

- シールドガスの混合比は板厚が薄くなるに従い、アークの集中しにくいArリッチな混合比を選定。
- トーチ角度はやや後退角の方がアークが安定で溶落ちが少ない。
- 板厚が薄い場合溶接熱により歪が発生しやすいので拘束が必要。

(イ) 下向突合せ (t1.2~t3.2)

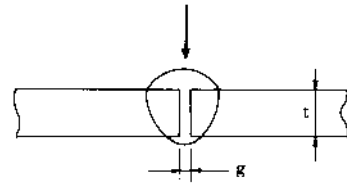


表7・2 下向突合せ溶接条件

板厚 (mm)	ルート間隔 g (mm)	ワイヤ径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	CO ₂ ガス流量 (l/min)	層数
1.2	0	0.8~0.9	70~80	18~19	45~55	10	1
1.6	0	0.8~1.0	80~100	18~19	45~55	10~15	1
2.0	0~0.5	0.8~1.0	100~110	19~20	50~55	10~15	1
2.3	0.5~1.0	1.0~1.2	110~130	19~20	50~55	10~15	1
3.2	1.0~1.2	1.0~1.2	130~150	19~21	40~50	10~15	1

- 要点
- 板厚が1.2mm以上になるとシールドガスはCO₂100%でも溶接可能。
 - 板厚が2.0mm以上になるとルート間隔をとった方が裏波溶接が容易
 - 溶接歪に対する拘束を考慮

(ウ) 重ねすみ肉溶接

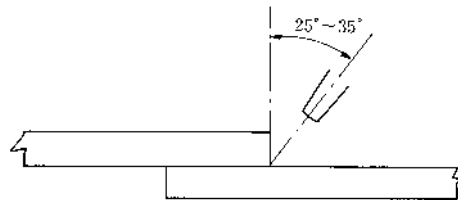


表7・3 重ねすみ肉溶接条件

板厚 (mm)	ワイヤ径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	シールドガス流量 (l/min)
0.6	0.9	50	15	105~115	Ar-20%CO ₂ 10
0.8	0.9	50~60	16	105~115	Ar-20%CO ₂ 10
1.0	0.9	60~70	16~17	100~110	CO ₂ 12
1.2	0.9	70~80	17~18	90~100	CO ₂ 12
1.6	0.9	75~85	17~18	68~73	CO ₂ 12
1.6	1.2	110~120	17~18	70~75	CO ₂ 12
2.0	0.9	85~90	18~19	60~65	CO ₂ 12
2.0	1.2	120~130	18~19	60~70	CO ₂ 15
2.4	0.9	90~100	19~20	50~55	CO ₂ 15
2.4	1.2	130~140	18.5~19	45~50	CO ₂ 15
3.2	0.9	100~120	20~21	40~45	CO ₂ 15
3.2	1.2	140~160	19~20	42~47	CO ₂ 15
4.0	0.9	120~140	21~22	37~42	CO ₂ 15
4.0	1.2	140~160	19~20	35~40	CO ₂ 15

- 要点
- 1.2mm以下の板厚の場合はトーチ保持角度を垂直にした方がよい。
 - 溶接長さが長いと溶接途中で歪が発生、板間キャップを生じやすいので拘束が必要。
 - 被溶接物を5~15°傾け下進溶接するとビード外観が良好になる。

(工) 水平すみ肉溶接

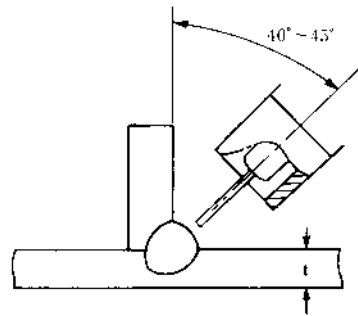


表7・4 水平すみ肉溶接条件（薄板）

板厚 (mm)	使用ワイヤ径 (mm)	シールドガス流量 (l/min)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	トーチ角度 (度)	ワイヤ突出し長さ (mm)
0.8	0.8	Ar-50%CO ₂ 10	40	17	40~50	前進角 0~5	8
0.8	0.8	Ar-50%CO ₂ 10	50	18	60~70	前進角 0~5	8
1.0	1.0	Ar-50%CO ₂ 10	70	19	50~60	前進角 0~5	10
1.0	1.0	Ar-50%CO ₂ 10	90	19.5	60~70	前進角 0~5	10
1.2	1.0	CO ₂ 10	90	19.5	55~65	前進角 0~5	13
1.2	1.0	CO ₂ 10	100	20	65~75	前進角 0~5	13

- 要点 ● トーチねらい位置はセンターねらいにする。
 ● 薄板に対して裏当金を使用（0.8mm以下）
 ● 表7・4に示す条件とは高速・高電流条件が水平すみ肉溶接に適する場合がある。（溶接歪対策）

(オ) 横向溶接

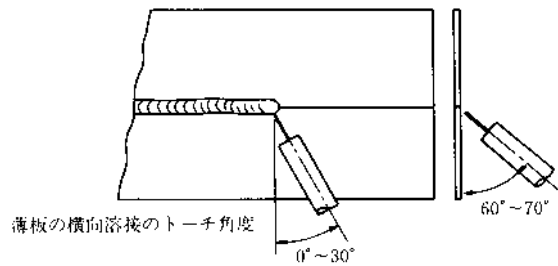


表7・5 薄板の横向溶接条件例

板厚 (mm)	ルート間隔 (mm)	CO ₂ ガス流量 (l/mm)	ワイヤ径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
1.2	0	15	0.9	70~80	17~18	90~100
2.0	0~1.0	15	1.2	110~140	18~19	60~70
3.2	0~1.0	15	1.2	140~150	19~20	40~50

- 要点 ● トーチの前後角は後退角を選定。
 ● トーチの俯・仰角は仰角を選定。
 ● ワイヤのねらい位置は溶接線の下側とする。

(カ) 立向突合せ下進溶接

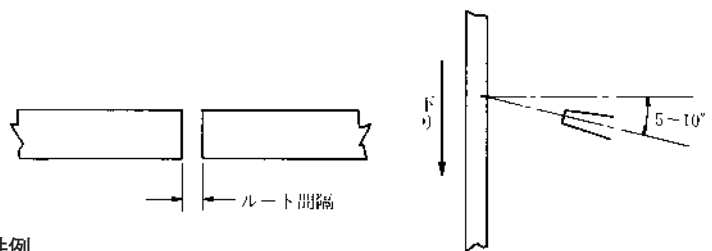


表7・6 立向突合せ下進溶接条件例

板厚 (mm)	ルート間隔 (mm)	ワイヤ径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	シールドガス流量 (l/min)
0.6	0	0.9	50	15	65~70	Ar-20%CO ₂ 10
0.8	0	0.9	60~65	16~17	60~65	Ar-20%CO ₂ 10
1.0	0	0.9	60~65	16~17	60~65	Ar-20%CO ₂ 10
1.2	0	0.9	70~75	16.5~17	60~65	Ar-20%CO ₂ 10
1.6	0	0.9	75~85	17~18	55~65	Ar-20%CO ₂ 10
1.6	0	1.2	100~110	16~16.5	80~83	CO ₂ 12
2.0	1.0	0.9	85~90	18~19	45~50	CO ₂ 12
2.0	0.8	1.2	110~120	17~18	70~80	CO ₂ 12
2.4	1.3	0.9	90~100	18~19	40~45	CO ₂ 12
2.4	1.5	1.2	120~130	18~19	55~65	CO ₂ 15
2.2	1.8	0.9	110~120	19~20	33~38	CO ₂ 15
2.2	1.8	1.2	140~160	19~19.5	38~42	CO ₂ 15

要点 ●溶融池の先流れに注意（トーチ角度・溶接速度を考慮）

●ルート間隔が大きい場合仰角を大きくとる。

(キ) 下向ヘリ継手溶接

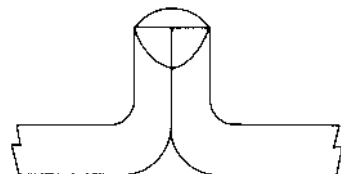


表7・7 下向ヘリ継手溶接条件例

板厚 (mm)	ワイヤ径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	シールドガス流量 (l/min)
0.8	0.9	60~65	16~18	90~100	Ar-5%CO ₂ 10
1.0	0.9	60~65	16~18	80~90	Ar-5%CO ₂ 10
1.2	0.9	65~70	16~18	70~80	Ar-5%CO ₂ 10
1.6	0.9	75~85	16~18	70~80	CO ₂ 10
2.0	0.9	80~90	16~18	60~70	CO ₂ 10
2.0	1.2	90~100	17~19	60~70	CO ₂ 15
2.3	0.9	90~100	17~19	50~60	CO ₂ 15
2.3	1.2	100~110	17~19	60~70	CO ₂ 15
3.2	0.9	100~110	17~19	50~60	CO ₂ 15
3.2	1.2	120~130	18~20	60~70	CO ₂ 15

要点 ●t1.2以下の薄板の場合シールドガスの選択に注意

●t1.6以上の場合はCO₂溶接ができる。

●表7・7の条件以外に2.3mm以上の板厚では高電流-低電圧のベリードアーク（埋れアーク）条件の採用ができる。

(3) 薄鋼板施工上の注意点

ア. 継手形状

(ア) 薄板溶接の好ましい継手形状例

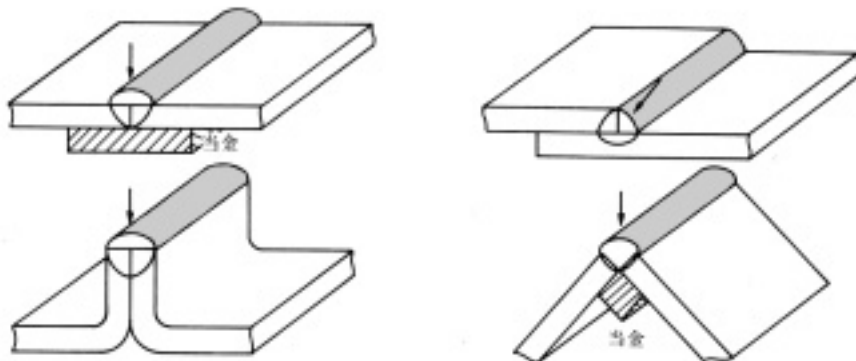


図7・4

(イ) 薄板溶接に不都合な継手形状例

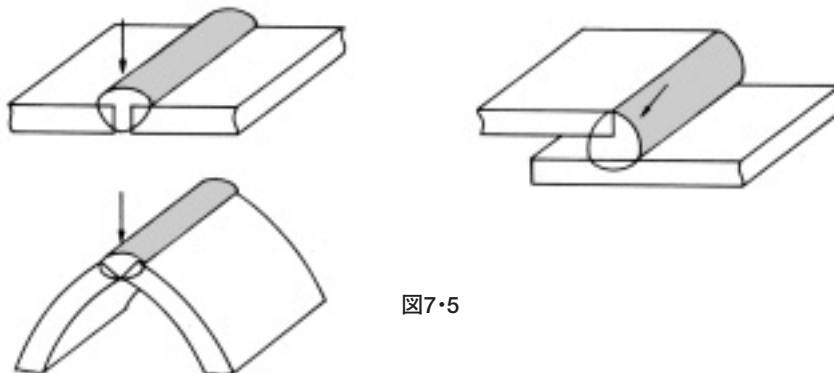


図7・5

イ. 仮付

(ア) CO₂溶接による仮付の場合

- できるだけ小さい仮付を行なう。
- ワイヤ突出し長さを短く、溶着量を少なくし本溶接の際の溶込み不良を防止する。
- ワイヤ突出し長さを短くし、ワイヤビングをしてビード両端の溶込みをよくする。

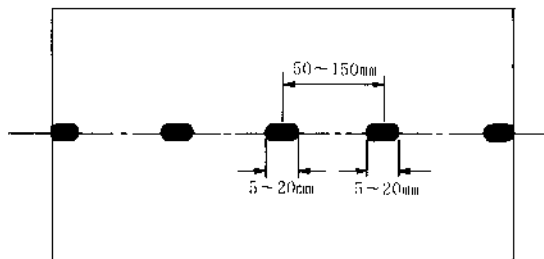


図7・6 薄板溶接時の仮付要領

(イ) 手溶接で仮付け、CO₂溶接を行なう場合

- 溶接棒はブローホール発生を防止するため低水素系のものを用いる。
- スラグは完全に除去する。
- 薄板で仮付け部が大きい場合は余盛を削除する。
- 仮付け部はブローホールが入っているので小電流の場合は完全に余盛を削除する。
- 仮付け部は溶込み不足になりやすいので、ワイヤ突出し長さを短めにすると同時に小刻みなウィーピングをする。
- 裏波溶接の場合、仮付け部は溶け込み不足になりやすいので均一な裏波を得る場合の仮付けはTIG溶接法を採用するとよい。

ウ. 溶落ちと対策

(ア) 裏当てのない場合の裏波溶接

- ・ルートギャップが小さい場合

ワイヤの先端を溶融プールより先行させるようにトーチを垂直に近い角度（後退角ぎみ）にする。

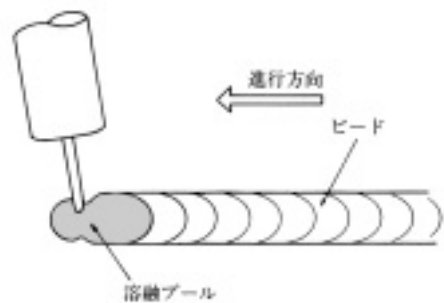


図7・7

- ・ルートギャップが大きい場合

ワイヤは溶融プールのほぼ中心位置をねらい（トーチ角度を前進角とする）ウィーピングする。

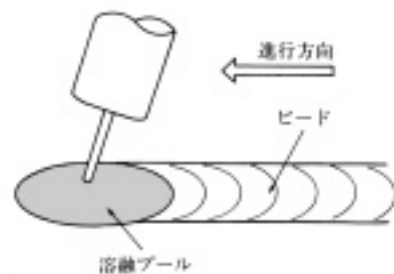


図7・8

溶融プールの表面は被溶接物表面よりわずかにふくらみのある程度が良いが、ふくらみが大きすぎると裏波が十分にでない。

裏面から見た場合、溶接部が赤熱しておりギャップから火の粉が少し飛び散る程度が良い。

参考：溶落ちの観察

円形カットの発生とプールの観察により、溶落ちの兆候を知る。

例えば円形カットの深さが適用板厚3.2mmの場合、0.1~0.2mm程度のときに裏波ビードは適正で、さらに深くなって0.3mm程度になると溶落ちの兆候となる。

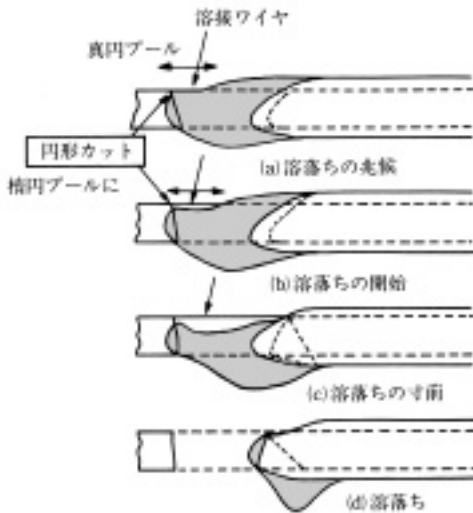


図7-9 溶落ちの変化の模式図

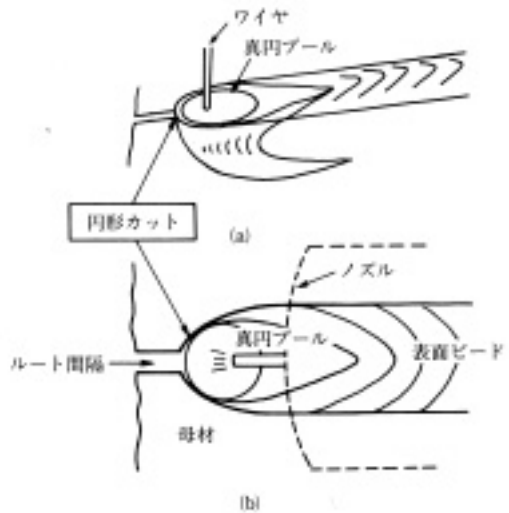


図7-10 円形カットとプールの状況

(イ) 裏当てのある場合の裏波溶接

- ルートギャップの小さい場合
標準条件より比較的大きい電流を使用する。
- ルートギャップの大きい場合
標準条件より比較的小さい電流を使用し、かつウィービング法を併用する。

なお、銅製裏当て（バックング）を用いる場合

銅板に溶着しやすいとき水冷の裏当てをするとよい。

また、裏波を大きく出したり、表ビード形状をなめらかにしたい場合は溝付の裏当てを用いる。

溶融プールは被溶接物表面より、ややもりあがっている程度が良くギャップの中に沈んでいると溶け過ぎの傾向がある。

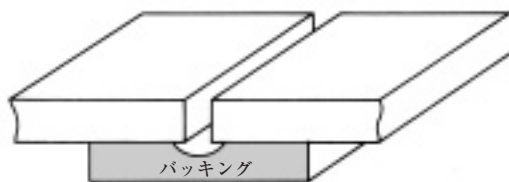


図7-11

(ウ) 溶落ち対策例

●ウィーピング法の適用

- ・ ルートギャップが小さい場合 (0.2 mm~1.2mm)
 ストレート操作または小刻みウィーピング法による。
- ・ ルートギャップが中程度の場合 (1.2mm~2.0mm)
 月形ウィーピングまたは小刻みウィーピング法による。ビードの中央はやや速く操作し、両端で0.3~0.5秒止める。

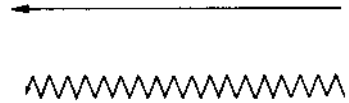


図7-12

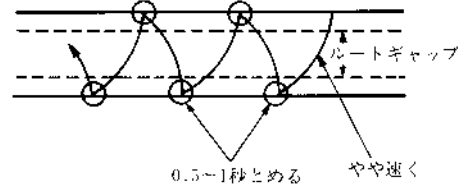


図7-13

●断続溶接の適用

突合せ溶接で板厚に対しルートギャップが大きいとき、溶落ちを生じやすい。このような溶落ちの対策として断続溶接を採用することがある。断続溶接とは溶接と停止を繰り返しながら溶接を行う方法で、かつ溶接時間中にウィーピング法を併用することにより溶落ちを一層防止できる。

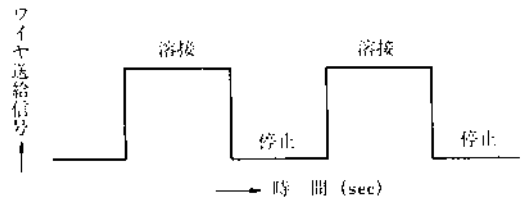


図7-14 断続溶接シーケンス

表7-8 断続溶接条件

板厚 (mm)	突合せルート間隔(mm)	断続溶接時間(sec)	電流 (A)	電圧 (V)	溶接トーチの操作
0.6	0.6	0.5	35	15	前進法 ワイヤ突出し長さをやや大きくする。(10~12mm)
0.8	0.8	0.5	35	15	前進法
1.0	1.0	0.5	35~40	15~15.5	後退法
1.0	1.2	0.5	35~40	15~15.5	後退法 トーチ角度を30° ワイヤ突出し長さを10~12mm
1.2	1.2	0.5	40~45	15.5~16	前進法
1.2	2.4	0.5	35~40	15~15.5	後退法
1.6	1.6	0.5	60~65	17.5	前進法 矢印の如くウィーピングする
1.6	2.4	0.5	40~45	15.5~16	前進法
2.3	2.3	0.5	60~65	17.5	前進法
2.3	4.5	1.2	40~40	15.5~16	後退法
3.2	3.2	0.5	75~80	18	後退法
	6.0	2.5	45~50	16	前進法

工. 溶接歪の発生と対策

(ア) 溶接歪の種類

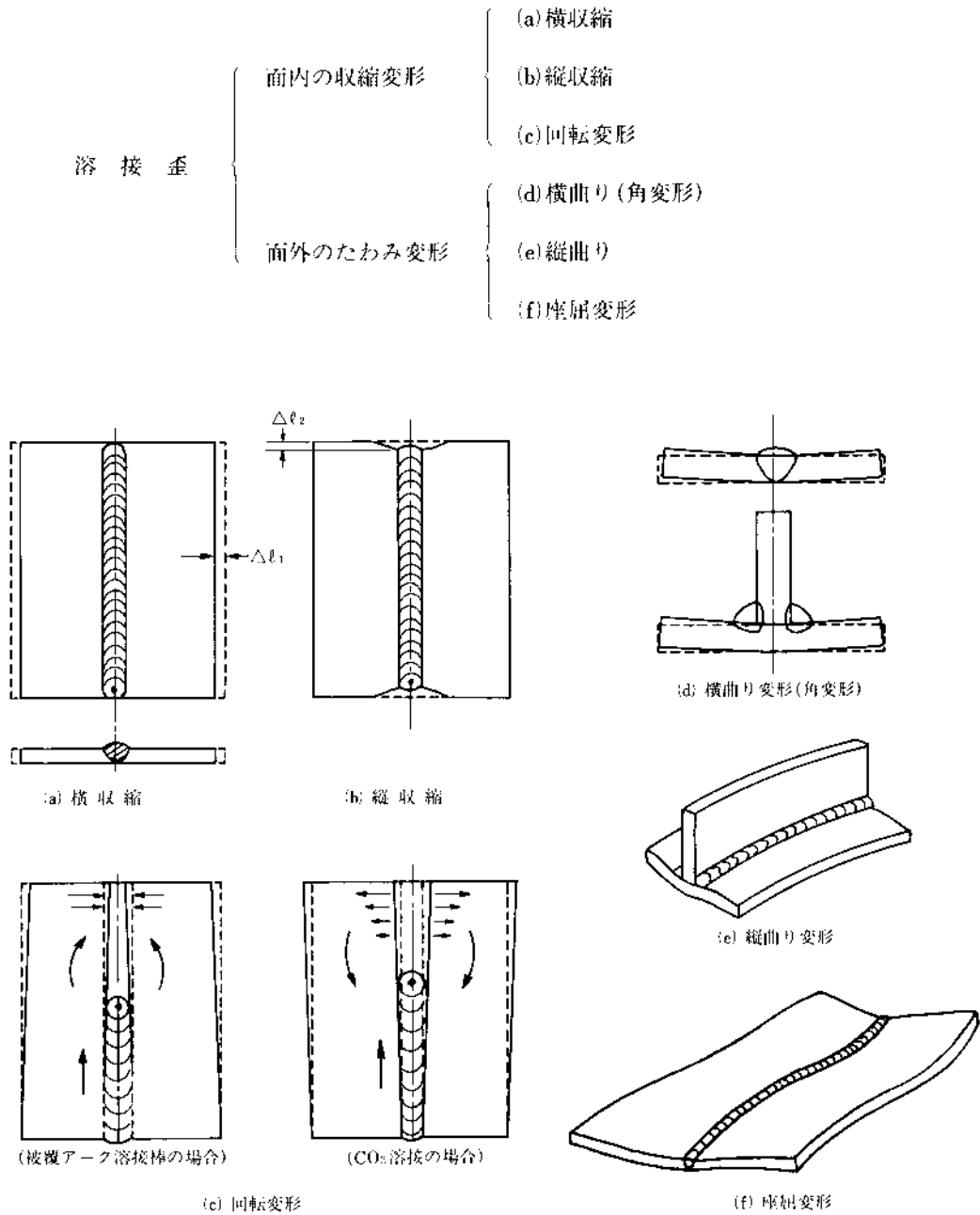


図7・15 溶接歪の種類

(イ) 薄板溶接の歪及びそのカンドコロ

紙も厚いものより障子紙のような薄紙を張る方がむつかしい。ボール紙のような厚手の紙であると糊を水でうすめて張る必要がない。障子紙の場合、紙に糊をつけたのでは破れてしまい、障子の棧の方に糊をつけなければならないし、糊が濃いと紙が縮んでしまう。

薄い紙を張るにも工夫のいるように、薄板の溶接もコツがある。

表7・9 各種材料の特性

項目	軟鋼	ステンレス鋼	アルミ合金	
比熱	J/g・℃	0.46~0.67	0.50~	0.88~0.96
比重	gr/cm ³	7.8	7.9	2.7~2.8
線膨脹係数	10 ⁻⁶ /℃	11	17	25.6
熱伝導率	W/m・℃	42~46	21	167~230
固有抵抗	μΩ-cm(20℃)	14~15	72	2.9~5.5

歪防止対策の一般原則

- 溶着量を必要最小限にする。したがって溶接前の合せ加工を丁寧にし、板の切断面の加工精度を上げ、継目のすき間及び冷却、クランプ力、取付が均一になるようにする。
比較的大電流・高速溶接における小溶着量化、低入熱化をはかる。
- 熱量の調整、溶接個所が1か所に集中しないように設計上配慮する。(スカラップ等)
- 治具、ストロングバックによる拘束、あるいは逆ひずみ法の採用をはかる。
- 溶接順序を正確に保つ。すなわち、同一平面内に継手が多くある場合は、収縮はなるべく自由端に逃がし、全体を一様に収縮させる。
中心に対して対称的に溶接を進める。
収縮の大きい継手を先に溶接する。

参考：

SPC t0.8~t3.2程度の薄板のCO₂ (MAG)

溶接で板継ぎを行う場合、板厚をTとすると

$$A \div 4 \sim 10 \times T \text{ (mm)}$$

$$B \div 2 \sim 5 \times T \text{ (mm)}$$

$$C \div \left(\frac{1}{2} \sim 1\right) \times T \text{ (mm)}$$

$$\alpha = 20^\circ \sim 45^\circ$$

但し、Cの値は表面処理鋼板の場合、

2~5×T(mm)とする。

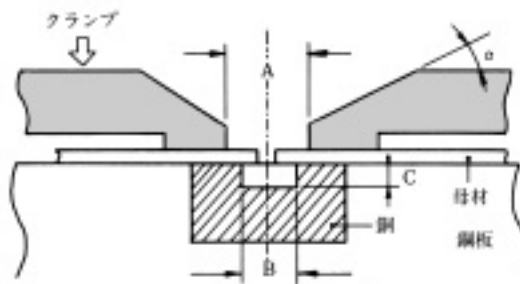


図7・16 クランプ治具回りの概略

オ. 余盛ビードを削除する場合のシールドガス、ワイヤ材質の選び方

SPC材をCO₂ (MAG) 溶接した後、余盛をグラインダ仕上げする場合は溶接金属は軟かい方が作業能率が向上する。

その様なとき注意することはワイヤ材質を適正なものを選ぶと同時にAr-CO₂系のシールドガスではCO₂リッチにした方が溶接金属のMn、Si量が少なくなるので硬度が下がり、余盛を削除しやすくなる。

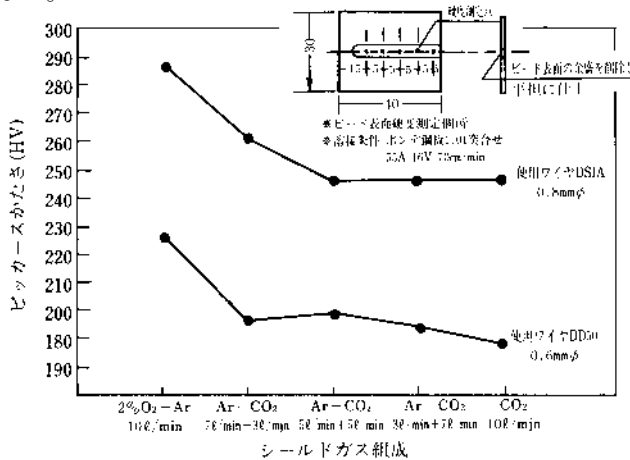


図7-17 シールドガスの組成、ワイヤの種類と溶接金属の硬さについて

カ. 薄板へり継手溶接における不連続ビード発生対策

薄鋼板 t1.2~t2.3迄のへり継手溶接において、CO₂溶接あるいは通常のMAG溶接を行なうと不連続ビードが発生しやすい。

その対策としては、シールドガスの選択に注意することが望ましい。

へり継手の場合アークの集中は、突合せ継手等に比べてより容易に得ることができる。そこでCO₂100%あるいはCO₂-Ar系のシールドガスを使用するとき、より強力なアーク集中（熱集中）が生じ溶融金属の溶融—凝固に不連続性を生じやすい。とくに溶接速度が100cm/minを越えるとその傾向が顕著にみられ~~~~状の溶接ビードとなりやすい。

そこでArに微量のCO₂（10%以下）あるいはArに5%以下のO₂を混合させたシールドガスを使用することにより、へり継手MAG溶接条件範囲は飛躍的に広がる。

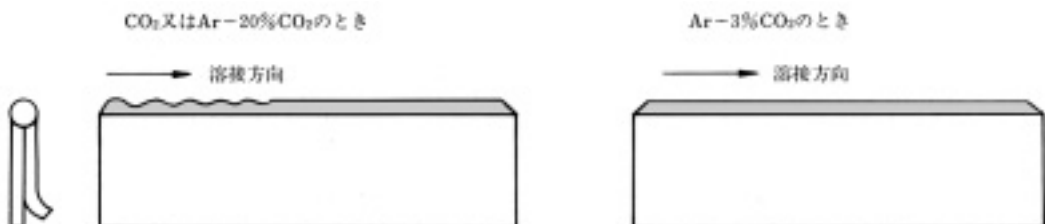


図7-18 薄板へり継手溶接とシールドガスの選定

キ. 立向下進溶接

立向下進溶接では、下向姿勢に比べ、ビード外観は良好となるが、湯の先行に伴う溶込み不足、融合不良を生じやすく、継手強度不足になりやすい傾向にある。

t2.3-t2.3SPC材の重ねすみ肉CO₂立向下進溶接例についてみると、

- ・ 電流・重圧の適用範囲はトーチ角度 α の影響が大きく $\alpha = 0^\circ$ 、 15° では条件裕度も広いが 30° では狭くなる。
- ・ ビード形状は板間ギャップGが1.0mmのとき凹みビードとなり、のど厚不足になる。
- ・ スパッタ降下量は $\alpha = 30^\circ$ のとき急増する。

(ア) 調査条件

t2.3、t2.3 SPCC

溶接ワイヤ DS1A ϕ 1.2

シールドガス CO₂ 15 l/min

溶接機 CO₂インバータ機
350A形

ワイヤ突出し長さ 18mm

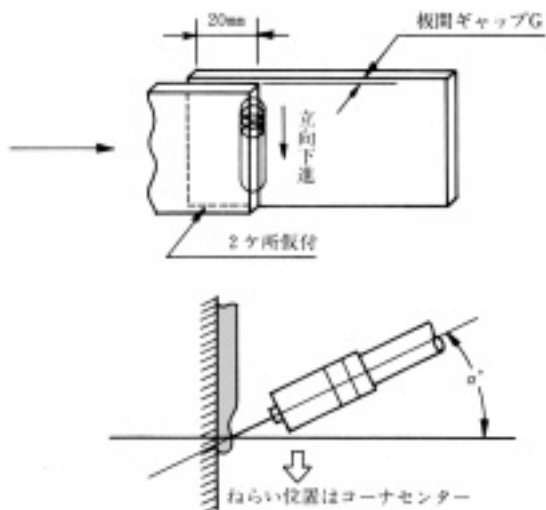
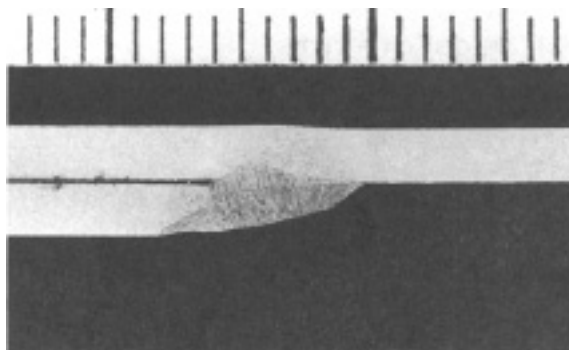


図7・19 薄板立向下進溶接

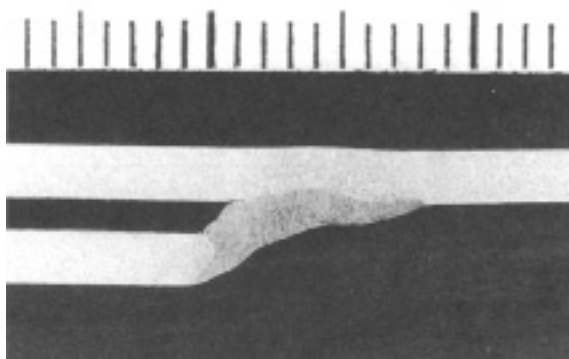
(イ) 溶接条件と結果例

表7・10 調査結果

NO	α°	G ^{mm}	溶接条件			結果		
			A	V	cm/min	外観	強度	スパッタ降下量(gr/100mmビード)
1	0	0	150	20	60	○	○	0.1
2	0	0	170	21	80	○	○	0.1
3	0	1	150	20	60	○	○	0.3
4	0	1	170	21	80	○	○	0.2
5	15	0	170	21	60	○	○	0.4
6	15	0	190	23	80	○	○	0.6
7	15	1	170	21	60	凹大	○	0.3
8	15	1	190	23	80	凹大	○	0.3
9	30	0	190	22	85	○	○	0.6
10	30	1	190	22	85	凹大	△	2.2



No.2 マクロ組織 (良好)



No.10 マクロ組織 (のど厚不足)

写真7・1 立向下進溶接ビード断面形状例

ク. 薄板 (t3.2以下) の全姿勢溶接

標準条件：

- 溶接姿勢 下進溶接
- 溶接条件 電流 80A～140A
- 電圧 18V～21V
- ルートギャップなし
- ワイヤ径 0.9、1.0、1.2mm

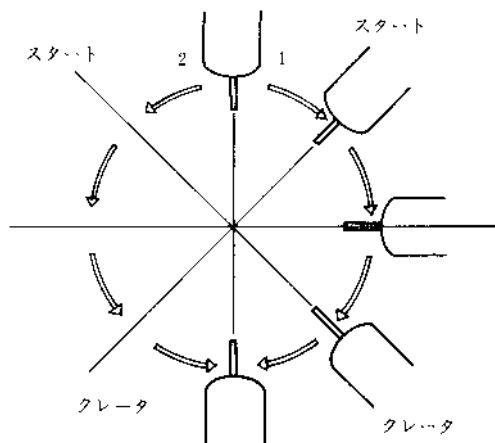


図7・20

(4) 材料規格

ア. 一般構造用圧延鋼材 (JIS G3101-1995より抜粋)

表7-11

種類の記号	機械的性質				化学成分 (%)				
	引張強さ N/mm ²	降 伏 点 N/mm ²		伸 び %		C	Mn	P	S
SS330	330~430	t≤16 16≤t≤40 t≥40	≥205 ≥195 ≥175	5≤t≤16 16≤t≤50	≥21 ≥26	-	-	≤0.050	≤0.050
SS400	400~510	t≤16 16≤t≤40 t≥40	≥245 ≥235 ≥215	5≤t≤16 16≤t≤50	≥17 ≥21				
SS490	490~610	t≤16 16≤t≤40 t≥40	≥285 ≥275 ≥255	5≤t≤16 16≤t≤50	≥15 ≥19				
SS540	≥540	t≤16 16≤t≤40	≥400 ≥390	5≤t≤16 16≤t≤40	≥13 ≥17				

イ. 自動車構造用熱間圧延鋼板及び鋼帯 (JIS G3113-1990より抜粋)

表7-12

種類の記号	引 張 試 験										曲げ試験			化学成分 %		
	引張強さ N/mm ²	降 伏 点 N/mm ²			伸 び % (圧延方向)						曲 げ 角 度	内側半径		試 験 片	P	S
		厚 さ 6 mm 未 満	厚 さ 6 mm 以 上 8 mm 未 満	厚 さ 8 mm 以 上 14 mm 以 下	5号試験片					1 A号 試験片		厚 さ 2.0mm 未 満	厚 さ 2.0mm 以 上			
					厚 さ 1.6mm 以 上 2.0mm 未 満	厚 さ 2.0mm 以 上 2.5mm 未 満	厚 さ 2.5mm 以 上 3.15mm 未 満	厚 さ 3.15mm 以 上 4.0mm 未 満	厚 さ 4.0mm 以 上 6.3mm 未 満							
SAPH310	≥310	≥(185)	≥(185)	≥(175)	≥33	≥34	≥36	≥38	≥40	≥26	180°	密着	厚さの 1.0倍	3号 圧延 方向 に 直 角 方 向	≤0.040	≤0.040
SAPH370	≥370	≥225	≥225	≥215	≥32	≥33	≥35	≥36	≥37	≥25	180°	厚さの 0.5倍	厚さの 1.0倍			
SAPH400	≥400	≥255	≥235	≥235	≥31	≥32	≥34	≥35	≥36	≥24	180°	厚さの 1.0倍	厚さの 1.0倍			
SAPH440	≥440	≥305	≥295	≥275	≥29	≥30	≥32	≥34	≥34	≥22	180°	厚さの 1.0倍	厚さの 1.5倍			

ウ. 冷間圧延鋼板及び鋼帯 (JIS G3141-1996より抜粋)

表7-13

種類の記号	引張強さ N/mm ²	伸 び %					
	呼び厚さによる区分 mm						
	0.25以上	0.25以上 0.40未満	0.40以上 0.60未満	0.60以上 1.0未満	1.0以上 1.6未満	1.6以上 2.5未満	2.5以上
SPCC	(≥275)	(≥32)	(≥34)	(≥36)	(≥37)	(≥38)	(≥39)
SPCD	≥270	≥34	≥36	≥38	≥39	≥40	≥41
SPCE	≥270	≥36	≥38	≥40	≥41	≥42	≥43

備考

1. SPCCは原則として引張試験値は適用しない。ただし、注文者から指定された場合 (SPCCT) は括弧内の数値を適用する。
2. 厚さ0.60mm未満については、原則として引張試験を省略する。

工. 機械構造用炭素鋼鋼管 (JIS G3445—1988より抜粋)

表7・14

種類	記号	引張試験				化学成分%						
		引張強さ N/mm ²	降伏点 又は 耐力 N/mm ²	伸び%		C	Si	Mn	P	S	Nb 又は V	
				4号試験片 11号試験片 12号試験片 縦方向	4号試験片 5号試験片 横方向							
11種	A	STKM 11 A	≥290	—	≥35	≥30	≤0.12	≤0.35	≤0.60	≤0.040	≤0.040	—
12種	A	STKM 12 A	≥340	≥175	≥35	≥30	≤0.20	≤0.35	≤0.60	≤0.040	≤0.040	—
	B	STKM 12 B	≥390	≥275	≥25	≥20						
	C	STKM 12 C	≥470	≥355	≥20	≥15						
13種	A	STKM 13 A	≥370	≥215	≥30	≥25	≤0.25	≤0.35	0.30~0.90	≤0.040	≤0.040	—
	B	STKM 13 B	≥440	≥305	≥20	≥15						
	C	STKM 13 C	≥510	≥380	≥15	≥10						
14種	A	STKM 14 A	≥410	≥245	≥25	≥20	≤0.30	≤0.35	0.30~1.00	≤0.040	≤0.040	—
	B	STKM 14 B	≥500	≥355	≥15	≥10						
	C	STKM 14 C	≥550	≥410	≥15	≥10						
15種	A	STKM 15 A	≥470	≥275	≥22	≥17	0.25~0.35	≤0.35	0.30~1.00	≤0.040	≤0.040	—
	C	STKM 15 C	≥580	≥430	≥12	≥7						
16種	A	STKM 16 A	≥510	≥325	≥20	≥15	0.35~0.45	≤0.40	0.40~1.00	≤0.040	≤0.040	—
	C	STKM 16 C	≥620	≥460	≥12	≥7						
17種	A	STKM 17 A	≥550	≥345	≥20	≥15	0.45~0.55	≤0.40	0.40~1.00	≤0.040	≤0.040	—
	C	STKM 17 C	≥650	≥480	≥10	≥5						
18種	A	STKM 18 A	≥440	≥275	≥25	≥20	≤0.18	≤0.55	≤1.50	≤0.040	≤0.040	—
	B	STKM 18 B	≥490	≥315	≥23	≥18						
	C	STKM 18 C	≥510	≥380	≥15	≥10						
19種	A	STKM 19 A	≥490	≥315	≥23	≥18	≤0.25	≤0.55	≤1.50	≤0.040	≤0.040	—
	C	STKM 19 C	≥550	≥410	≥15	≥10						
20種	A	STKM 20 A	≥540	≥390	≥23	≥18	≤0.25	≥0.55	≤1.60	≤0.040	≤0.040	≤0.15

2 中厚板・高張力鋼・中炭素鋼の溶接

(1) 溶接の考え方

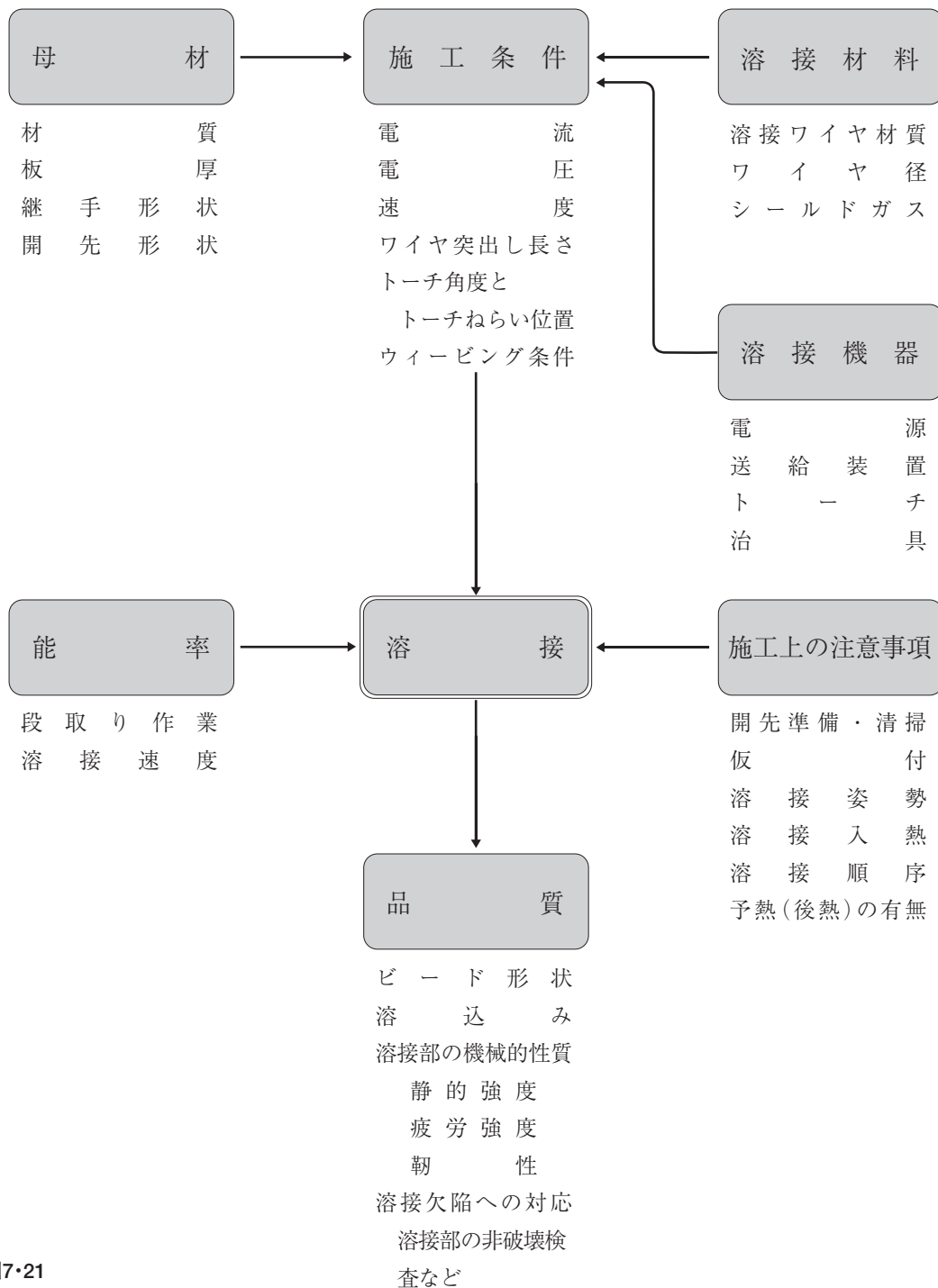


図7・21

(2) 材料規格

ア. 溶接構造用圧延鋼材 (JIS G3106—1999より抜粋)

表7-15

種類の記号	機械的性質						化学成分 (%)					
	降伏点 N/mm ²			引張強さ N/mm ²	伸 び %		シャルピー 吸収 エネルギー J	C	Si	Mn	P	S
	t≤16	16<t≤40	40<t≤75		t≤100	5<t≤16						
SM400A							—	t≤50 ≤0.23 50<t≤200 ≤0.25	—	≥2.5×C	≤0.035	≤0.035
SM400B	≥245	≥235	≥215	400~510	≥18	≥22	≥27	t≤50 ≤0.20 50<t≤200 ≤0.22	≤0.35	0.60~1.40	≤0.035	≤0.035
SM400C							≥47	t≤100 ≤0.18	≤0.35	≤1.40	≤0.035	≤0.035
SM490A							—	t≤50 ≤0.20 50<t≤200 ≤0.22	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM490B	≥325	≥315	≥295	490~610	≥17	≥21	≥27	t≤50 ≤0.18 50<t≤200 ≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM490C							≥47	t≤100 ≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM490YA							—					
SM490YB	≥365	≥355	≥335	490~610	≥15	≥19	≥27	t≤100 ≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM520B							≥27					
SM520C	≥365	≥355	≥335	520~640	≥15	≥19	≥47	t≤100 ≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035
SM570	≥460	≥450	≥430	570~720	—	—	≥47	t≤100 ≤0.18	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035

注) 1. シャルピー吸収エネルギーの試験温度はSM570のみ-5℃で他は0℃である。
2. 伸びは1A号試験片についての値を示す。

イ. ボイラ及び圧力容器用炭素鋼及びモリブデン鋼鋼板 (JIS G3103—1987より抜粋)

表7-16

種類の記号	機械的性質			化学成分 (%)					
	引張強さ N/mm ²	降伏点 N/mm ²	伸 び %	C	Si	Mn	P	S	Mo
SB410	410~550	≥225	≥21	t≤25 ≤0.24	0.15~0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	—
				25<t≤50 ≤0.27					
				50<t≤200 ≤0.30					
SB450	450~590	≥245	≥19	t≤25 ≤0.28	0.15~0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	—
				25<t≤50 ≤0.31					
				50<t≤200 ≤0.33					
SB480	480~620	≥265	≥17	t≤25 ≤0.31	0.15~0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	—
				25<t≤50 ≤0.33					
				50<t≤200 ≤0.35					
SB450M	450~590	≥255	≥19	t≤25 ≤0.18	0.15~0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	0.45~0.60
				25<t≤50 ≤0.21					
				50<t≤100 ≤0.23					
				100<t≤150 ≤0.25					
SB480M	480~620	≥275	≥17	t≤25 ≤0.20	0.15~0.30	≤0.90	≤0.035	≤0.040	0.45~0.60
				25<t≤50 ≤0.23					
				50<t≤100 ≤0.25					
				100<t≤150 ≤0.27					

注) 伸びは1A号試験片についての値を示す。

工. 溶接構造用高張力鋼板 (WES3001-1996)

表7・17

種類 記号	化学成分(%以下)			引張試験				曲げ試験		Vシャルピー衝撃試験			溶接熱影響部最高硬さ						
	C	P	S	耐力 (N/ mm ² 以上)	引張 強さ (kgf/ mm ²)	板厚 (mm)	試 験 片	伸 び % 以上	内側半径		板厚 (mm)	試 験 温 度 (℃)	吸 収 エ ネ ル ギ ー (J)	Hmax HV (10kg) 以下		最高硬さ試験を省略 しうるCeq(%以下)			
									t < 32	32 ≤ t				剛 質	非剛質	剛 質	非剛質	t ≤ 50	50 < t ≤ 75
														炭素当量Ceq = C + $\frac{Mn}{6}$ + $\frac{Si}{24}$ + $\frac{Ni}{40}$ + $\frac{Cr}{5}$ + $\frac{Mo}{4}$ + $\frac{V}{14}$					
HW355	0.20	0.030	0.025	355	520 16 < t 640 20 < t	t ≤ 16 1A号 1A号 4号	14 17 23		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	+10 +10 0 -5	— 47 47 47	—	—	390	—	—	0.47
390	0.20	0.030	0.025	390	560 16 < t 680 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	22 30 22		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	+10 +10 0 -5	— 47 47 47	—	—	400	—	—	0.49
450	0.18	0.030	0.025	450	590 16 < t 710 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	20 28 20		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	+5 +5 -5 -10	— 47 47 47	380	400	410	0.44	0.48	0.50
490	0.18	0.030	0.025	490	610 16 < t 730 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	19 27 19		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	0 0 -15 -25	— 47 47 47	390	410	420	0.46	0.50	0.54
550	0.18	0.030	0.025	550	670 16 < t 800 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	18 26 18		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	0 0 -10 -30	— 47 47 47	420	—	—	0.53	—	—
620	0.18	0.030	0.025	620	710 16 < t 840 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	17 25 17		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	-5 -5 -15 -20	— 47 47 47	435	—	—	0.57	—	—
685	0.18	0.025	0.020	685	780 16 < t 930 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	16 24 16		1.5	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	-10 -10 -20 -25	— 47 47 47	450	—	—	0.63	—	—
785	0.18	0.025	0.020	785	880 16 < t 1030 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	14 21 14		2.0	2.0	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	-15 -15 -25 -30	— 47 47 47	470	—	—	0.69	—	—
885	0.18	0.025	0.020	885	950 16 < t 1130 20 < t	t ≤ 16 5 5 4	12 19 12		2.0	2.5	t ≤ 12 13 < t ≤ 20 20 < t ≤ 32 32 < t ≤ 50	-25 -25 -30 -40	— 47 47 47	480	—	—	0.76	—	—
(注)	13 < t ≤ 75 の鋼板について規定							試験片：1号		2mmVノッチ									

(3) 溶接ワイヤの選定

ア. ワイヤと対象母材

表7・18

ワイヤ	対象		
DS1	HT50~HT55	突合せ	CO ₂ 用
DS2、DS1-SP	HT50~HT55	すみ肉	CO ₂ 用
DS50E	HT55~HT60	低温靱性重視	CO ₂ 用
DS60	HT60~HT70	及び 中炭素鋼用	CO ₂ 用
DS80	HT80		CO ₂ 用
DD50S	HT50~HT55	突合せ、すみ肉	MAG用
DS60A	HT60	突合せ、すみ肉	MAG用

イ. 溶接強度からみたワイヤの選定

表7・19

母材強度	CO ₂ 溶接	MAG溶接
≧490N/mm ²	DS1、DS2、DS1-SP	DD50S
≧570N/mm ²	DS50E、DS60A	DS1、DS2
≧690N/mm ²	DS60	DS50E、DS60A
≧780N/mm ²	DS80	DS60

(4) 溶接施工上の基本的事項

ア. 溶接施工準備

(ア) 開先加工、清掃

表7・20 突合せ継手の標準的開先形状

開先形状		板厚 (mm)	溶接姿勢	裏あての有無	開先角度a (度)	ルート間隔G (mm)	ルート面 R (mm)
I形		1.2~4.5	F	なし	—	0~2	T
		9以下	F	あり	—	0~3	T
		12以下	F	なし	—	0~2	T
レ形		60以下	F	なし	45~60	0~2	0~5
				あり	25~50	4~7	0~3
			V	なし	45~60	0~2	0~5
				あり	35~50	4~7	0~2
			F	なし	40~50	0~2	0~5
				あり	30~50	4~7	0~3
V形		60以下	F	なし	45~60	0~2	0~5
				あり	35~60	0~6	0~3
		50以下	V	なし	45~60	0~2	0~5
				あり	35~60	3~7	0~2
K形		100以下	F	なし	45~60	0~2	0~5
			V	なし	45~60	0~2	0~5
			H	なし	45~60	0~3	0~5
X形		100以下	F	なし	45~60	0~2	0~5
			V	なし	45~60	0~2	0~5

注) 1. 溶接姿勢 F: 下向 V: 立向 H: 横向
 2. 裏あてなしの場合は原則として裏はつりを行う。

開先部の塵埃、汚れ、油付着、ペイント付着などはブローホール、割れの不具合につながるので、溶接前に清掃することが望ましい。

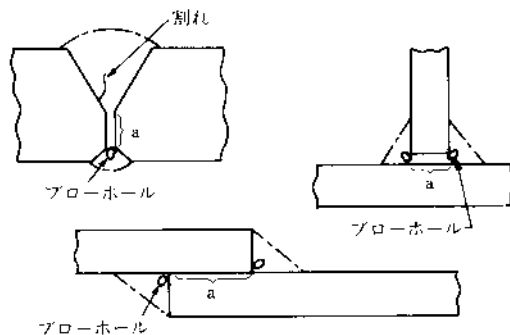
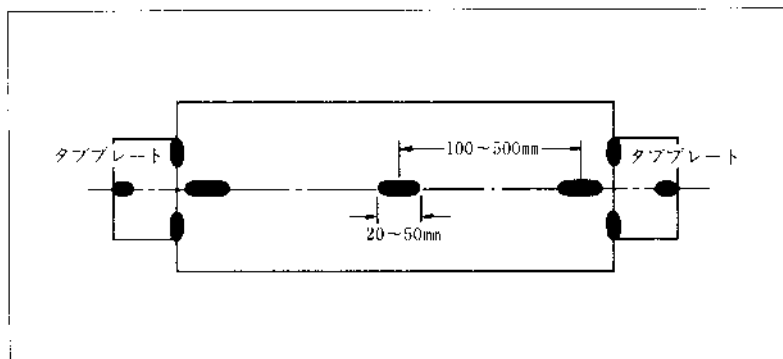


図7・22 開先部の清掃

(イ) 仮付

中板、厚板の場合は図7・23のように仮付長さを薄板に比べ長くピッチはやや大きくする。



注)両端(端部)にタブピースを取付ける方がよい。

図7・23

イ. 溶接操作

(ア) 中・厚板溶接におけるトーチは操作法の種類と用途

表7・21

種類	用途
	薄板、厚板初層
	ギャップの小さい場合 余盛を少なくする場合
	2層目以後のウィービング、厚板など
	すみ肉、多層の場合の初層
	ギャップの大きい場合

(イ) 各板厚に対するルートギャップの許容範囲 (裏当てなしの場合)

表7・22

板厚 (mm)	ルートギャップ (mm)
4.5	1.6以下
6.0	1.8以下
10.0	2.0以下

ルートギャップがとくに大きい場合のトーチ操作法

- ・ルートギャップ部分に直接アークをあてずにギャップの両端で溶かした溶融プールを流しギャップを埋めていく。
- ・ウィーピング+断続溶接法の採用

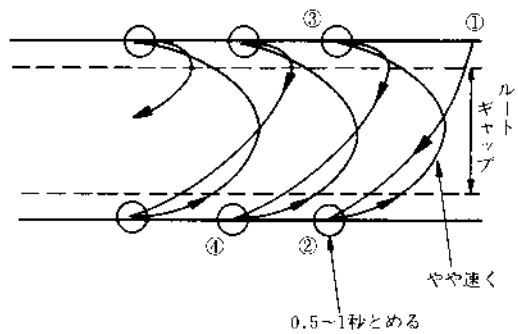


図7・24

(ウ) トーチ角度とねらい位置

- ・多層溶接例 (1) ……下向すみ肉の場合 (中厚板)

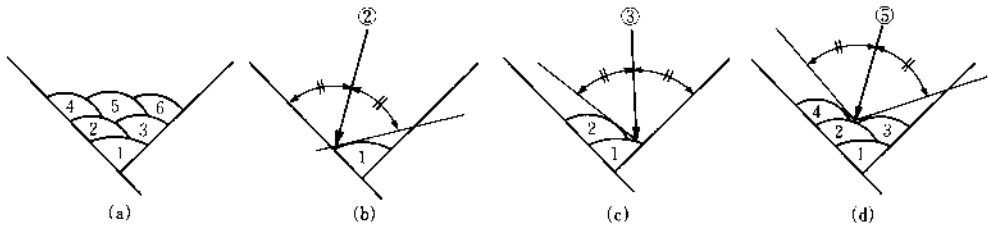


図7・25

- ・多層溶接例 (2) ……水平すみ肉溶接の場合 (中厚板)

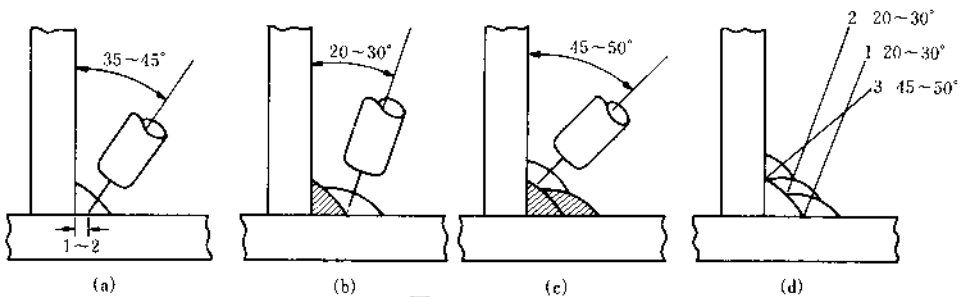


図7・26

(工) 開先形状と溶接施工

・開先角度が狭い場合

トーチを後退法で、初層はストレート操作にて行い、層を重ねるにしたがってウィーピング法で行う。

(注)電流が高過ぎるとワレが発生するおそれがあるので注意する。

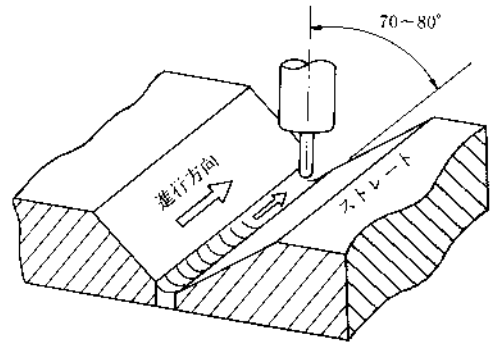


図7・27

・開先角度が大きい場合

トーチは前進法で、ウィーピング操作を行なう。

(注)初層は、小刻みウィーピング、層を重ねるにしたがって右図の要領のウィーピング法をとる。

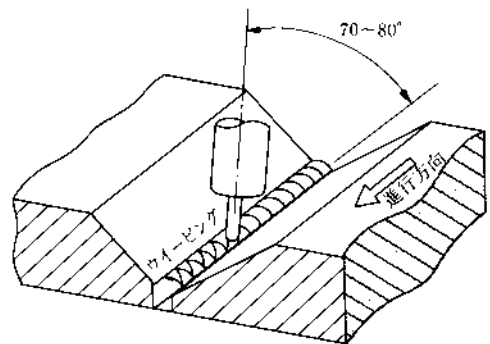


図7・28

(ウィーピングの例)

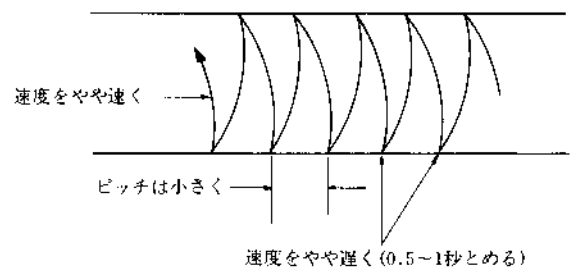


図7・29

(5) 溶接施工上の留意点

高張力鋼、炭素鋼、合金鋼は一般に炭素当量が高いため熱影響部の硬化、調質高張力鋼に於いては熱影響部の軟化、溶接金属の靱性、残留応力などの問題があるので、溶接施工に当たっては十分管理する必要がある。

ア. 熱影響部の硬化と対応

(ア) 炭素当量と熱影響部の最高硬さ (簡便法)

割れ防止の最高硬さの目安：

$$HV_{max} = 350 \text{以下}$$

最高硬さ $HV_{max} = 350$ 以下とする予熱温度の目安：

$$\text{予熱温度} (^\circ\text{C}) = (C_{eq} \times 500) - 100$$

C_{eq} ：炭素当量

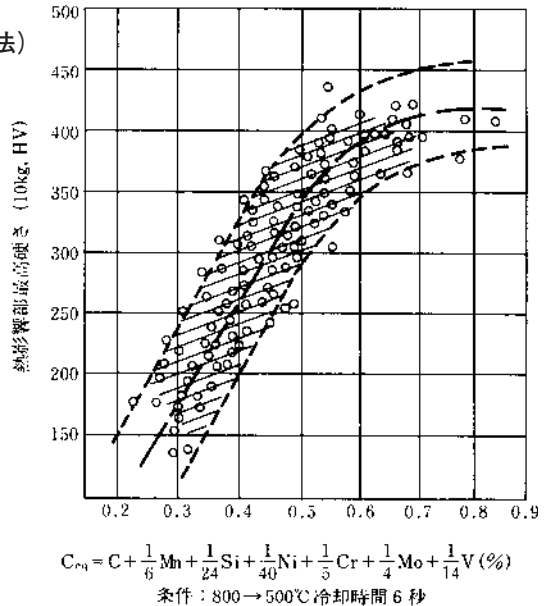


図7・30

(イ) SH-CCT図 (溶接熱影響部連続冷却変態図) と冷却時間を推定するノモグラフから予熱温度を決定する方法

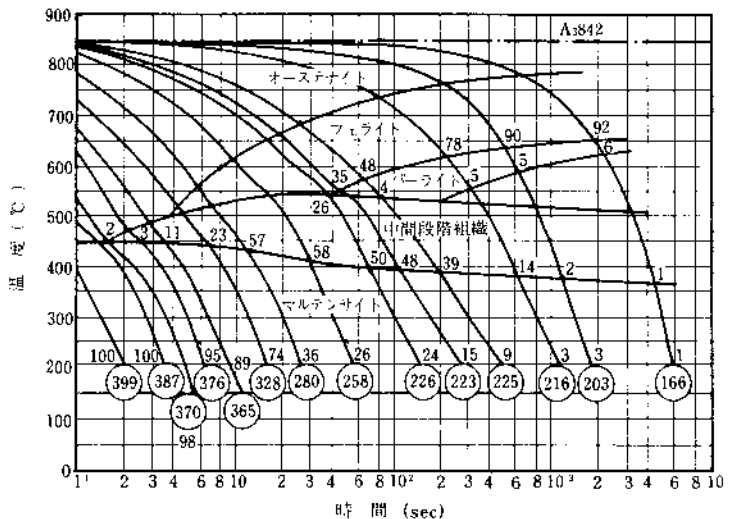


図7・31 590N/mm²高張力鋼

注：図中の数字は組織のパーセントを示し、○内の数字はビッカース硬さを示す。

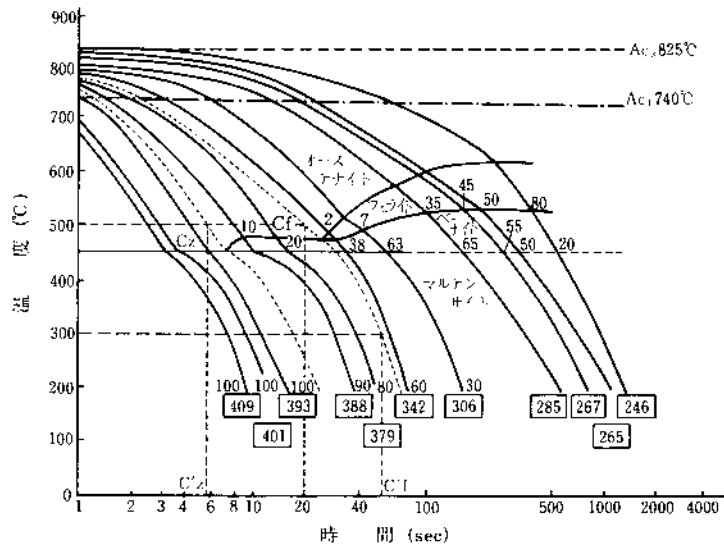


図7・32 780N/mm²高張力鋼

冷却曲線におけるA₃～500℃（または300℃）迄の冷却時間を臨界冷却時間C_fという。このC_fより遅い冷却速度の溶接時間を割れ防止の目安とする。

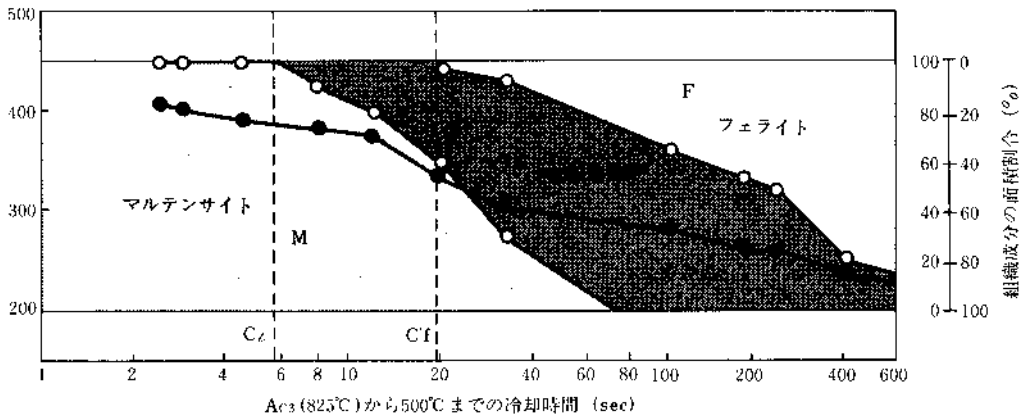
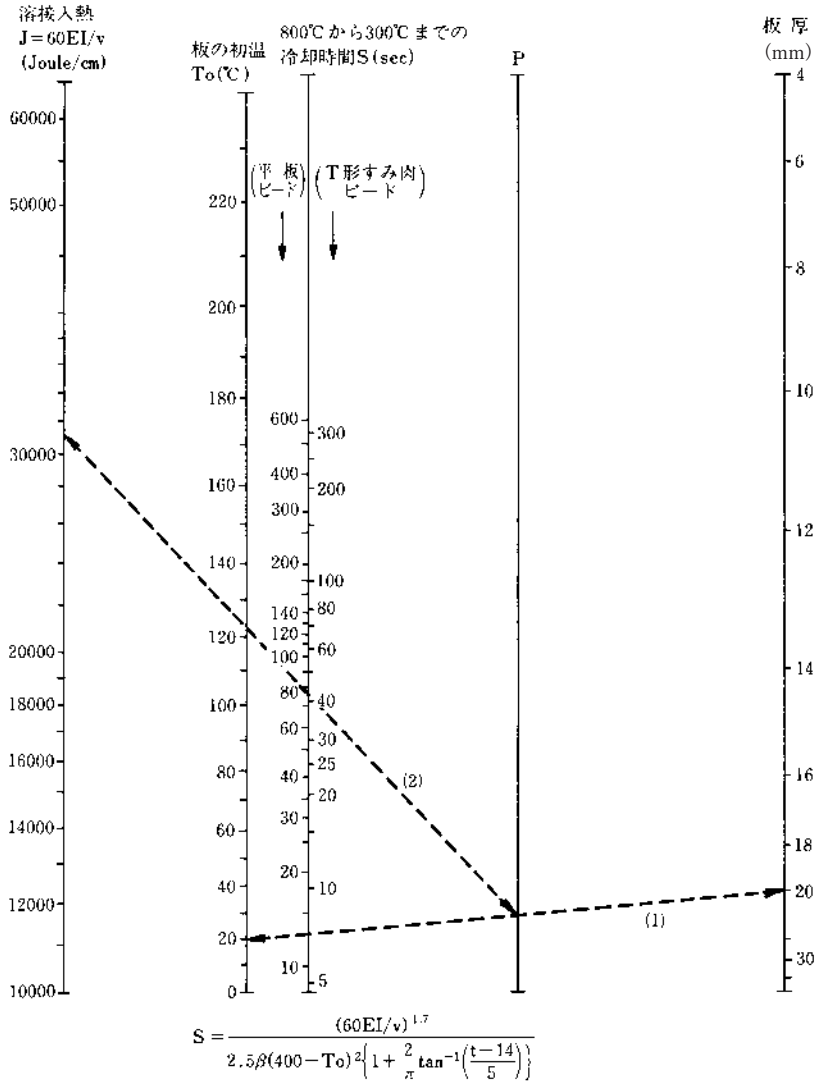


図7・33 HT80高張力鋼のかたさ、組織成分と冷却時間との関係（稲垣、宇田）



S : 800°C から 300°C までの冷却時間 E : アーク電圧 (V)、I : 溶接電流 (A)
 V : 溶接速度 (cm/min)、To : 予熱温度 (°C)、t : 板厚
 β : 定数 (平板ビードには 1、T形すみ肉には 1.8)

図7・34 CO₂アーク溶接における800°C→300°Cまでの冷却時間を推定するノモグラフ

SH CCT図より、800°C から300°C までの臨界冷却時間C'fを求める。



ノモグラフを用い、C'f 冷却時間と溶接条件(溶接入熱)を結ぶ……直線(2)
 直線(2)と補助線Pとの交点と板厚を結ぶ……直線(1)



直線(1)より板の初温(予熱温度)を求める。

イ. 調質高張力鋼の熱影響部の軟化への対応

溶接入熱量が大きくなるとボンド部の靱性が低下するので、入熱量が過大にならないよう施工管理が必要で図7・35はその一例である。

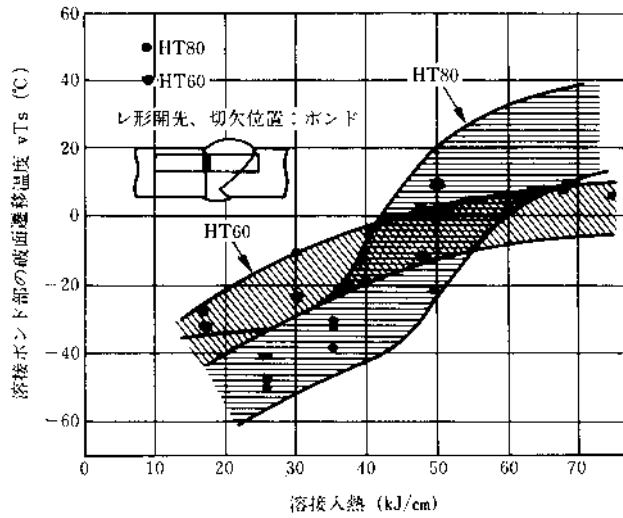


図7・35

ウ. 残留応力の緩和

溶接は母材を局部的に急速加熱して膨脹させ続いて冷却して、収縮を生じさせるが、この加熱冷却は局部的であるため、母材の膨脹収縮、溶接金属の凝固収縮によって、溶接部に残留応力が発生する。

(ア) 多層溶接による緩和

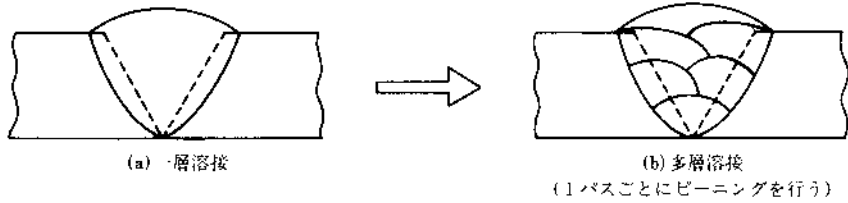


図7・36

(イ) 狭開先溶接による緩和

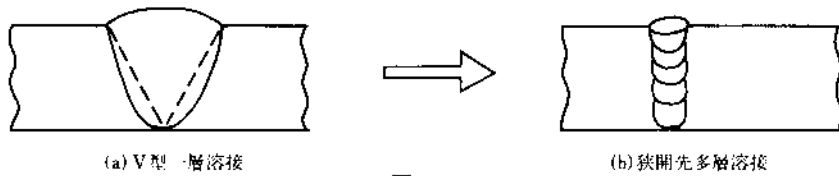


図7・37

(ウ) 応力除去焼なましによる緩和

表7・23 特殊鋼の焼なまし温度と保持時間の関係

材 料	温 度 (°C)	時間 (h) (厚さ25.4mmにつき)
炭素鋼	593~677 炉冷	1
1/2% Mo 鋼	649~718 〃	2
1% Cr-1/2% Mo 鋼	677~732 〃	2
2% Cr-1/2% Mo 鋼	704~746 〃	2
2 1/4% Cr-1% Mo 鋼	718~760 〃	2
5% Cr-1/2% Mo 鋼 (type502)	732~760 〃	2
9% Cr-1% Mo 鋼	746~774 〃	2
12% Cr 鋼 (type410)	704~732 〃	2
12% Cr 鋼 (type405)	732~760 〃	2
15% Cr 鋼 (type430)	760~788 〃	4
Mn 鋼 (オーステナイト)	1038~1093 〃	1
Cr-Ni 鋼 (オーステナイト)	1038~1093 空冷	1
Cr-Ni-Mo 鋼 (低合金)	593~677 〃	1
2~5% Ni 鋼	593~621 炉冷	1
9% Ni 鋼	538~593 〃	2
モネル	593~677 〃	1
インコネル	593~677 〃	1
ニッケル	593~677 〃	1
鋳 鉄	566~677 〃	1

(工) 溶接金属の高温割れ感受性の低減

溶接金属の高温割れ感受性 (Hot Crack Sensitivity)

$$H. C. S = \frac{C[S + P + (Si/25) + (Ni/100)] \times 10^3}{3 Mn + Cr + Mo + V} \dots\dots \text{Wilkinson}$$

$$H. C. S = \frac{C[S + P + (Si/25) + (Ni/30)]}{3 Mn + Cr + 70Ti + Mo} \dots\dots \text{渡辺ら}$$

Ti入りワイヤ、Mn-Mo系ワイヤは高温割れ感受性が低い。

工. 溶接金属の靱性

(ア) 溶接入熱と靱性

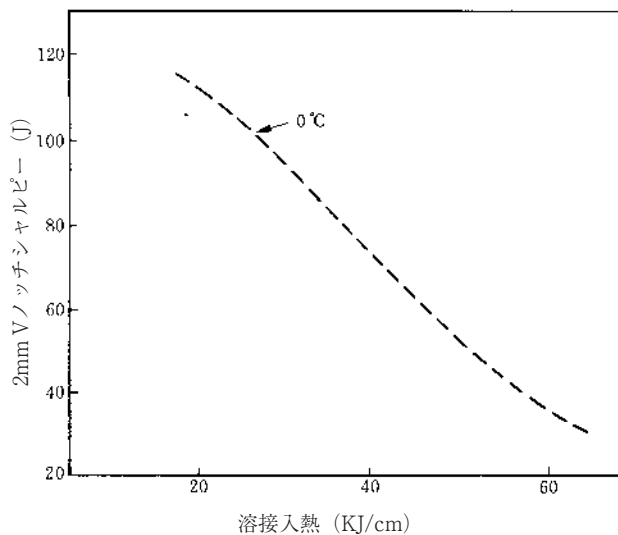


図7-38

$$\text{溶接入熱 (KJ/cm)} = \frac{60 \times I(\text{A}) \times E(\text{V})}{1000S}$$

- I : 溶接電流 (A)
- E : アーク電圧 (V)
- S : 溶接速度 (cm/min)

(イ) シールドガスと靱性

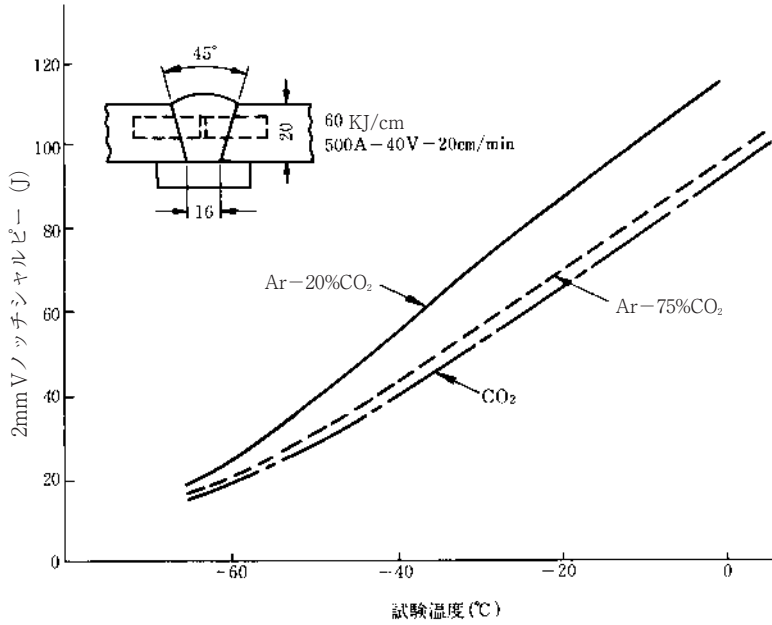


図7・39

(ウ) 溶接ワイヤと靱性

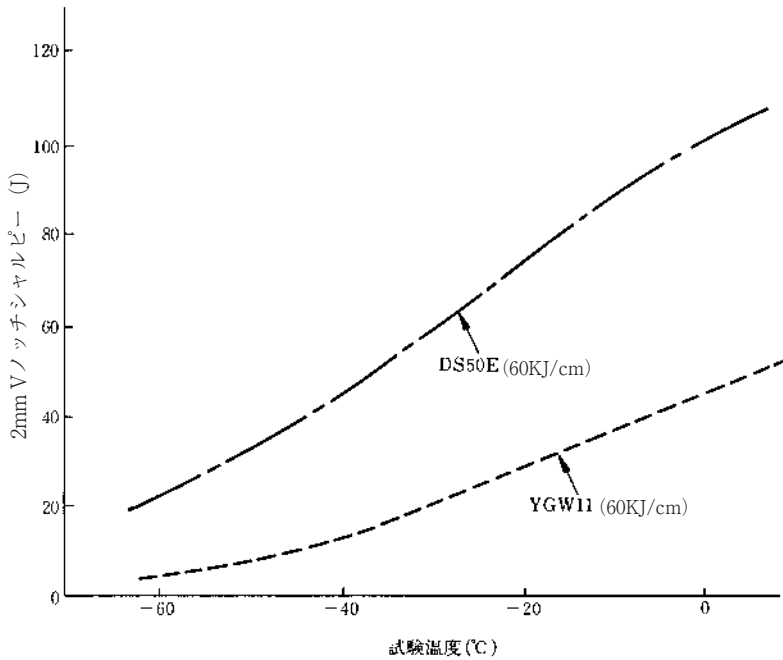


図7・40

3 表面処理鋼板の溶接

(1) 塗装鋼板の溶接

- ア. 鋼板の防錆として、ジंक系の防錆処理が行われているが、CO₂、MAG溶接に当っては、できる限り防錆塗料を研削、またはガスバーナにて焼却の上、溶接施工することが溶接欠陥の発生対策となる。
- イ. 塗装鋼板のまま溶接する場合は次の問題点が発生し易い。
 - ブローホール、ピットの発生が多い。
 - スパッタの発生が多い。
 - ビード外観が悪い。
 - 溶接ヒュームの発生が多く有害である。
- ウ. 溶接ワイヤとシールドガス
 - CO₂ガス=DS1Z
 - MAGガス=DD50Z

4 ステンレス鋼の溶接

(1) ステンレス鋼の分類と用途

表7・24 基本的なステンレス鋼の分類と用途例

分類		主成分 (Wt%)				用途例
組織	成分	C	Cr	Ni	その他	
フェライト	Cr系	<0.08	10~14	—	Al、Ti	石油工業、自動車排ガス部品、ポンプ部品 建築材、家庭厨器具、食器類 建築用、家庭用、自動車外装用 化学工業用
		<0.12	14~16	—	—	
		℥	16~20	—	—	
		<0.02	20~30	℥	—	
マルテンサイト	Cr系	0.15~0.3	10~16	(1~2)	—	構造用部品、航空機用材、建築用材、刃物、 ナイフ、医科材料、タービンプレード、ノズル、 工具、ダイス、ゲージ、耐塵耗耐食用部品、刃物
		0.3~0.5	℥	—	—	
		>0.5	16~18	—	—	
オーステナイト	Cr-Ni系	<0.15	16~20	6~10	—	建築、車両、厨房器具、船舶用部材、航空機用材、 化学工業・製紙・精油工業用材、航空機用材、その他 同上 (耐粒界腐食性) 同上 (特に耐硫酸、亜硫酸、有機酸工業用) 同上 (耐粒界腐食性)
		<0.08	℥	8~14	—	
		℥	℥	℥	Ti、Nb	
		℥	℥	℥	Mo	
	<0.03	℥	℥	—		
高Cr-Ni系	<0.08	22~24	12~15	—	化学工業用、耐熱性及び耐酸化性 同上	
℥	24~26	19~22	—			

(2) ステンレス鋼の特徴

表7・25 各系ステンレス鋼の特徴

	マルテンサイト系	フェライト系	オーステナイト系
自 硬 性	自硬性をもっている	自硬性なし	自硬性なし
組 織 変 化	溶接により結晶粒粗大化	結晶粒粗大化 475℃ ぜい化 α相ぜい化	やや粗大化
電気比抵抗	炭素鋼の3倍以上	炭素鋼の3倍以上	炭素鋼の4倍以上
熱 伝 導 率	℥ 1/2以下	℥ 1/2以下	℥ 1/3以下
炭化物析出	—	—	要注意

(3) 溶接施工の基礎

ア. 溶接方法の選択

ステンレス鋼を溶接するには、ステンレス鋼特有の性質を熟知して、軟鋼やHT50を溶接する場合には必要ないような準備、テクニックに慣れることである。

ステンレス鋼には多くの種類があり、溶接品質は各鋼種で変わる。従って、ステンレス鋼の物理的及び機械的性質、特に膨脹係数、熱伝導度、電気抵抗、熔融温度などに対する知識が必要になる。

表7・26 ステンレス鋼の溶接難易表

区分	溶接方法	マルテンサイト系	フェライト系	オーステナイト系	析出硬化	概略適用板厚 (mm)
		Cr鋼	高Cr鋼	Cr-Ni鋼	Cr-Ni鋼	
溶	被覆アーク	B~C	B	A~B	A~C	t>0.8
	TIG	B	B	A	A~C	0.5~3
接	MIG	B	B	A	A~C	t>6
	サブマージアーク ガス	B C	B C	B B	B~C B~C	t>6 t<1
ろう付		C	C	B	B	t<6
抵抗	スポット	B	A	A	A~B	0.15~3
	シーム	C	B	A	A~B	0.15~3
	フラッシュ	B	A	A	A~B	0.25~15
ガス圧接		B~C	B~C	B	B~C	—

<備考> A……最適 比較的容易にすぐれた溶着部が得られ、広く実用化されている。
 B……やや適 いくぶん困難であるが注意して実用化されている。
 C……難 特殊な注意を必要とし、まれにのみ使用される。

表7・27 炭素鋼とステンレス鋼の物理的性質の違い

	炭素鋼	マルテンサイト系	フェライト系	オーステナイト系
熱伝導率 10^{-2} W/m·k	約 46	約 25	約 25	約 17
熱膨張係数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	約 11	約 11	約 11	約 17
電気抵抗 $\mu\Omega\text{-cm}$	15	57	60	72
磁性	有	有	有	無

表7・28 ステンレス鋼と炭素鋼の機械的性質の一例

	炭素鋼 (SS400)	マルテンサイト系 (SUS410)		フェライト系 (SUS430)	オーステナイト系 (SUS304)
熱処理条件	—	焼入れ	焼なまし	焼なまし	固溶化熱処理
伸び (%)	30	15	25	30	60
引張強さ (N/mm ²)	440	1370	490	520	590
アイゾット衝撃値 (J)	—	49	127	39	147
硬さ (Hv)	150	400	150	165	160

オーステナイト系ステンレス鋼の熱膨張係数は炭素鋼の約1.5倍あり、溶接時の変形やひずみが大きくなる。

ステンレス鋼の電気抵抗は炭素鋼の4~5倍あり、同一電流で溶接すると発熱が多くなる。

イ. 溶接ワイヤ（棒）の選定

(ア) 溶接用ステンレス鋼棒及びワイヤ規格

表7・29 溶接用ステンレス鋼棒及びワイヤ（JIS Z 3321-1999）

種類	化学成分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	その他
Y308 ⁽¹⁾	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	9.0~11.0	19.5~22.0	—	—
Y308L ⁽¹⁾	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	9.0~11.0	19.5~22.0	—	—
Y309 ⁽¹⁾	0.12 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	12.0~14.0	23.0~25.0	—	—
Y309L	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	12.0~14.0	23.0~25.0	—	—
Y309Mo	0.12 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	12.0~14.0	23.0~25.0	2.0~3.0	—
Y310	0.15 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	20.0~22.5	25.0~28.0	—	—
Y310S	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	20.0~22.5	25.0~28.0	—	—
Y312	0.15 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	8.0~10.5	28.0~32.0	—	—
Y16-8-2	0.10 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	7.5~9.5	14.5~16.5	1.0~2.0	—
Y316 ⁽¹⁾	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	—
Y316L ⁽¹⁾	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	—
Y316JIL	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	11.0~14.0	18.0~20.0	2.0~3.0	Cu1.0~2.5
Y317	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	13.0~15.0	18.5~20.5	3.0~4.0	—
Y317L	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	13.0~15.0	18.5~20.5	3.0~4.0	—
Y321	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	9.0~10.5	18.5~20.5	—	Ti9×C~1.0
Y347 ⁽¹⁾	0.08 以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	9.0~11.0	19.0~21.5	—	Nb10×C~1.0
Y347L	0.030以下	0.65以下	1.0~2.5	0.03以下	0.03以下	9.0~11.0	19.0~21.5	—	Nb10×C~1.0
Y410	0.12 以下	0.50以下	0.6以下	0.03以下	0.03以下	0.6以下	11.5~13.5	0.75以下	—
Y430	0.10 以下	0.50以下	0.6以下	0.03以下	0.03以下	0.6以下	15.5~17.0	—	—

注：⁽¹⁾＝これらの種類はSiを0.65%を超え1.00%以下にすることにより、高Siの規格にすることができる。
 なお、高Siの種類はワイヤだけに限定し、その表示は標準の種類にSiを付加して表示する。
 (例：Y 308L Si)

(イ) 共材溶接時の溶接ワイヤの選定

・ オーステナイト系ステンレス鋼の溶接

表7・30 オーステナイト系ステンレス鋼に対する溶加棒の組み合わせ例

母材	適当な溶接ワイヤ(棒)	
	JIS規格	AWS
SUS201	Y308	ER308
SUS202	Y308	ER308
SUS301	Y308	ER308
SUS302	Y308	ER308
SUS304	Y306、Y308L	ER306、ER308L
SUS304L	Y308L	ER308L
SUS305	Y308	ER308
SUS309S	Y309、Y310S	ER309、ER310
SUS310S	Y310S、Y310	ER310
SUS316	Y316、Y316L	ER316、ER316L
SUS316L	Y316L	ER316L
SUS316J1	Y316J1L	— (1)
SUS316J1L	Y316J1L	— (1)
SUS317	Y317	ER317
SUS317L	Y317L	ER317L
SUS321	Y321、Y347	ER321、ER347
SUS347	Y347、Y321	ER347
SUH309	Y309、Y310	ER309、ER310
SUH310	Y310	ER310

注：(1) SUS316J1、316J1Lに相当する鋼種はAWS規格には規定されていない。

・フェライト系・マルテンサイト系ステンレス鋼の溶接

表7・31 フェライト系又はマルテンサイト系ステンレス鋼に対する溶加棒の組合せ例

母材	適当な溶接ワイヤ(棒)	
JIS規格	JIS規格	AWS規格
SUS 405	Y410、 ⁽¹⁾ Y309、Y310	ER410、ER309、ER310
SUS 429	Y430、 ⁽¹⁾ Y309、Y310	ER430、ER309、ER310
SUS 430	Y430、 ⁽¹⁾ Y309、Y310	ER430、ER309、ER310
SUS 434	Y309、Y310	ER309、ER310
SUH 446	Y309、Y310	ER309、ER310
SUS 403	Y410、 ⁽¹⁾ Y309、Y310	ER410、ER309、ER310
SUS 410	Y410、 ⁽¹⁾ Y309、Y310	ER410、ER309、ER310

注(1)Nb入りを用いるのが望ましい(TIG溶接の場合)

備考1. ニッケル合金溶加棒が使用されることがある。

2. SUS403、405、429、434、SUH446相当の溶加棒規格は未制定である。

・異材溶接時の溶接ワイヤ(棒)の選定

シェフラの組織図を利用して異材溶接時の溶接材料を選定することができる。図7・37、図7・38のように母材と全溶着金属の化学成分値からCr当量、Ni当量を算出し、図中にプロットする。溶接金属のプロット点は母材と全溶着金属の線上に位置し、溶け込み率によって母材側または全溶着金属側に移動する。

図7・41

炭素鋼と各種ステンレス鋼溶接ワイヤ(棒)による異材溶接金属の組織推定図

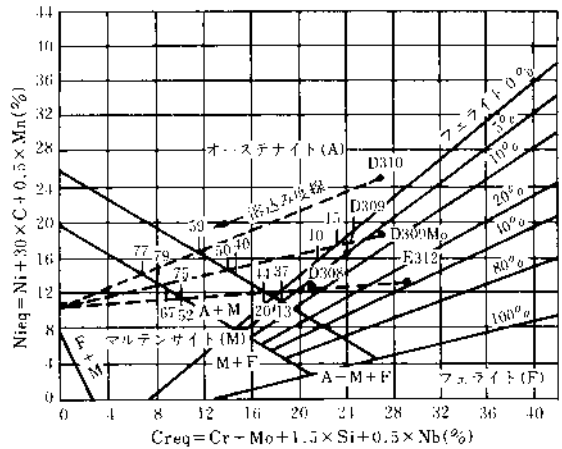
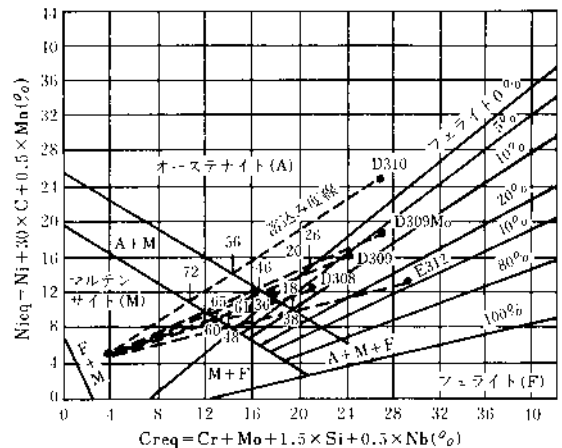


図7-41中のD308を用いた場合の溶接金属は溶け込み率20~52%でマルテンサイトを含むオーステナイト組織となり、溶接割れを生じやすい。割れ防止のためにD309を用いてフェライトを含有した溶接金属にすることが望ましい。

図7・42

2¼Cr-1 Mo鋼と各種ステンレス鋼溶接ワイヤ(棒)による異材溶接金属の組織推定図



(4) 溶接施工上の注意点

ア. 予熱・後熱処理

表7・32

	マルテンサイト系ステンレス鋼	フェライト系ステンレス鋼	オーステナイト系ステンレス鋼
予熱温度	200℃～400℃	100℃～200℃	不 要
後熱温度	700℃～760℃		不 要
予熱・後熱の目的	<ul style="list-style-type: none"> 予熱は、硬化した熱影響部および溶接金属の溶接われを防止するために行なう。 後熱は、遅れ割れの防止、機械的性質の改善のために行なう。 	<ul style="list-style-type: none"> 予熱は、粗大なフェライト組織となって脆化した熱影響部と溶接金属の溶接割れを防止するために行なう。 後熱は、遅れ割れの防止と、韌性を除く機械的性質の改善が目的である。 	<p>通常、予熱後熱は、行なわない。ただし、次の場合は、後熱処理を行なう。</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐食性、機械的性質の改善（溶体化処理） 応力腐食割れの防止（応力除去熱処理）
注意事項	<ul style="list-style-type: none"> 焼入れ硬化 遅れ割れ 	<ul style="list-style-type: none"> 475℃ 脆化 高温加熱による脆化（900℃以上） シグマ相による脆化（600～800℃） 	<ul style="list-style-type: none"> 高温割れ 炭化物析出による熱影響部の耐食性

イ. 溶接施工に伴う変形及びその防止法

表7・33 溶接施工に伴う変形及びその防止法

	切 断	製 罐	溶 接	熱 処 理
変 形 ひずみ	角変形 座 屈	寸法精度不良	回転収縮 横・縦収縮 座屈・角変形	寸法精度不良
変 形 ひずみ 防止法	拘束治具 水冷却による過熱防止 ひずみ取り プレス ローラ ハンマーリング	ひずみ取り <ul style="list-style-type: none"> ローラ プレス ハンマーリング 加熱法 拘束治具	拘束治具 過熱防止 逆ひずみ ひずみ取り <ul style="list-style-type: none"> ローラ プレス ピーニング ハンマーリング 加熱法	拘束治具 逆ひずみ 均一加熱冷却
注 意 事 項		冷間加工度による 応力腐食割れ	拘束法……高温割れ 加熱法……温度管理	

ウ. ステンレス鋼の溶接性に関する問題点

表7・34 ステンレス鋼の溶接性に関する問題点

問題点		問題となる主な鋼種	主要要因	対策
溶接割れ	高温割れ	オーステナイト系完全オーステナイト鋼に生じやすい 310、321	・ 偏析による低融点介在物の生成 ・ HAZの粒界液化 ・ 延性低下 (M23C6の偏析など)	・ 5~10%のフェライトの含有 ・ 拘束の緩和
	σ 相脆化	310、309、316、316L フェライト系	・ 700~800℃での長時間使用 ・ δ -フェライト相 $\rightarrow\sigma$ 相変態	・ 大入熱の溶接を避ける ・ 600~800℃の温度域を急冷させる ・ 溶接後熱処理の実施 (α 系: 930~980℃、 γ 系: 1050~1100℃)
	475℃脆化	フェライト系	・ 600~400℃での低速冷却	・ 600~400℃までの冷却速度を出来るだけ速くする ・ 溶接後に600℃以上に短時間加熱して空冷する
	遅れ破壊	マルテンサイト系	・ 拡散性水素 ・ 硬化組織	・ 150~300℃の予熱およびバス間温度を保持する
溶接部の耐食性劣化	ウェルドディケイ (Weld decay)	304、309、310、316	・ M23C6炭化物の析出 ・ 粒界近傍のCr濃度の欠乏	・ 溶接入熱の制限 ・ 500~850℃の冷却速度を速くする ・ 低炭素ステンレス鋼の採用 安定化ステンレス鋼の採用 ・ 溶体化熱処理の実施
	ナイフラインアタック (Knife line attack)	Ti、Nb安定化オーステナイト鋼	・ ボンド近傍でのTiC、NbCの固溶 ・ M23C6炭化物の析出 ・ 粒界近傍のCr濃度の欠乏	・ 850~880℃で熱処理しTiC、NbCを再度析出させる
	応力腐食割れ	全ステンレス鋼	・ 残留応力 ・ 腐食環境 H ₂ S、NaOH (フェライト系、マルテンサイト系) Clイオン、溶存O ₂ (オーステナイト系)	・ 溶接残留応力の緩和 (応力除去焼なまし、ショットピーニング) ・ 腐食の抑制 (Clイオンの低減、インヒビターの添加など) ・ 材質の改善 (P、Nの低減、Niの増加、Si添加)
	溶接金属の選択腐食	347、321、316、316L	・ デンドライト粒界での合金元素の偏析、析出	
	すきま腐食	全ステンレス鋼	・ アンダーカット、オーバーラップの存在 ・ 溶液の停滞部の存在	・ 適切な溶接条件によりアンダカットなどを防止 ・ 酸化皮膜およびCrもしくはMo欠乏層の除去
	異材接合部の問題	稀釈	全鋼種	・ 材料、溶接材料の選択 ・ α - γ 継手遷移の機械的性質
炭素の移行 (ボンド脆化)		α - γ 系異材継手	・ 炭素の拡散移行 ・ ボンドマルテンサイトの生成	・ 熱処理温度を下げる ・ インコネル系溶接材料の採用
熱応力の発生 (熱疲労)		α - γ 系異材継手	・ 熱膨張係数の差 ・ 加熱、冷却の繰返し	
フェライトの優先酸化		α - γ 系異材継手	・ 局部電池の形成 ・ 脱炭層	・ 腐食電位の差の大きい母材の組み合わせを避ける
溶接変形歪	バックリングの発生	オーステナイト系	・ 熱収縮が大きい ・ 固溶化処理	
継手性能の低下	高温での延性低下	オーステナイト系	・ 継手部は铸造組織である	
	低温靱性の低下	フェライト系 マルテンサイト系	・ フェライト組織 ・ 硬化	