

これから TIG 溶接作業に携わる人の
ための実習作業テキスト

○目次

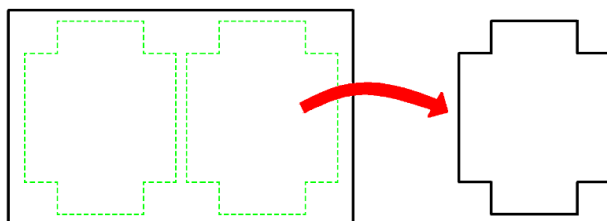
1. はじめに	1
2. 溶接の種類	2
2-1. アーク溶接法について	3
2-2. TIG 溶接について	4
3. 基礎的な溶接用語の説明	5
4. 溶接実習準備について	7
4-1. 用意するものについて	7
4-2. 作業前点検	8
4-3. アースクランプの取付け位置	9
4-4. シールドガスの圧力及び流量調整	10
4-5. トーチ部品と組立て順序について	11
4-6. タングステン電極の先端形状について	12
4-7. タングステン電極の突き出し長さについて	14
5. 溶接実習における重要事項	15
5-1. 項目設定について	15
5-2. トーチスイッチの操作方法について	17
5-3. 溶接する際の姿勢や位置を決定する上での考え方について	18
6. 溶接実習	20
6-1. ビード置きについて	20
6-2. 角継手の溶接について	35
6-3. T継手の溶接について	42

1. はじめに

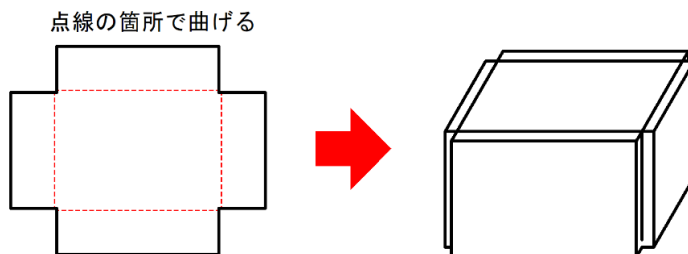
世の中には様々なモノが存在し、我々の生活を支えている。例えば、家具家電、厨房器具、刃物、スポール用品、測定器、文房具等身の回りに存在する日用品、それらを製造するための産業用機械や装置等の設備、橋梁やビル、船舶等の構造物というように多岐にわたる。モノがつくられる際には、金属やプラスチック、セラミックス、ガラス、これらの複合材等が用いられている。しかしながら、単に金属といっても鉄鋼と非鉄金属に大きく分類されており、様々な種類が存在する。一方、日本国内では年間 8,000 万トン以上の粗鋼が生産され、工業用に用いられる金属の 95%以上は鋼が占めており、残りの数%はアルミニウムや銅等の非鉄金属である。

金属加工は、切削や研削などの『除去加工』、曲げや切断等の『成形加工』、接合やメッキなどの『付加加工』の3種類に分類されており、種々の工程を組み合わせることで目的の形がつくられる。解りやすい例として、下図のような金属製の箱を製造する場合の大まかな作業工程は次のとおりである。

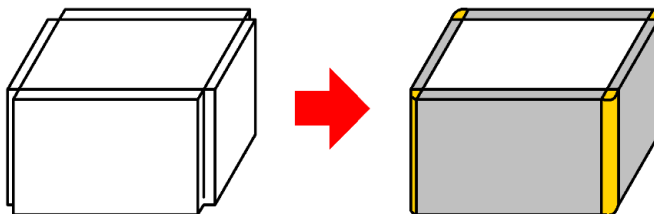
① 『抜き加工』による板取り



② 『曲げ加工』による成形



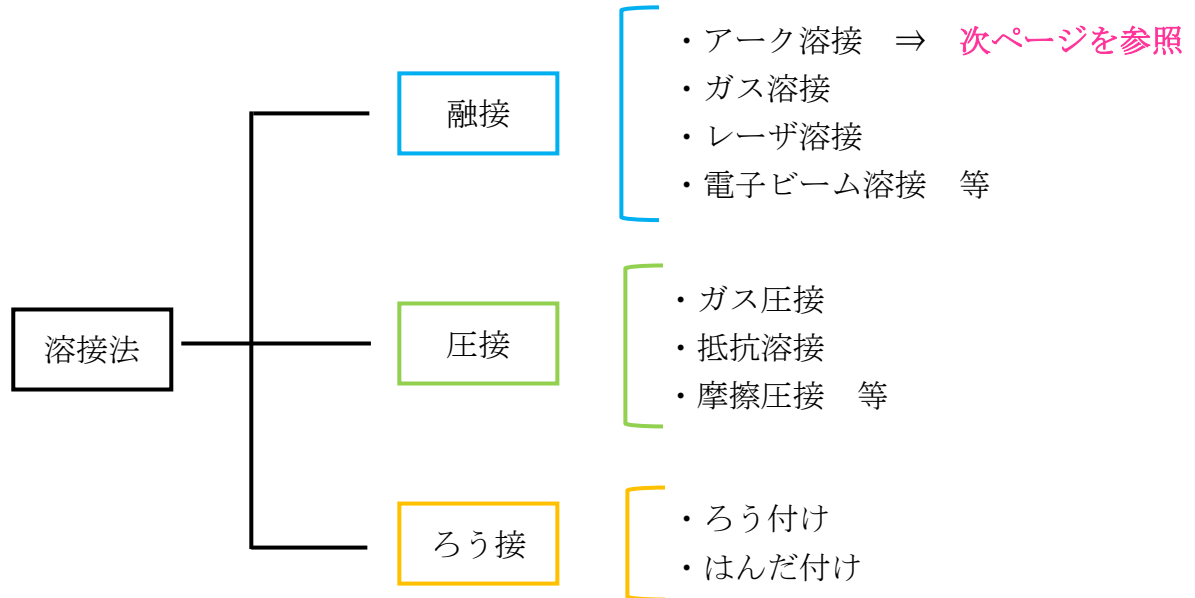
③ 『溶接加工』による接合



本書では、前述の付加加工に分類される『溶接作業』について説明をする。単に溶接作業といっても様々な方法が存在するが、製造業現場において多用される『TIG 溶接』に関する基礎的な知識や技術の習得を目指した内容となっている。また、各溶接作業の動画を別で用意しているため、事前に見て溶接中のイメージを付けておくことが望ましい。

2. 溶接の種類

溶接とは、熱、圧力またはその両方を用いて複数の部材を一体化させる作業のことをいい、接合形態により、一般的に『融接』、『圧接』、『ろう接』の3種類に大別されている。



(1) 融接について

融接とは、電気や炎、光などの熱源を用いて、接合する部材（母材という）を部分的に溶融・凝固させながら行う溶接方法の総称であり、接合のための加圧はしない。

(2) 圧接について

圧接とは、機械的な圧力をかけて行う接合法の総称であり、種々の熱源を用いる方法も多数存在する。

(3) ろう接について

ろう接とは、母材を溶融させないように加熱し、母材より融点の低い溶加材を溶かして毛細管現象を利用することで母材間に流し込み接合する方法の総称である。

2-1. アーク溶接法について

アーク溶接では、『アーク放電』つまり電気のエネルギーを用いて接合を行う。炎を用いる接合法であるガス溶接では最高到達温度が約 3,100℃であるのに対し、アークの温度は最高 20,000℃にも匹敵する。機器の導入コストと作業性のバランスがよく実用性が高いため、製造現場で多用されている。

また、アーク溶接法は『溶極式』と『非溶極式』とに分類されており、それぞれに該当する溶接法や特徴について以下に示す。なお、アーク溶接作業の業務に携わるためには、法律で定められた教育を受け、『アーク溶接特別教育修了証』を取得する必要がある。

溶極式の溶接法

- 該当する溶接法
- ・被覆アーク溶接 (SMAW)
 - ・マグ溶接 (GMAW)
 - ・ミグ溶接 (GMAW)
 - ・サブマージアーク溶接 (SAW)
- ※ () 内は略称

特徴

- ・溶着速度が速く作業効率が良い
- ・厚板から比較的薄い板まで適用可能
- ・一部を除き、ヒュームやスパッタ、スラグが発生するため、安全対策や清掃が必要

※太字の語句は5ページで説明する

アークを発生させる電極自体が溶接材料として消耗される

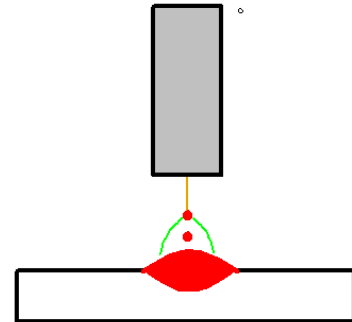


図. マグ溶接イメージ

非溶極式の溶接法

- 該当する溶接法の例
- ・TIG 溶接 (GTAW)
 - ・プラズマアーク溶接 (PAW)
- ※ () 内は略称

特徴

- ・ビード外観が美しく欠陥発生を防ぎやすい
- ・ヒュームやスラグの発生が少なく、適正な環境ではスパッタが発生しない
- ・薄板や厚板の初層溶接に適する
- ・溶接速度が遅い

アークを発生させる電極自体はほとんど消耗されない

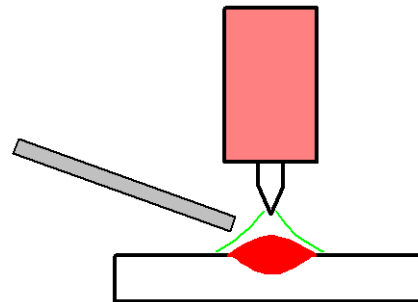


図. TIG 溶接イメージ

2-2. TIG 溶接について

本溶接法の名前の由来は、Tungsten Inert Gas Arc Welding であり、『ティグ溶接』と表記されることもある。電極にタングステンを、シールドガスに不活性ガスを用いるアーク溶接であることを表しており、不活性ガスとしてアルゴンを用いることが多いため、『アルゴン溶接』と呼ばれることもある。

TIG 溶接は非溶極式の溶接法に分類されており、他の溶接法と比較すると作業効率が劣る。さらに、例え弱風であっても溶接作業に著しく害を及ぼすため風よけ対策が必須となる。一方で、ビード外観が美しく小さな溶接金属を形成すること可能である。さらに溶加棒を用いずに母材を溶かすことで接合を行うノンフィラ溶接（なめつけ、メルトラン）と溶加棒を添加しながら接合を行うウィズフィラ溶接（棒入れ）の使い分けが可能であり、薄板への適用がしやすく厚板への適用も可能である。なお、ノンフィラ溶接およびウィズフィラ溶接に関する説明は後述する。

○TIG 溶接を用いて作られた製品の例（点線で囲った部分が溶接部）



写真. 手すりのブラケット



写真. 換気扇ダクトカバー

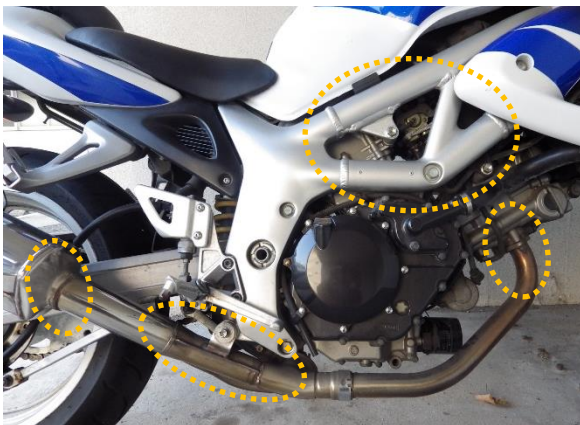


写真. バイク（フレームや排気筒）



写真. 配電盤のボックス

3. 基礎的な溶接用語の説明

実習に取り組むにあたり、知っておくべき基礎的な用語について以下にまとめる。

用語	意味及び説明
母材	溶接または切断される材料。
溶加材	溶接中に供給する材料。
溶加棒	TIG 溶接やガス溶接に用いる棒状の溶加材。
溶接材料	溶接用消耗品（溶加棒や溶接棒、溶接ワイヤ、シールドガス等）。
溶接継手	溶接作業によって接合される、もしくははされた部分・
溶接部	溶接金属及び熱影響部。
溶着金属（デポ）	溶加材から溶接部に移行した金属。
溶接金属	溶接作業で溶融・凝固して形成された金属であり、母材溶融部単体、もしくは母材溶融部と溶着金属が合わさっている。 （図1．①の部分）
ボンド部	溶接金属と熱影響部の境目となる部分。（図1．②の部分）
熱影響部	溶接作業等で溶融はしていないが、熱の影響で材料の性質が変化した部分。（図1．③の部分）
パス	継手に沿って行う1回の溶接操作（アーク発生回数に関係ない）。 （図2を参照）
層	1パスまたは複数パスで形成される溶接金属の層。（図2を参照）
始端	溶接開始部（図3を参照）
終端	溶接終了部（図3を参照）
止端	表面のビードと母材とが接している部分（図3を参照）
クレータ	溶接を中断した箇所に形成される凹んだ部分（図3を参照）
ビード	1パスで形成された溶接金属であり、複数パスの場合、『○パス目のビード』等ということもある。（図4を参照）
溶融池（プール）	溶接作業中においてアーク等の熱により溶かされて液化している部分。（図4を参照）
アーク	2電極間に生じる高温と強い光を放つ放電現象。（図4を参照）
タングステン電極	TIG 溶接においてアークを発生させるための棒状の導体。（図4を参照）
シールドガス	溶接中に高温となる溶接部を大気から遮へいするためにトーチから放出するガス。活性ガスと不活性ガスとに分類される。（図4を参照）
ヒューム	溶接中に蒸発した金属が大気中で凝固したもの。
スパッタ	溶接中に飛散する金属の粒で発生直後は『火花』に見える。
スラグ	溶接中に生じる非金属物質であり、『カス』と呼ばれることもある。TIG 溶接法においては特定の金属や溶加棒を用いると生じる。

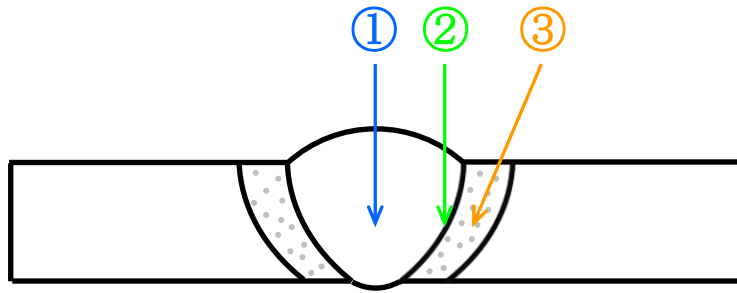


図1. 溶接部の説明

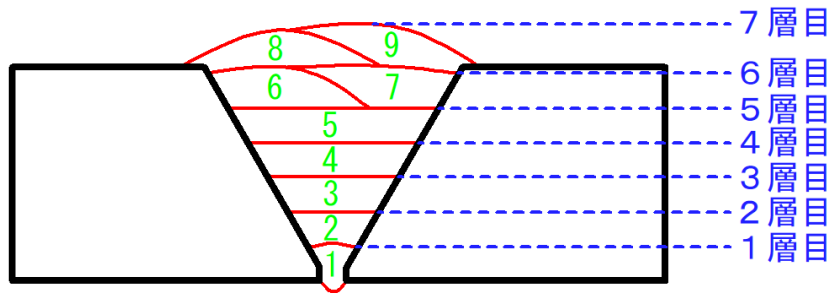


図2. 層とパスの説明 (7層9パスの例)

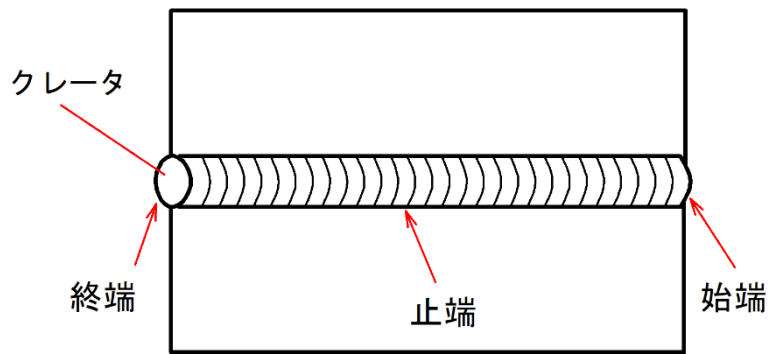


図3. TIG 溶接作業中イメージ

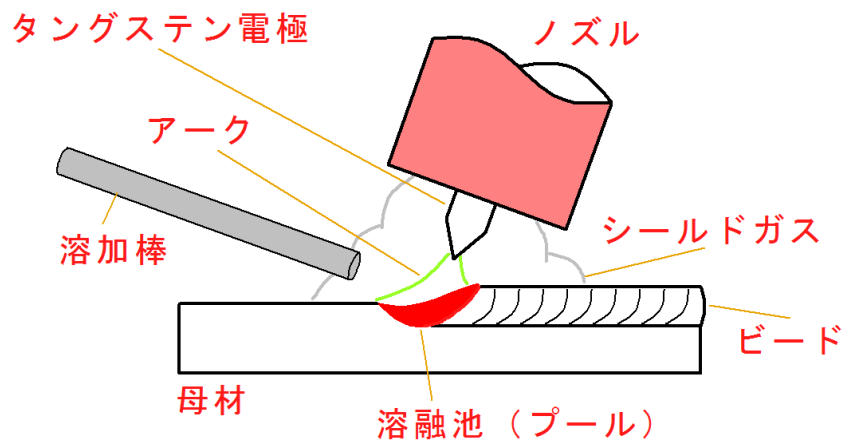


図4. TIG 溶接作業中イメージ

4. 溶接実習準備について

溶接実習をはじめるまでの内容について説明を行う。本章で説明する主な内容は以下のとおりである。

- 4-1. 用意するもの
- 4-2. 作業前点検
- 4-3. アースクランプの取付け作業
- 4-4. シールドガスの圧力および流量調整
- 4-5. トーチ部品と組立て順序
- 4-6. タングステン電極の先端形状
- 4-7. タングステン電極の突き出し長さ

4-1. 用意するものについて

- ・TIG 溶接機一式（シールドガスはアルゴンを使用）
- ・トーチ及び部品一式
- ・各種材料（母材や溶加棒 など）
- ・作業台、椅子（必要に応じて）
- ・工具（火ばし、ワイヤブラシ、スケール、けがき針）
- ・タングステン電極 $\phi 2.4$
- ・電極加工機（両頭グラインダ、タングステン電極研磨機 など）
- ・保護具（皮手袋、足カバー、保護面、保護メガネ、防塵マスク など）

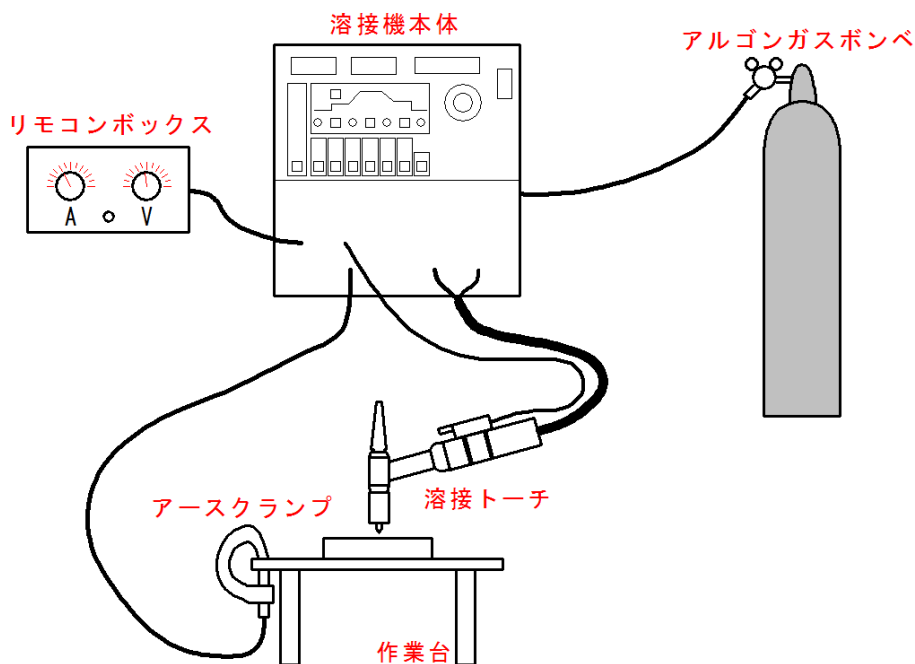


図. TIG 溶接装置一式（空冷トーチを使用の場合）

4-2. 作業前点検

溶接は便利な作業であるが、一方で様々な危険を生じる可能性がある。災害の一つである『感電』のリスクは、作業方法や環境、服装等が不適切であれば高まるが、機器の状態によっても大きく左右される。例えば、電気ケーブルが破損していれば漏電を生じ、作業者だけでなく周辺にいる人までも感電する可能性があり後遺症を伴う傷病や死亡に至ることもある。このため、作業前には使用する機器の点検を行うことが重要であり、例えば毎日の作業開始前に点検を行うなど、習慣づけを行うことも大切である。また、『作業前点検簿』等を用いて、いつ、誰が点検（必要に応じて機器の補修や交換）を行ったのか記録を残すとよい。

使用する機器にもよるが、主な点検項目は次のとおりである。

- ・溶接機本体の損傷の有無
- ・トーチケーブルの確実な取付け及び絶縁（本体側、トーチ側及び接続部）
- ・母材側ケーブルの確実な取付け及び絶縁（本体側、アースクランプ側及び接続部）
- ・ケーブルの破れや劣化の有無
- ・トーチ部品の破損や取付け状況
- ・ガス圧力調整器、流量調整器の損傷の有無や取付け状況
- ・ガスホースの破れや劣化の有無や取付け状況
- ・冷却水循環装置（装置ケーブル含む）の破損や取付け状況、冷却水の品質・量

※点検の際は、電源を OFF の状態で皮手袋を着用すること。



写真. 劣化損傷を生じたケーブル（左：溶接機入力ケーブル、右：トーチケーブル）

4-3. アースクランプの取付け作業

アーク溶接は電気を用いる溶接法であるため、電気が流れる回路を完成させる必要がある。そのため、アースクランプ（母材側ケーブル接続のための器具）を作業台等に取り付ける必要があり、磁器吹き防止のため下図のようにするとよい。なお、次の点に注意して作業を行う。

- ・皮手袋を着用する。
- ・アースクランプの取付け位置は下図を参考にするとよい。
- ・アースクランプの取付け面が作業台等に確実に密着するように、取付け位置及び作業台の取付け面が適切（取付け位置が平坦であるかなど）か確認する。
- ・アースクランプがねじ止めタイプの場合、ねじ部を作業台の下側にくるようにし、確実に締め付ける。

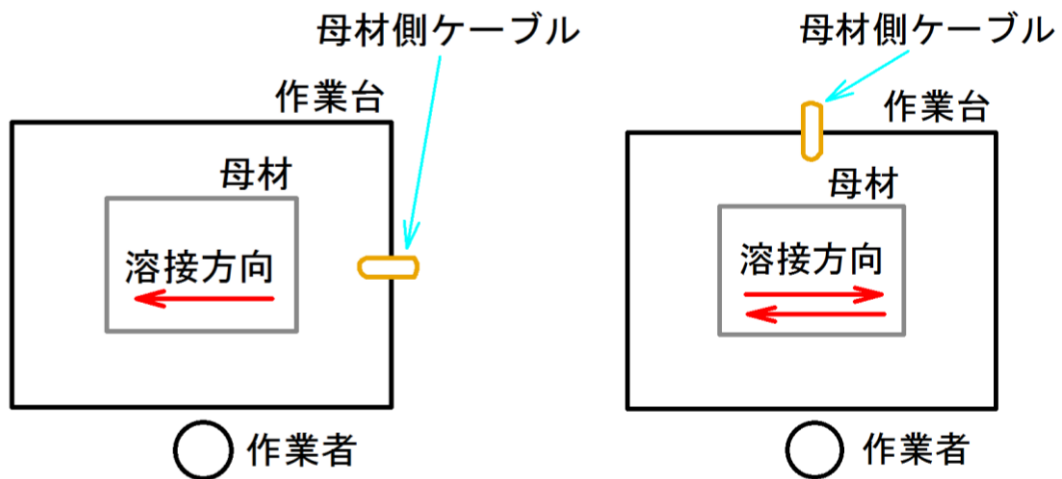
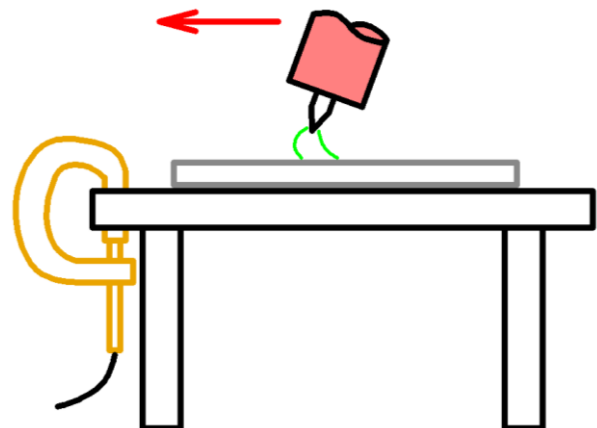


図. アースクランプの取付け位置の例

磁器吹きとは

アーク周辺の磁気がアークに対して非対称になるため、特定の方向にアークが吹かれるような挙動を示す。

なお、直流アークで磁性がある材料を溶接するときには生じやすく、交流アークや非磁性の材料溶接時には比較的生じにくい。



4-4. シールドガスの圧力及び流量調整

シールドガスは、良好な溶接結果を得るだけでなく、トーチ部品及びタングステン電極を冷却保護するためにも極めて重要である。溶接作業に先立ち、ボンベから流量調整器に送るガスの圧力及び溶接作業中にトーチ先端から放出されるシールドガスの流量を調整する必要がある。

圧力及び流量調整及び、作業終了時のガス抜き作業の手順は以下のとおりである。

調整作業(作業開始時)

1. 圧力調整ハンドルが緩んでいるかを確認する(Low 方向に回す)。
2. 流量調整つまみが閉まっていることを確認する。
3. 元栓バルブを十分に開ける。
4. 圧力調整ハンドルを(Hi 方向)に回し、0.2Mpa に調整する。
5. 溶接機本体のガス点検ボタンを1度押し、ガス点検モードに切り替える。
6. 流量調整つまみを開けてガスの流量を7~10ℓ/min 程度(目安として、ノズル内径寸法[mm]の数値を流量に置き換えた値)に合わせる。
(流量調整器内部の球が動かない場合は、ガス点検ボタンが有効かを確認)
7. ガス点検ボタンを1度押し、ガス点検モードを解除する。

ガス抜き作業(作業終了時)

1. 元栓バルブを閉める
2. ガス点検ボタンを1度押し、ガスを抜く(圧力調整器の目盛りが0となり、流量調整器内の球が一番下にくることを確認する)。
3. 圧力調整ハンドルを緩める(緩めすぎてハンドルが取れたら再度はめる)。
4. 流量調整器のつまみを閉める。

4-5. トーチ部品と組立て順序について

トーチ及び部品の写真を以下に示す。また、各部品の名称及び役割を表にまとめる。

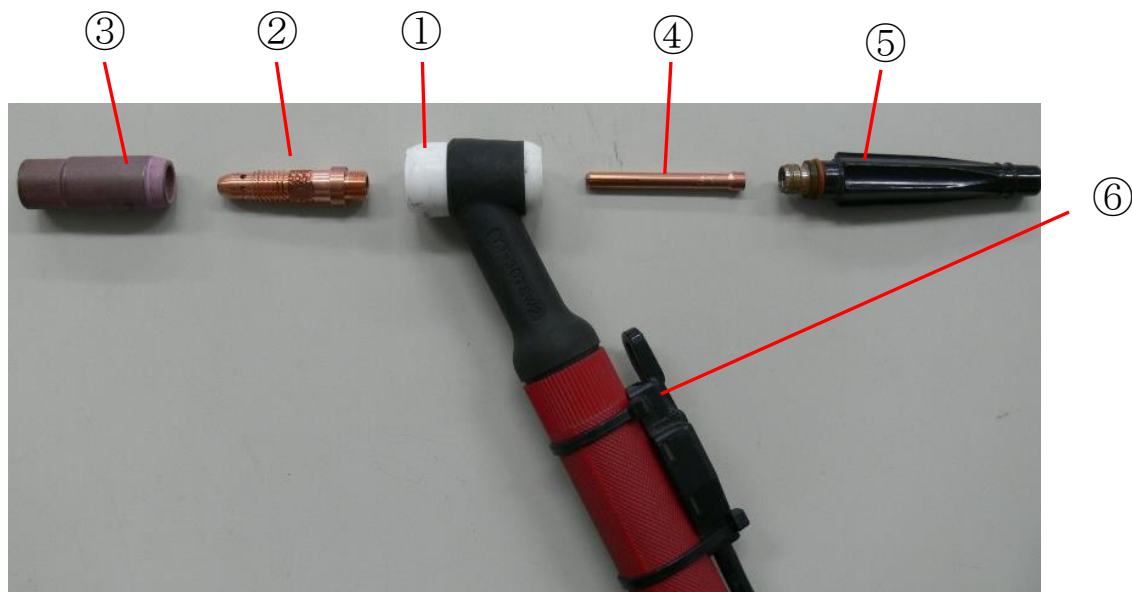


写真. TIG 溶接溶トーチ及び部品

表. トーチ部品と役割について

取付け順序	名称	役割
①	インシュレータ	シールドガスの漏れ防止及び絶縁
②	コレットボディ	タングステン電極の保持及び電極への通電
③	ノズル	溶接部へのシールドガスの誘導
④	コレット	タングステン電極の保持及び電極への通電
⑤	キャップ	タングステン電極の保持
⑥	トーチスイッチ	アークやシールドガスの ON 及び OFF

②コレットボディ、③ノズル及び⑤トーチキャップの取付け部はねじによる接合を行うが、締め付けが弱いと電極の固定ができず作業中に抜けてしまうだけでなく、トーチと部品のねじ部とに隙間ができスパークする恐れもあるため、確実に締め付ける。また、コレットとコレットボディは、使用するタングステン電極の太さにあったものを使用しなければならない。

4-6. タングステン電極の先端形状について

良い溶接結果を得るためには、電極の先端形状を整えておく必要がある（下図を参考）。通常はグラインダを用いて電極先端の加工を行うが、加工に際しては次の4点に気を付ける必要がある。

- ①電極の中心に頂点が位置するよう、均等な円錐形状とする。
- ②電極先端角度を適切にする（45°程度を目安にするとよい）。
⇒ プロトラクタなどを用いて先端角度は測るとよい。
- ③加工部分の表面形状をなるべく滑らかにする（粒度が粗いといしの使用は避ける）。
⇒ 表面がざらざらしていると電極の消耗が激しくなるため。
- ④加工部分に縦きずがつくような方向で仕上げるのが望ましい。
⇒ アークの集中性が若干向上するため。

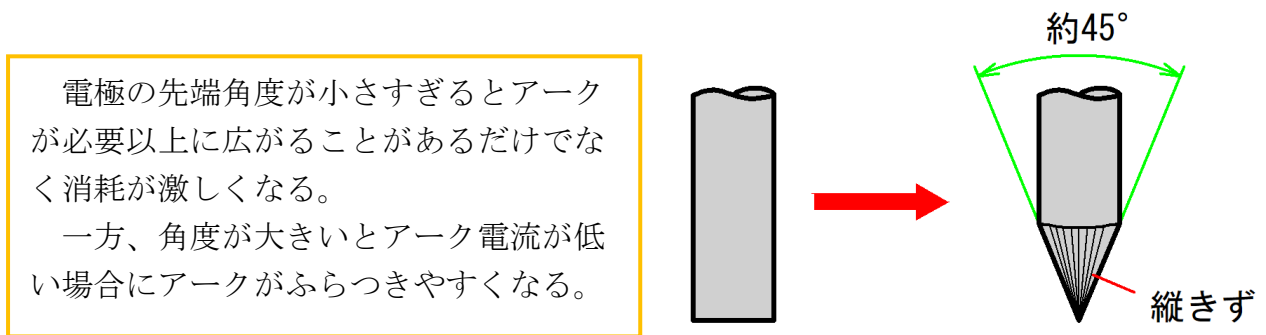


図. 電極の先端形状

★電極研磨を怠らない

電極が溶接中に軽く母材に接触した程度であっても、電極先端形状に変形が生じる。変形が生じると、アークの状態が悪くなるため、溶接の結果も悪くなる。また、不純物付着により消耗が激しくなるため、電極先端形状は正常に保つことが重要である。

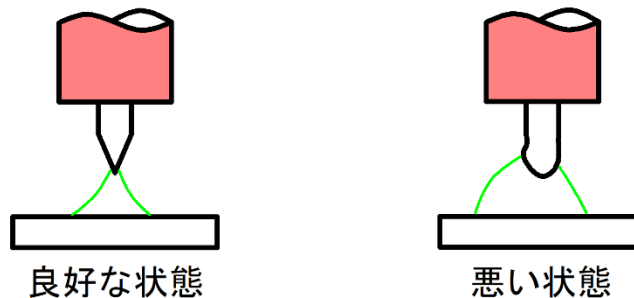


図. 電極先端形状によるアークの状態変化

○溶接中に母材へ電極が接触した場合の対応方法

TIG 溶接を行う上で電極の形状が適切であることは、良い溶接結果を得る上で絶対条件といっても過言ではない。溶接中に電極先端が母材に触れると次のようになる。

・母材に電極が軽く接触した場合 ⇒ 以下写真の②

『プチッ』という音を立てて一瞬アークが消弧したのち再度アークが発生する。接触の際に電極の先端形状が変化したり、電極に母材金属などの不純物が溶着したりするため、アークの色が変化してみえることがあり、アークの状態が不均一に広がった形状になりやすい。

・母材に電極が溶着した場合 ⇒ 以下写真の③

アークは消弧し電極先端が凝固後の溶融池と一体化する。接触後に無理やり電極を取ろうとすると、電極を曲げてしまったり、トーチ部品を傷めたりする恐れがある。また、クレータ有設定の場合は、接触にトーチスイッチを1回押し、離してから電極を取り外すようにする（トーチスイッチを押してない場合、電極が離れた瞬間にアークが自動的に発生するため）。

番号	先端形状	再加工の必要性
①	良好	必要ない
②	悪い	必要
③	非常に悪い	絶対に必要

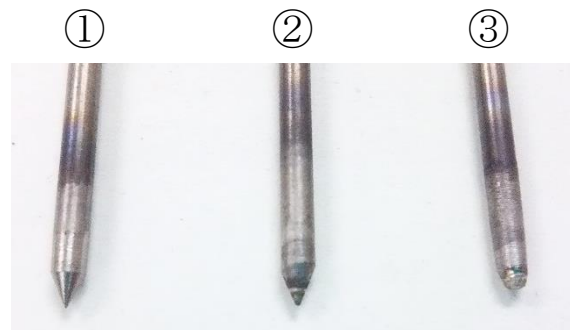


写真. 電極の先端形状

4-7. タングステン電極の突き出し長さについて

電極の突き出し長さとは、ノズル先端から突き出ている電極の長さのことをいう（図7を参照）。溶接作業者は使用する機器や作業環境、母材の継手形状等により適切な突き出し長さに調節する必要がある。また、突き出し長さの変化による作業性等の違いを以下にまとめる。

表. 突き出し長さ寸法による性質の違い

	長い	短い
見えやすさ (作業性)	○	×
ガスのシールド性	×	○
溶接品質	×	○

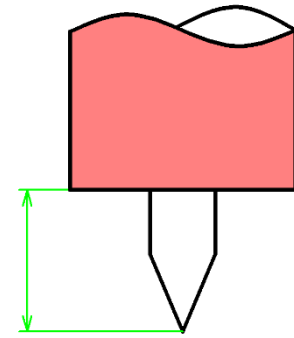
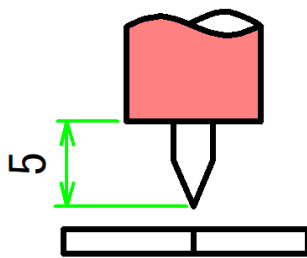


図7. 電極の突出し長さ

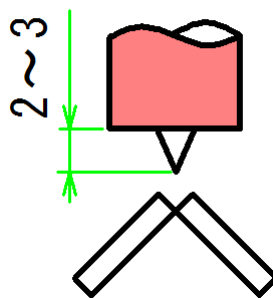
○継手形状による突き出し長さ寸法の例

代表的な継手形状に応じた電極の突き出し長さの例を以下に示す。

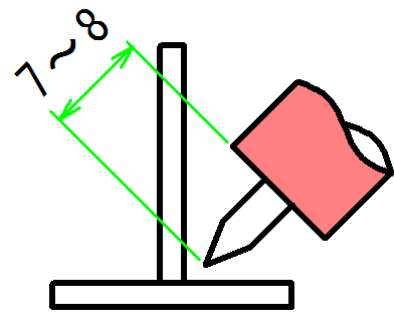
なお、使用するタングステン電極の直径は2.4mm、トーチ部品は標準品の場合を想定している。



突合せ継手



角継手



T継手

5. 溶接実習における重要事項

溶接実習に取り組むにあたり知っておくべき内容について説明する。ここで説明する内容は以下のとおりである。

- 5-1. 設定項目
- 5-2. トーチスイッチの操作方法
- 5-3. 溶接する際の姿勢や位置を決定する上での考え方

5-1. 設定項目について

使用する機器によって設定する項目が異なるが、ここでは多くの TIG 溶接機に共通する項目について述べることにする。なお、下の写真は TIG 溶接機本体の操作部を表している。

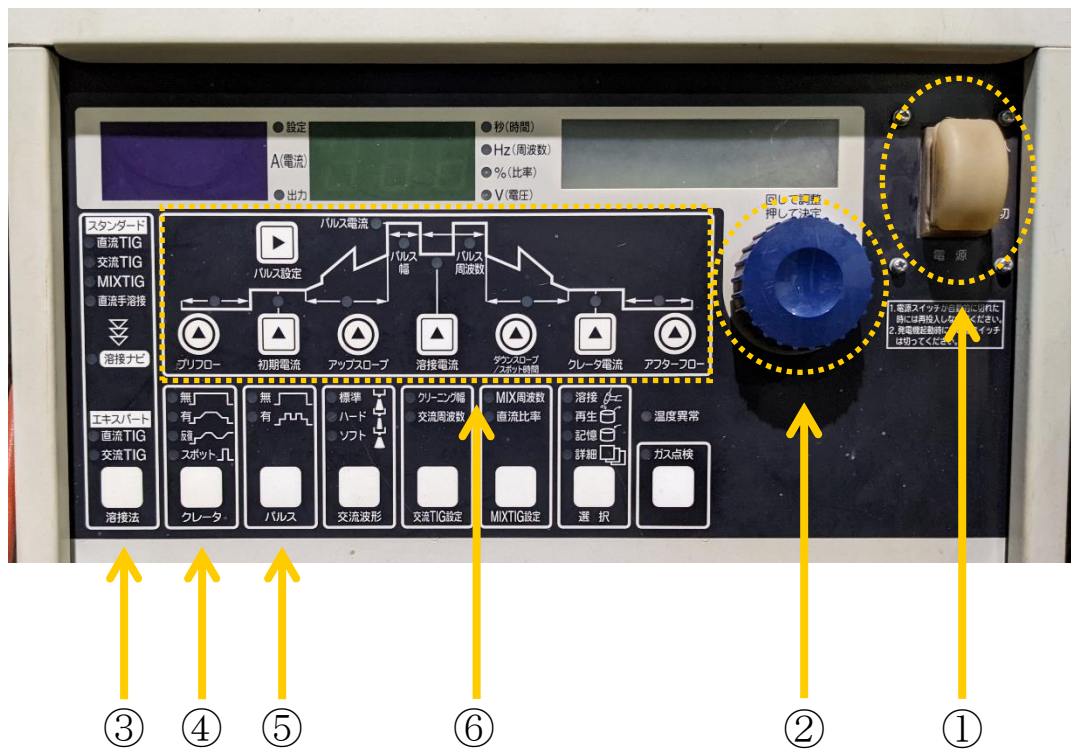


表. 主な設定項目について

番号	項目	説明もしくは設定内容
①	電源	カバー内のスイッチを上げると『ON』下げると『OFF』
②	ジョグダイヤル	各種項目の数値等を設定する際に活用
③	溶接法	『直流 TIG』を選択する (アルミが母材なら『交流 TIG』)
④	クレータの有無	『有』を選択
⑤	パルスの有無	『無』を選択
⑥	各種の溶接条件	『表. 各種の溶接条件について』を参照

表. 各種の溶接条件について

設定項目	トーチスイッチ操作	説明
プリフロー	1 回目のスイッチ ON 時	点弧前のシールドガス放出時間
初期電流	1 回目のスイッチ ON 中 (プリフロー後)	1 回目のトーチスイッチ ON 中に出力される電流値
アップスロープ	1 回目のスイッチ OFF 直後	初期電流値から溶接電流値へ切り替わるのに要する時間
溶接電流	1 回目のスイッチ OFF 中	1 回目のトーチスイッチ OFF 中に出力される電流値
ダウンスロープ	2 回目のスイッチ ON 直後	溶接電流値からクレータ電流値へ切り替わるのに要する時間
クレータ電流	2 回目のスイッチ ON 中	2 回目のトーチスイッチ ON 中に出力される電流値
アフターフロー	2 回目のスイッチ OFF 直後	消弧後のシールドガス放出時間

母材の板厚や板幅、開先形状、母材間距離（すきま）などに合わせて溶接電流等を適切な値に設定する必要がある。溶接の始端あるいは終端が母材の端など熱が集中しやすい箇所位置する場合は、初期電流やクレータ電流を低めに設定することが多いが、ビード継ぎを行う場合や特殊な形状の母材の場合は、両者を溶接電流よりも高めに設定することもある。

また、アップスロープやダウンスロープの時間設定を長めに設定することで、電流値の変動が緩やかになるため、始端付近や終端付近のビードの酸化やビードの沈みを防止するのに有効である。

目安として溶接電流値を 100% としたとき、

初期電流値を 50%
 クレータ電流値を 70% 程度に設定するとよい。

5-2. トーチスイッチの操作方法について

クレータ制御を『無』に設定した場合と『有』に設定した場合とでは、作業中のトーチ操作方法が異なる。

『クレータ無』に設定すると、トーチスイッチを押しているときだけアークが発生するため、薄板の連続点溶接等の作業がしやすくなる。

『クレータ有』に設定すると、溶接中に電流値を変化させることができる。また、一度アークを発生させたらスイッチから手を離れた状態でもアークを維持できるため、連続溶接の作業がしやすくなる。それぞれ設定についてのタイムチャートを以下に示す。

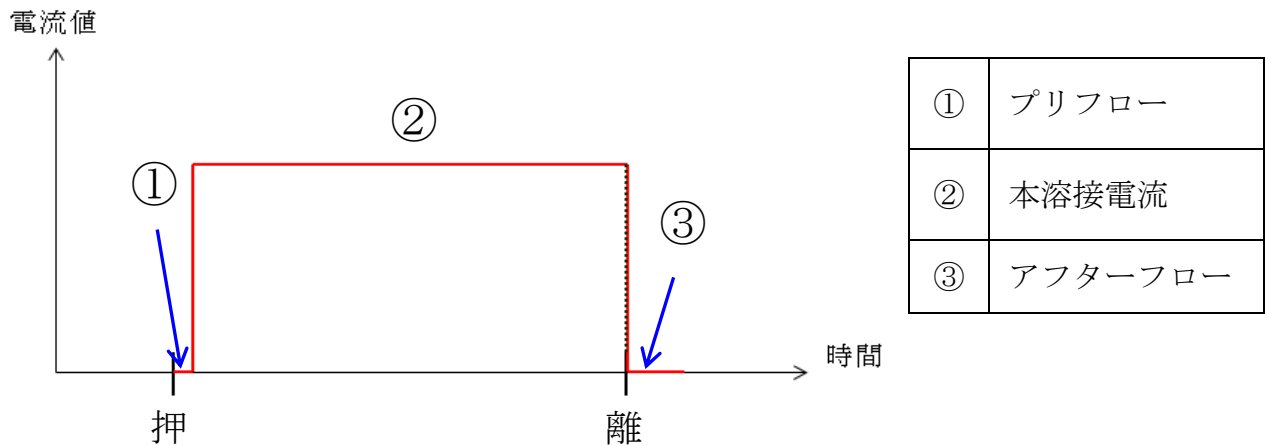


図. クレータ無の場合

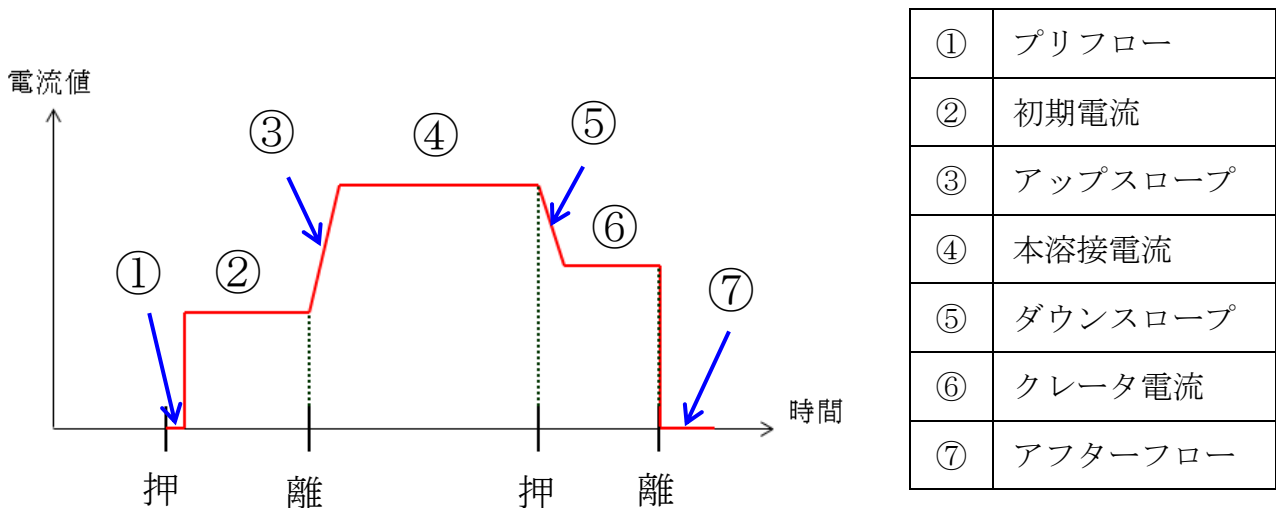


図. クレータ有の場合

5-3. 溶接する際の姿勢や位置を決定する上での考え方について

良好な溶接結果を得るためには溶接がしやすい姿勢や位置について知っておく必要がある。溶接する製品の大きさや作業環境によっては、製品を動かすことができないことや作業者の動作が制限されることが多々あるが、ここでは作業者の動作に制限がない場合、どのようなことに着目していくとよいのかを示す。

溶接のしやすさを求めるにあたり、以下について考える必要がある。

- ・作業の安定性を考慮した作業者と母材との位置関係
- ・作業者の姿勢と溶接トーチの持ち方（ウィズフィラの場合は溶加棒を含む）
- ・溶接作業中に見るところ

①作業の安定性を考慮した作業者と母材との位置関係

母材に対して作業者がどの位置にいるかによって溶接作業のしやすさに大きな違いが生じる。

左下の図は人間の手の構造や溶接位置の見やすさを考えたときの溶接作業がしやすい領域を表したものである。『作業がしやすい領域』内でトーチ操作ができるよう、作業者の位置や姿勢についても十分に検討が必要である。なお、右下の図は作業者位置の例を表しており、作業者の体の中心と母材の終端部分とが一致している。

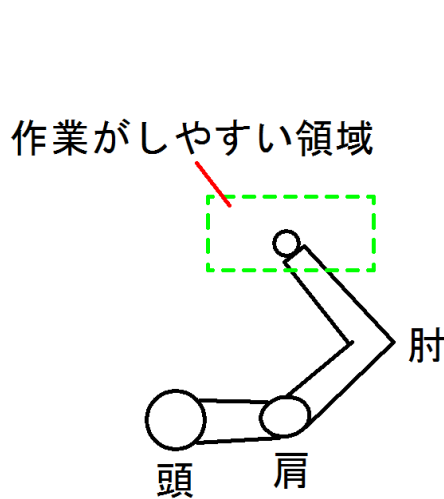


図. トーチ操作がしやすい領域

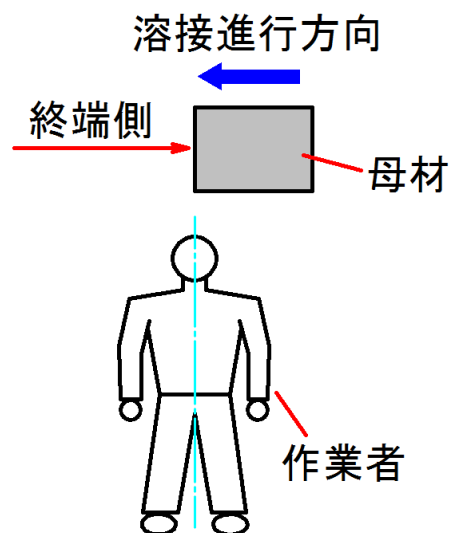


図. 母材と作業者との位置関係イメージ

②作業者の姿勢と溶接トーチの持ち方

実際の製品を溶接する際には、製品形状や周囲の環境に応じて姿勢を変化させながら作業することが求められる。また、トーチの持ち方も作業状況や姿勢に合わせて変えることで溶接作業がしやすくなる（下の写真を参考）。トーチは利き手で持つとよい。

溶接姿勢やトーチの持ち方を決定する際は以下について確認することが望ましい。

- ・作業中に溶接箇所を目視で確認できるか。
- ・作業者にとって無理な姿勢でないか
- ・作業中に周辺の機器等との衝突の恐れがないか
- ・溶接ケーブル等の圧迫や破損がないこと



持ち方のコツ

親指と中指とでトーチをつまむように持ち、人差し指でスイッチを押す。薬指と小指は意識しなくてもよいが、作業台や母材への意図しない干渉には気を付ける。

写真. トーチの持ち方例（左：スイッチ OFF 時 右：スイッチ ON 時）

※溶接機の電源を OFF にした上で撮影

③溶接作業中の着眼点

溶接作業中に溶接箇所がどのような状況なのかを確認することは非常に重要である。例えば、右図のように前進法により右から左へ溶接するのであれば、左の方向から溶接箇所を覗き込むような姿勢を取ることで目視による確認がしやすくなる。

着眼する主なポイントは以下のとおり

- ・電極先端の位置（見かけのアーク長）
- ・アーク形状
- ・プール形状（幅、広がり方）
- ・プールの進行方向

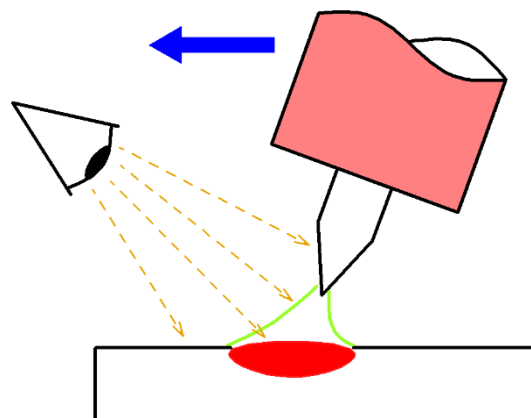


図. 溶接中の着眼点イメージ

6. 溶接実習

ここでは、基本的な溶接実習の方法について説明する。内容については以下のとおりである。溶接作業中は強い紫外線や熱から眼や顔面を守るため保護面を着用し、皮手袋や足カバーといった保護具を確実に着用する。何よりも安全第一で作業へ取り組む。

- 6-1. ビード置き
- 6-2. 角継手の溶接
- 6-3. T継手の溶接

6-1. ビード置きについて

本作業は、溶接金属を形成する作業であり、トーチ操作や姿勢、体の使い方、着眼点等TIG溶接作業における多くの基礎を学ぶ上で非常に重要である。また、各種継手の溶接施工を行う上でもビード置き作業の内容がベースになる。作業の上達を目指すのであれば、しっかりと溶接部を目で見ながら作業することを心掛けてほしい。

まずは、以下の2点について説明をする。

- (1) ノンフィラ溶接
- (2) ウィズフィラ溶接

(1) ノンフィラ溶接

溶加棒を用いずに、アークによる加熱のみで行う接合方法であり、『なめ付け』や『メルトラン』等とも呼ばれている。また、薄板の仮付けや各種継手の接合、ビード止端形状の改善（TIG溶接によるドレッシング作業）等に用いられる。

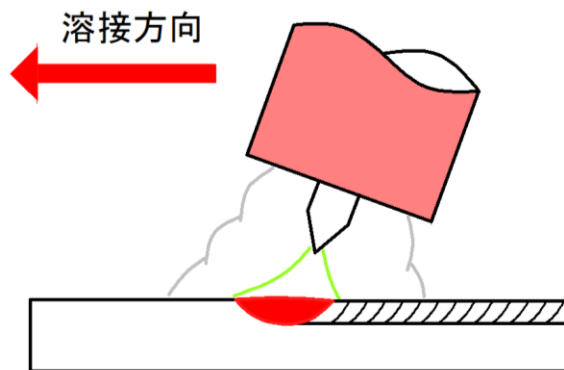


図. ノンフィラ溶接イメージ



図. ビード止端形状の改善

(2) ウィズフィラ溶接について

アークにより母材を局部的に加熱し、溶融池（プール）へ溶接材料を添加しながら行う接合方法である。人間が作業を行う場合は、片方の手にトーチを持ち、もう片方の手に溶加棒等を持って作業する。また、薄板から厚板の接合まで幅広く用いられ、すき間がある箇所や余盛（母材の表面より盛り上がった溶接金属）が必要な場合は当該溶接方法を用いる。

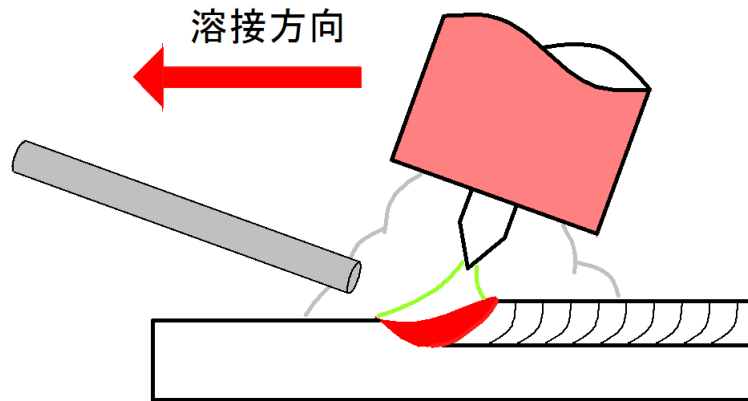


図. ウィズフィラ溶接イメージ

以上を踏まえて、以下4種類の実習へ取り組む。

- ①ノンフィラ・ストリング
- ②ノンフィラ・ウィービング
- ③ウィズフィラ・ストリング
- ④ウィズフィラ・ウィービング

ストリングビードとは

溶接進行方向に対して、トーチを特定の方向に対して直線状に動かしたときに形成されるビードであり、ストレートビードとも呼ばれる。



図. トーチの動かし方

ウィービングビードとは

トーチを振りながら動かしたときに形成されるビードであり、ストリングビードに比べて幅広いビードが形成でき、多くの金属を供給することができる。



図. トーチの動かし方例

○練習用母材の準備

使用する母材：ステンレス鋼板 SUS304-HP t3.0×150×150

スケールとけがき針を用いて使用する母材へけがき線を入れておく。けがき線の間隔については、ストリングスの場合で10 mm程度、ウィービングの場合で6 mm程度にするとよい。

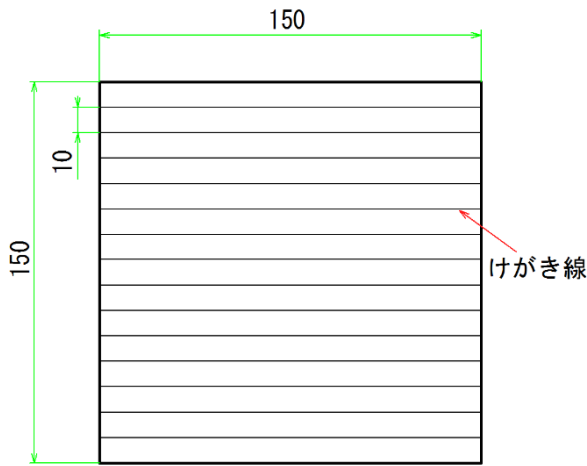


図. ストリングスの場合

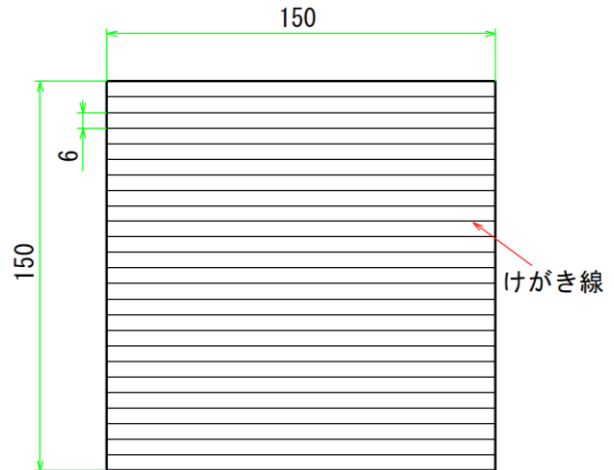


図. ウィービングの場合

○溶接条件について

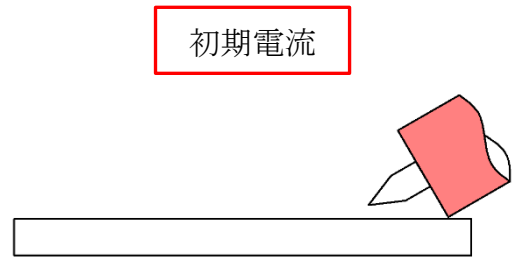
溶接条件の一例を次のとおり示す。なお、タングステン電極の突き出し長さは5 mm程度とする。

設定項目	設定値
プリフロー	1 秒
初期電流	45A
アップスロープ	1 秒
溶接電流	90A
ダウンスロープ	1 秒
クレータ電流	65A
アフターフロー	5 秒

○溶接の作業要領について

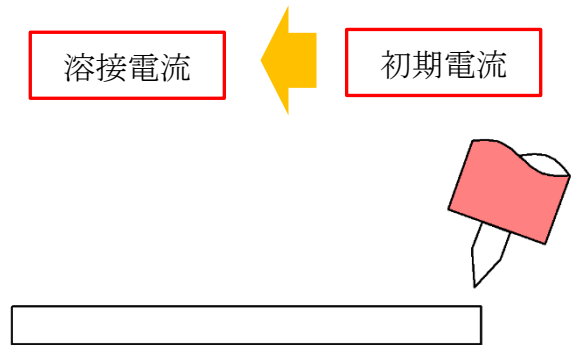
1. アーク発生

ノズルを接触させた状態でスイッチを押す。このときに電極を接触させてはならない。



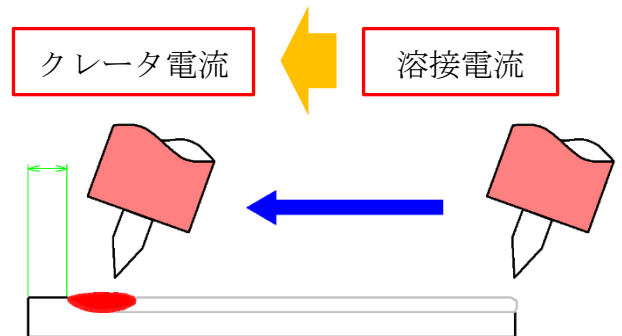
2. バックスタート

スイッチを押したまま、トーチを起こしながら素早く溶接開始位置までトーチを戻す。その後、スイッチを離すと同時に本溶接を開始する。



3. 本溶接

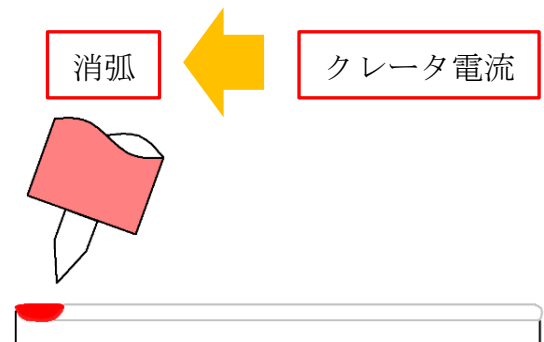
アーク長とトーチの角度を一定に保ちつつ、溶融池を観察しながら溶接を進める。母材端から5mm くらいのところまでプール先端が及んだら、トーチスイッチを押してクレータ電流に切り替える。



4. クレータ部の保護

プール先端が母材端に及んだところで、トーチスイッチを離してアークを切る。

その後、アルゴンガスが出続ける間はノズル先端をクレータ部に近づけ保護する。



○アーク長およびトーチ傾斜角について（動画 01 適正なアーク長、02 長すぎるアーク長）
 溶接作業中は下図のような状態を保つことが重要である。なお、次の3点に着目するとよい。

- ・ トーチの角度
- ・ アーク長（≡母材表面と電極先端との垂直距離）
- ・ 溶接速度

トーチ傾斜角を約 70° 程度に（溶接方向と垂直方向の角度：『トーチ角度』は 90°）、アーク長は 2mm 程度に、溶接速度は一定に保つ。

また、アークが長すぎるとアークのエネルギーが広範囲に分散し、溶融池の形成がしづらくなるだけでなく、ノズルが母材表面から遠ざかることでシールドガスの効果が弱くなるため、溶接部の酸化が激しくなる。

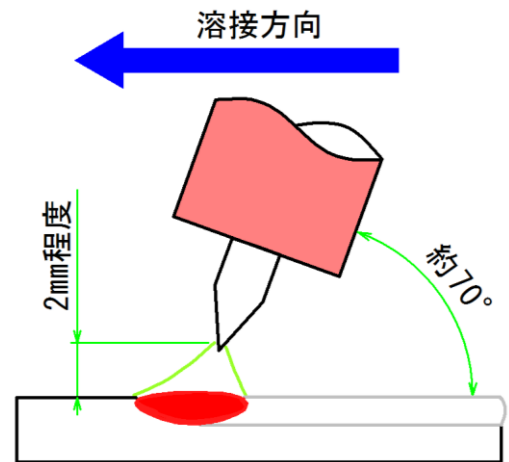
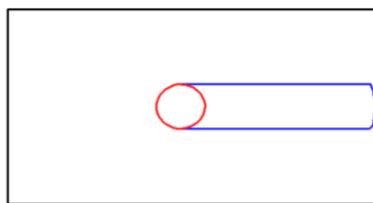
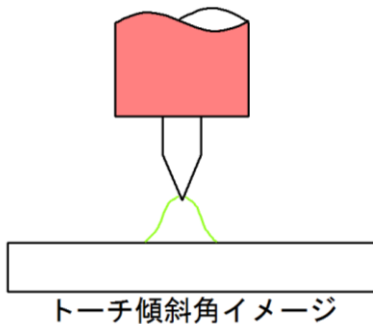


図. 溶接中におけるトーチの状態

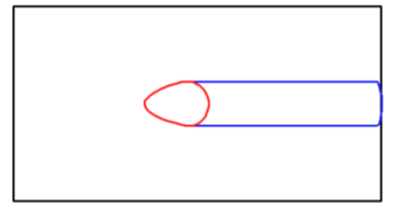
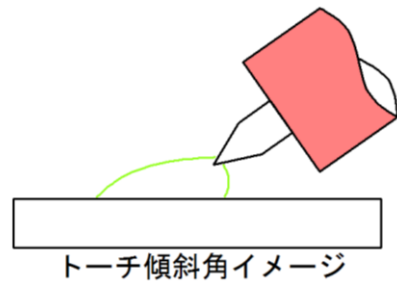
トーチが垂直の場合



プールを真上から見たイメージ

トーチ傾斜角を垂直とした場合、プールの形状や溶込みについては良好な結果が得られるが、溶融池が見えづらくなるなど作業性がやや劣る。

トーチが倒れすぎている場合



プールを真上から見たイメージ

トーチ傾斜角が倒れすぎている場合、以下のような不具合が生じる。

- ・ ビード幅の増大
- ・ 入熱量の増加
- ・ 溶接部の過度な酸化

①ノンフィラ溶接・ストリング（動画 03. ノンフィラ ストリング）

用意した母材を用いて下図のようにビード置きの練習を行う。以下の3点を目標に作業に取り組むとよい。

- ・ビードの中心がけがき線と平行となること
- ・ビードの幅を揃えること
- ・母材の裏側に溶け落ちないようにすること

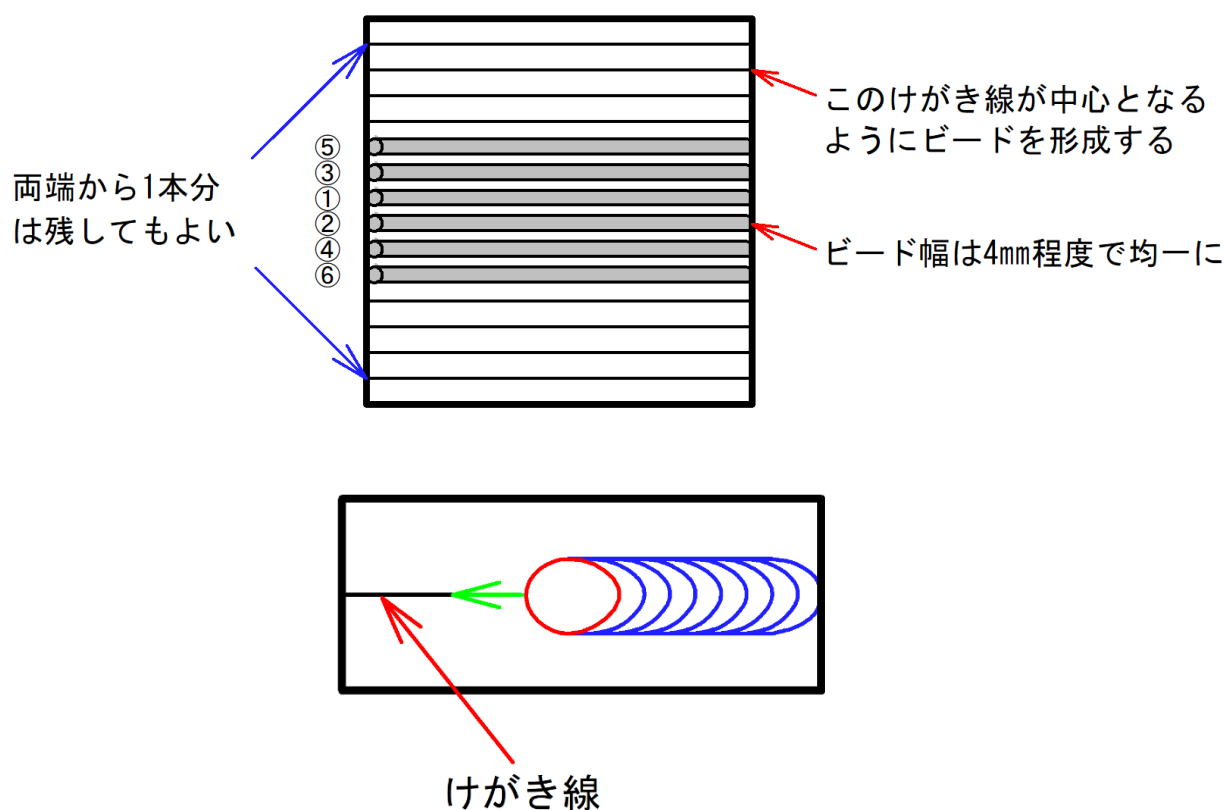


図. 練習のイメージ

溶接後はビードおよび熱影響部が酸化されるため、必要に応じてワイヤブラシで表面の酸化被膜を除去するとよい。また、溶接後は母材の温度が上昇するため、2～3本ビードを置いたら空冷や水冷により、母材温度を下げた後に次の練習を行う。

○ビードの形状や状態の不具合について

溶接技術を向上させるためには反復して練習を行う必要がある。しかしながら、ただ反復練習をするだけでなく、練習ビードを形成したらビードの観察を行い、良い点と悪い点を把握したうえでどのような点を改善すべきか考えてから次の練習を行う必要がある。

以下にビードの形状や状態の不具合について一例を表す。

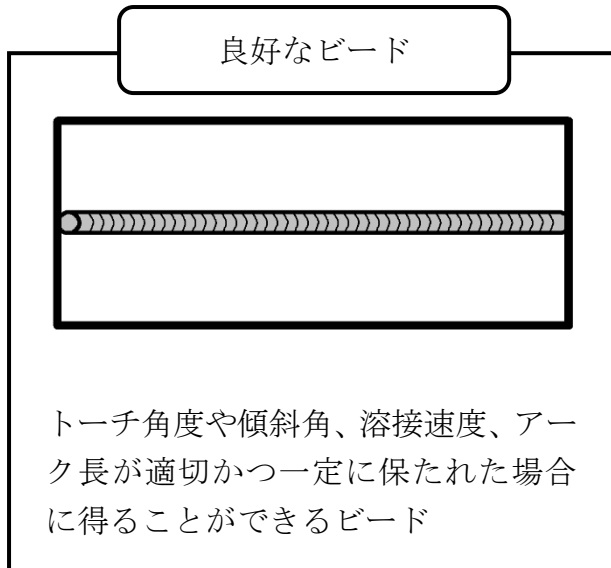


写真. 良好なビード

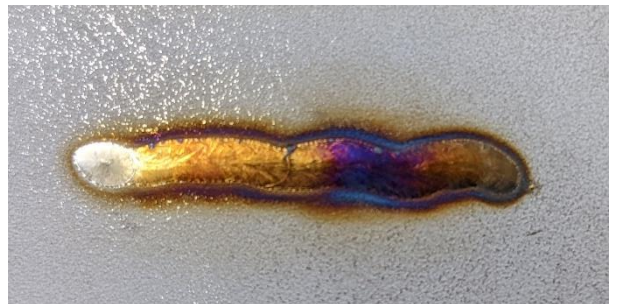
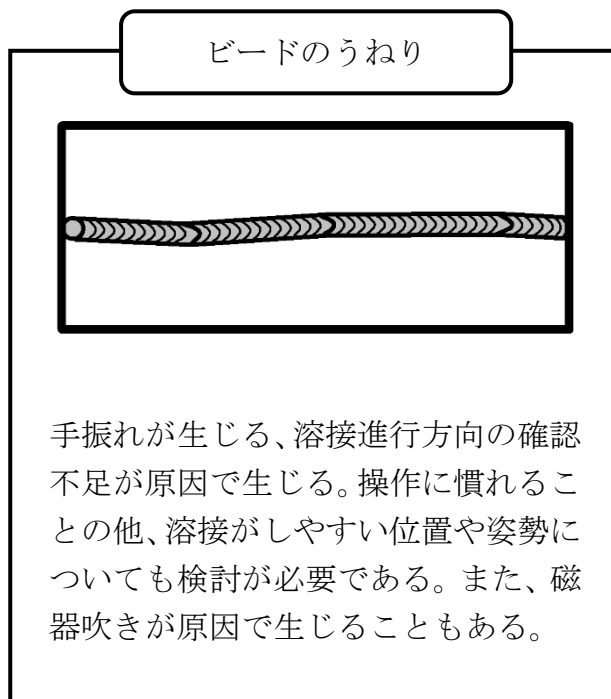
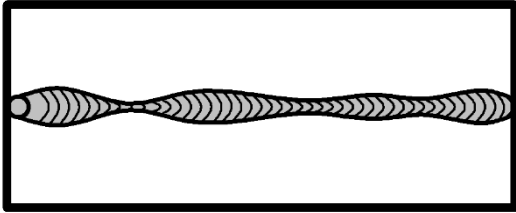


写真. ビードのうねり

ハンピングビード

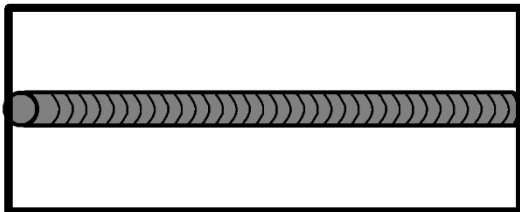


極端な手振れや溶接速度の変化が原因で、溶接速度が一定でも極端に速いと生じる。



写真. ハンピングビード

溶接部の著しい酸化



※表面が黒く光沢がないビード

アーク長が長い、溶接速度が遅い、電流値が高い等が原因で生じる。また、風などが原因でシールドガスの効果が薄れた場合も生じやすいため、周囲の作業環境へも配慮が必要である。



写真. 溶接部の著しい酸化

②ノンフィラ・ウィービング (動画 04. ノンフィラ ウィービング)

用意した母材を用いて下図のようにビード置きの練習を行う。以下の3点を目標に作業に取り組むとよい。

- ・ビードの中心がけがき線と平行となること
- ・ビードの止端とけがき線を一致させること
- ・ピッチを等間隔で形成できること

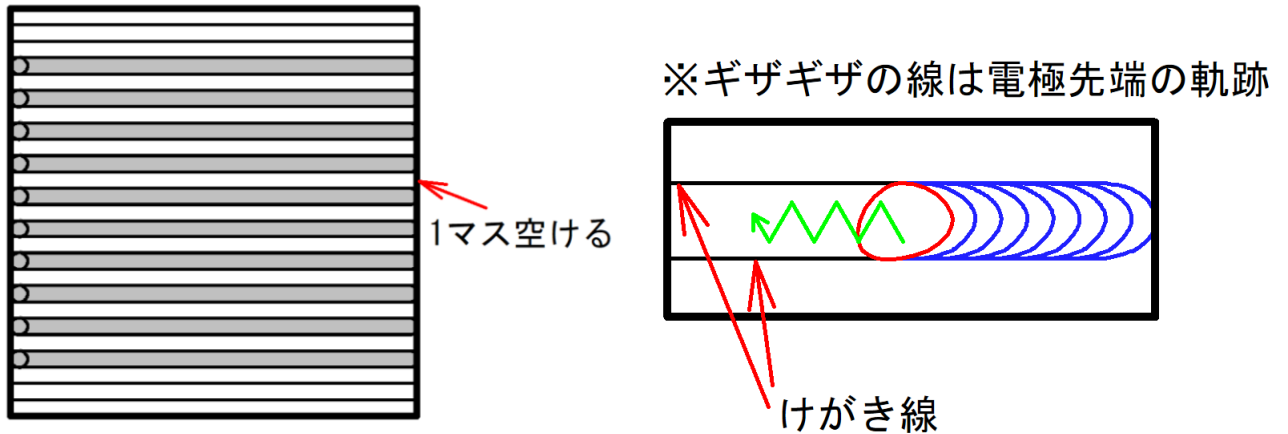


図. 練習のイメージ

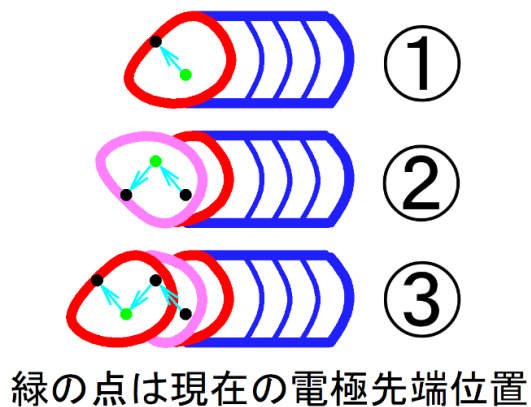


写真. ノンフィラ ウィービング

ビードの両止端がけがき線と一致するようにトーチ操作を行う。溶接中は溶融池の広がりを目で確認しながら作業を行い、両端で少し止まるようにするとよい。電極先端がけがき線より外にでないようにトーチを動かす。

○ウィービングのピッチについて

ウィービング操作時において、反復する動きを1回行ったときに溶接進行方向へ進む距離を『ピッチ』と呼ぶ。このとき、進む距離が短い場合をピッチが細かい、反対に進む距離が長い場合をピッチが粗いと表現することがある。ピッチの幅については、細かすぎても粗すぎても良くない。また、ビードの始端から終端までピッチが一定であることが望ましい。

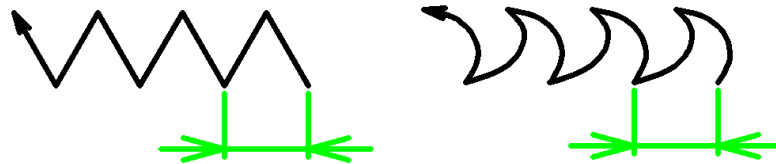


図. それぞれの場合におけるピッチ



図. ピッチが細かいビード



図. ピッチが粗いビード

表. ピッチ幅による種々の比較

ピッチが細かい場合	比較項目	ピッチが粗い場合
直線的にそろいやすい	ビード止端	うねりやすい
揃いやすい	ビードの高さ	凹凸が生じやすい
細かい	ビードの波形	粗い
生じやすい	ビードの酸化	生じにくい
多い	入熱量	少ない
多くなりやすい	製品のひずみ量	比較的少ない

③ウイズフィラ溶接・ストリング（動画 05. ウィズフィラ ストリング）

用意した母材を用いて下図のようにビード置きの練習を行う。板厚 3.0 mmの母材に対して、溶加棒は直径 1.6 mmもしくは 2.0 mmのものを用いるとよい。以下の4点を目標に作業に取り組むとよい。

- ・ビードの中心がけがき線と平行となること
- ・ビードの幅を揃えること
- ・母材の裏側に溶け落ちないようにすること
- ・ピッチを等間隔（目安として 1.5 mm程度）で形成できること

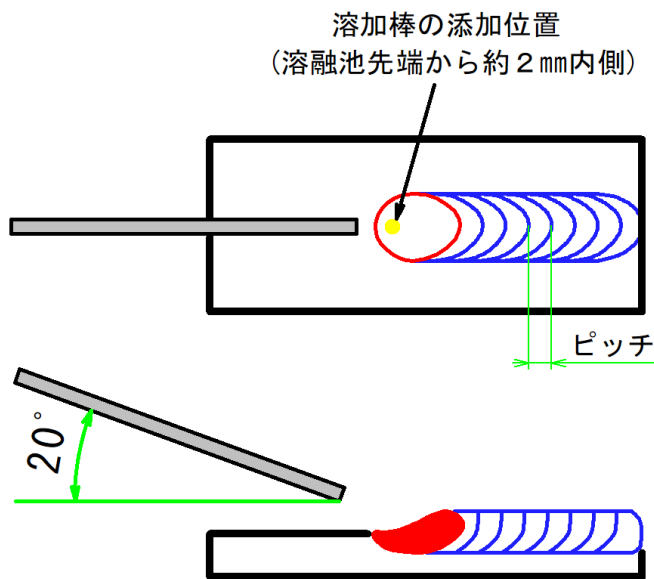


写真. ウィズフィラ ストリング

図. 練習のイメージ

また、ウィズフィラ溶接の作業要領については以下の操作を繰り返すようにするとよい。

- (1) 溶融池を形成する ⇒ 直前のビード幅と等しい幅になるように
- (2) 溶加棒を添加する ⇒ 溶加棒の先端で溶融池に軽く触れるように
- (3) トーチを進める ⇒ 毎回等間隔で進める

○溶加棒の持ち方について

多くの場合、利き手でトーチを持ち、反対の手で溶加棒を持ちながら作業を行う（以下の写真を参考）。溶接作業中は必要な分だけ溶加棒を送りながら作業することが望ましいが、溶加棒を送り作業に慣れるまでは困難であるため、少し溶加棒を長めにもち溶加棒を持つ位置は変えず作業をするとよい。なお、皮手袋を必ず着用すること。

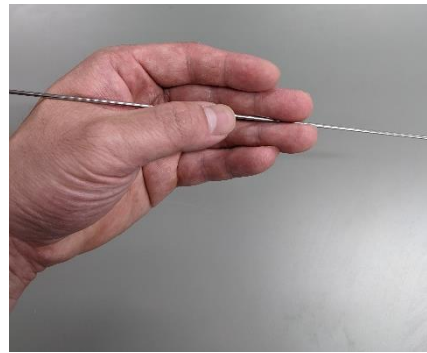
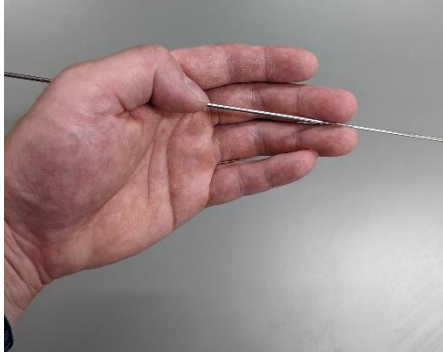


写真. トーチの持ち方例（左：溶加棒送る前の状態 右：送った後の状態）
（撮影のため皮手袋は外している）

○作業中の注意事項

ウィズフィラ溶接作業中、特に気を付けるべき点を以下に述べる。

- ・ トーチを倒しすぎない ⇒ 溶接作業中、無意識に手首が寝てしまわないように注意する。
- ・ アークを長くしすぎない ⇒ 溶加棒を熔融池に添加する際、電極との接触を避けるためにトーチを遠ざけないよう注意する。
- ・ 電極先端形状を確認する ⇒ 電極先端が変形するとアーク形状が乱れるため、溶加棒の添加や熔融池の形成がうまくいかなくなる。

上記は溶加棒の先端が『ダマ』になる主な原因である。溶加先端がダマになると熔融池から棒先端が逃げていくような挙動を示すため、作業が妨げられる。また、母材の上に落ちた場合は溶接欠陥に直結するため、工具等を用いて除去しなければならない。慣れないうちは棒先端がダマになった時点で一度作業を中断した方がよい。

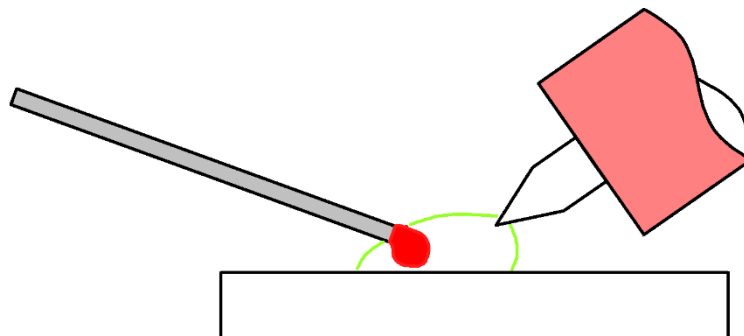


図. 溶加棒先端がダマになるイメージ

④ウイズフィラ溶接・ウィービング（動画 06. ウィズフィラ ウィービング）

用意した母材を用いて下図のようにビード置きの練習を行う。板厚 3.0 mmの母材に対して、溶加棒は直径 1.6 mmもしくは 2.0 mmのものを用いるとよい。以下の4点を目標に作業に取り組むとよい。

- ・ビードの中心がけがき線と平行となること
- ・ビードの幅を揃えること
- ・母材の裏側に溶け落ちないようにすること
- ・ピッチを等間隔で形成できること

なお、作業要領については前項③と同じであるが、ノンフィラ（ウィービング）とウィズフィラ（ストリング）の両方を十分に練習しておく必要がある。

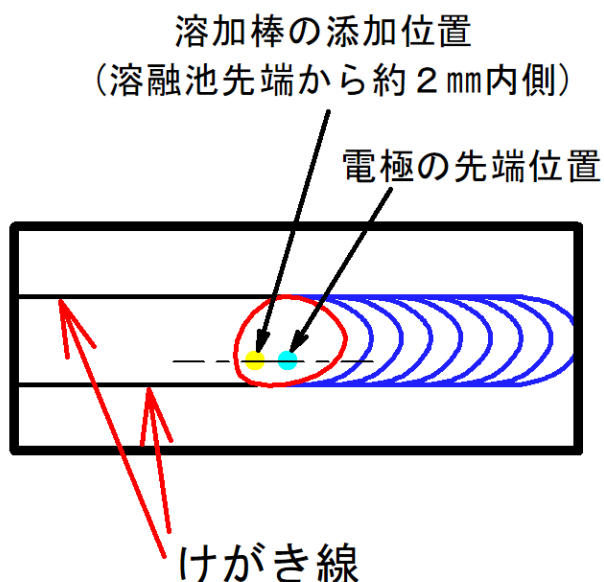


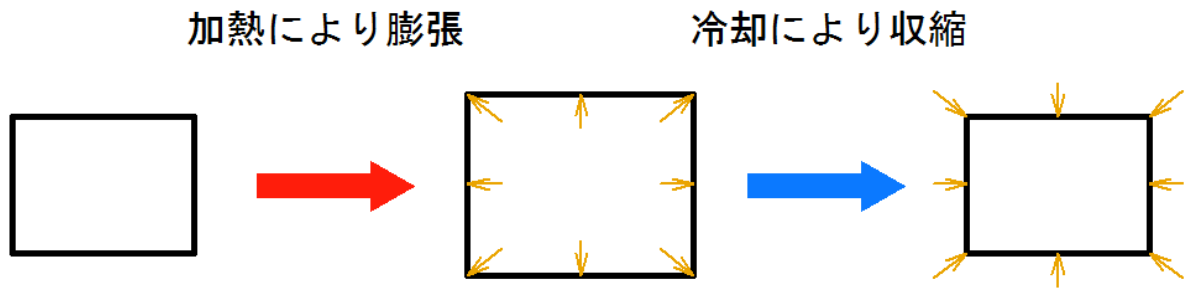
図. 溶加棒添加位置のイメージ



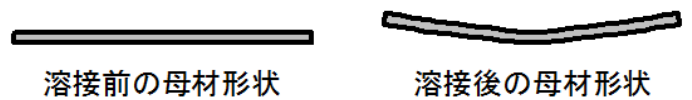
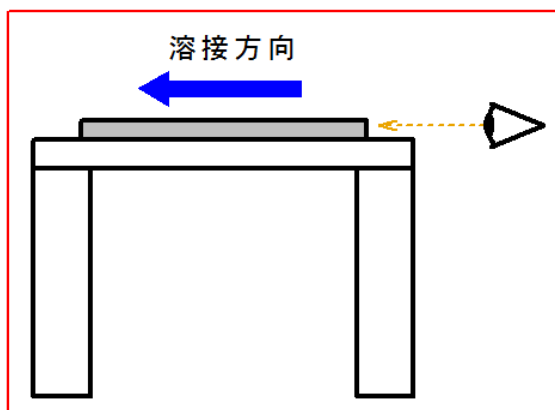
写真. ウィズフィラ ウィービング

○溶接による母材の変形を考慮した練習

一般的に物体は加熱されると膨張し、冷却されると収縮する。



溶接作業は母材を局部的に加熱し、その後冷却されるため、膨張と収縮が不均一に発生する。このため、溶接後の母材には変形（ひずみ）が生じる。ひずみが生じないように予め母材を治具などで拘束する、あるいはハンマによるピーニングや機械による加圧によってひずみを除去するなど、変形防止に向けて様々な対策を状況に応じて実施することとなる。



左図の状態から見た母材変形イメージ

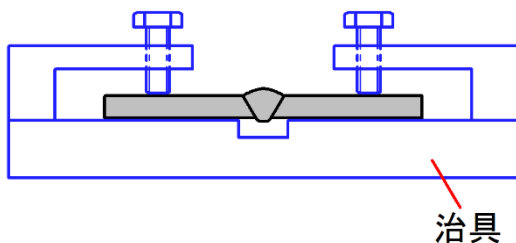


図. 治具による母材固定イメージ

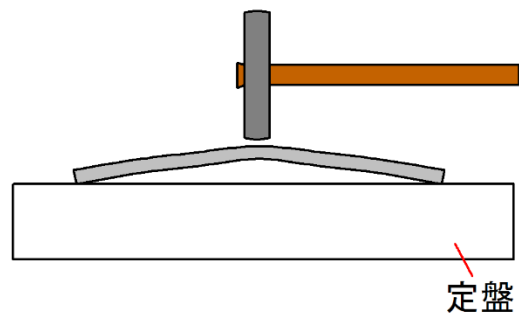
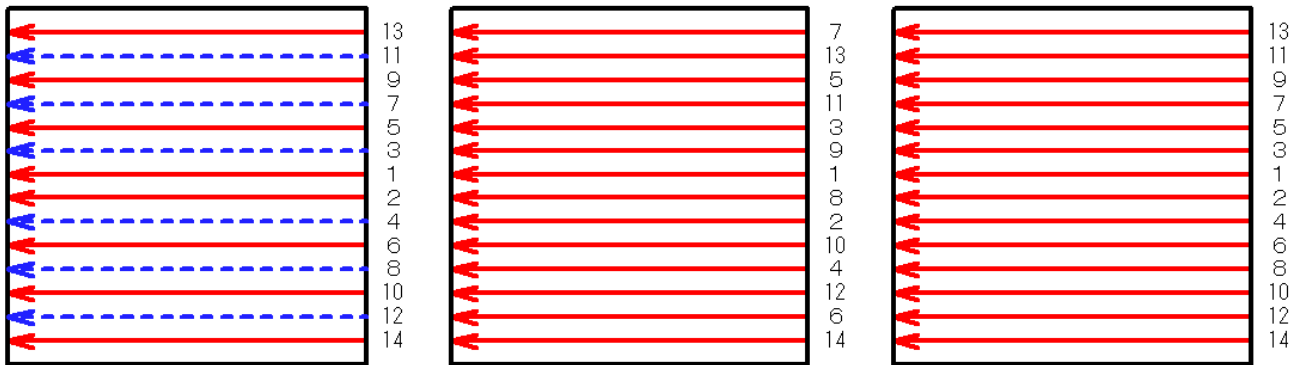


図. ハンマによるピーニングのイメージ

ここで、溶接の順序や方向の違いによる母材変形量の比較を行った結果を示す。以下はビード置き順序と母材の変形量を比較したものである。

← 母材表側からビード置きを実施
 ← 母材裏側からビード置きを実施

数字はビード置きの順番を表す



①表裏混合で板中央から外側方向にビード置き（予め両面にけがき作業）

②板中央から外側方向に1つ飛ばしでビード置き

③板中央から外側方向にビード置き



①

②

③

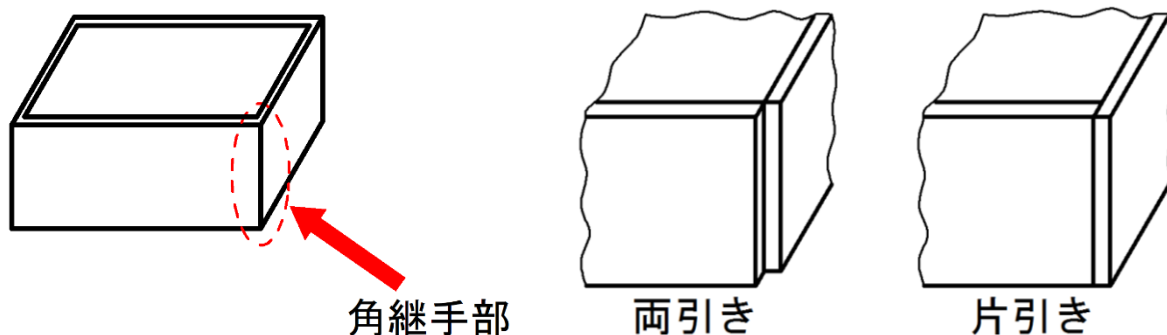


写真. ビード置き実施後における母材変形量の比較

上記の②もしくは③の順序でビード置きを行うと母材が作業台から浮いてくるため、途中でピーニング処理が必要となる場合がある。このため、①のように表裏両側から交互にビード置きを行うことで、変形除去の手間を省くことができる。

6-2. 角継手の溶接について

例として、容器やカバー等の角部のように、両部材が直交している箇所を接合する際に行う方法である。



本溶接法の実習は以下の順序で行う。

6-2-1. タック溶接

6-2-2. 本溶接

○溶接条件について

溶接条件の一例を次のとおり示す。なお、タングステン電極の突き出し長さは3mm程度とする。

設定項目	設定値
プリフロー	1 秒
初期電流	30A
アップスロープ	1 秒
溶接電流	60A
ダウンスロープ	1 秒
クレータ電流	40A
アフターフロー	5 秒

○練習用材料の準備

使用する母材：ステンレス鋼板 SUS304-CP t2.0×30×100

タック溶接（仮付け）により、下図の例で示すような形状の部材を準備する。

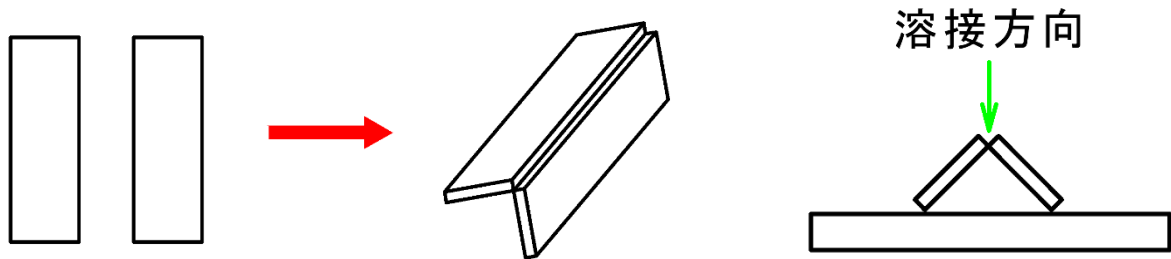


図. 練習用材料の形状例

6-2-1. タック溶接（仮付け）作業について

タック溶接を行う際は、専用の治具などを用いることにより正確かつ迅速に作業ができるが、ここでは扱う母材が比較的小さいため、材料を点溶接によって固定した後に曲げることで角部を形成する方法をとる。

①母材のセット

下図（左）のように、平らな作業台の上に部材を置き、両部材の端面を揃えて突き合わせる。また、使用する部材がシャーリングマシンによりせん断加工されたものである場合、板の端部形状が下図（右）になる。作業台に母材を置くときは、両部材『ダレ』側を上に向けておく。

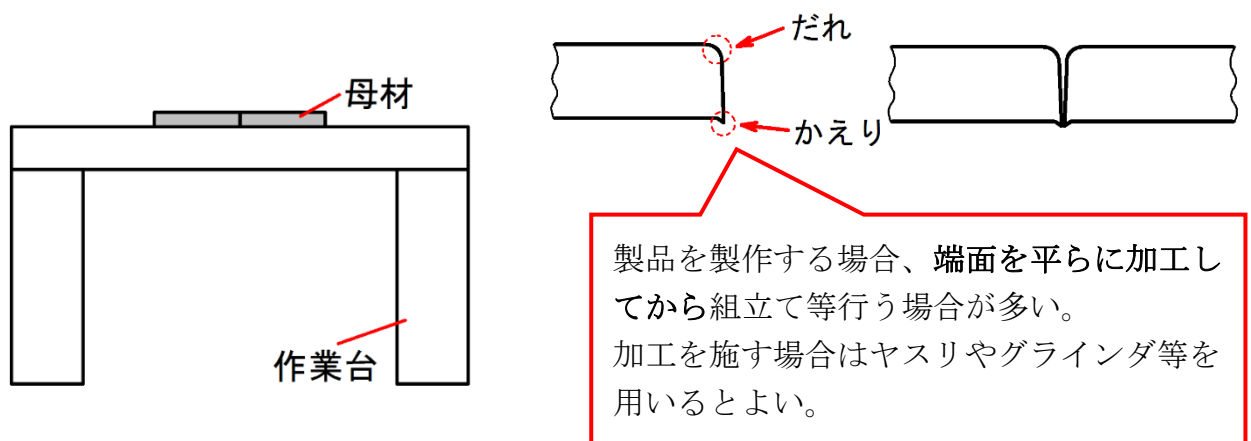
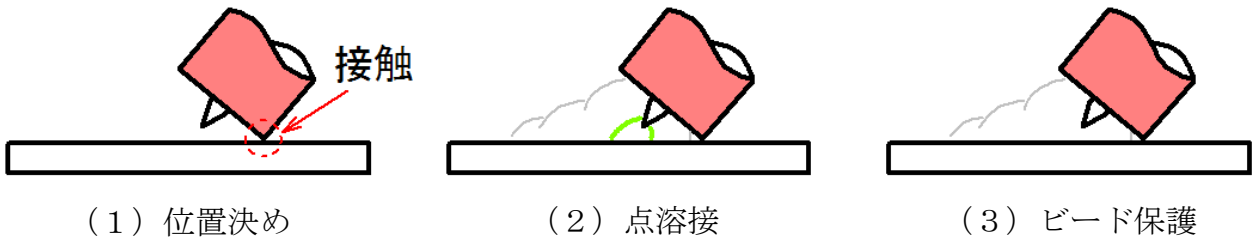


図. 部材のセット方法

②点溶接作業

以下の手順で点付け溶接を行う。

- (1) ノズルを接触させた状態で電極の位置決めを行う
- (2) アークを発生させて部分的に接合させる
- (3) アーク消弧後もシールドガスで接合箇所を保護する



また、点付け作業を行う手順は下図のとおりである。なお、仮付けビードの溶込みが浅い場合、次工程の曲げ作業の際に仮付部が外れてしまう恐れがあるため、両端部については板厚全域にわたり溶込みが得られるようにする。

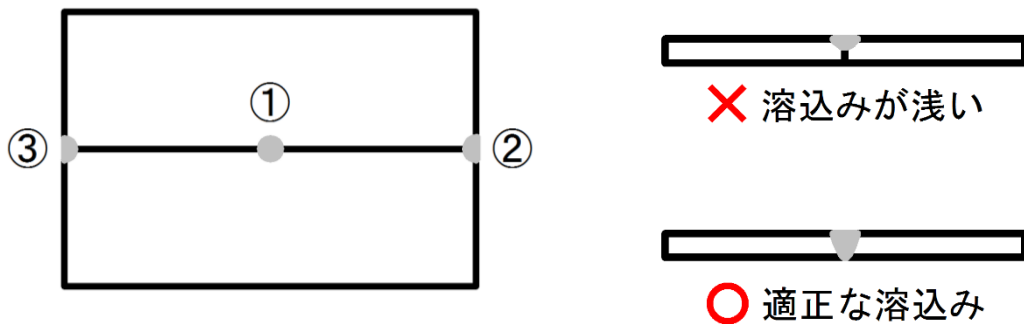


図. 点付けの順序及び溶け込み

参考までに、種々の状態における点付け順序の例を下図のとおり示す。

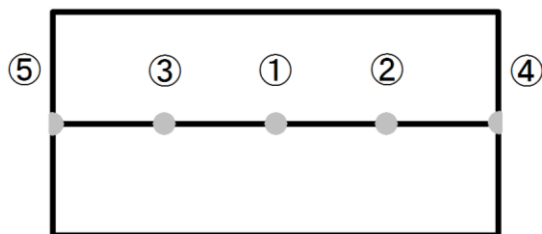


図. 薄板もしくはは溶接長が長い場合

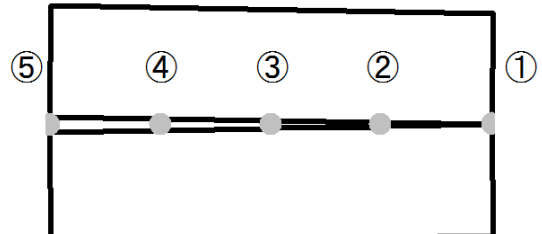
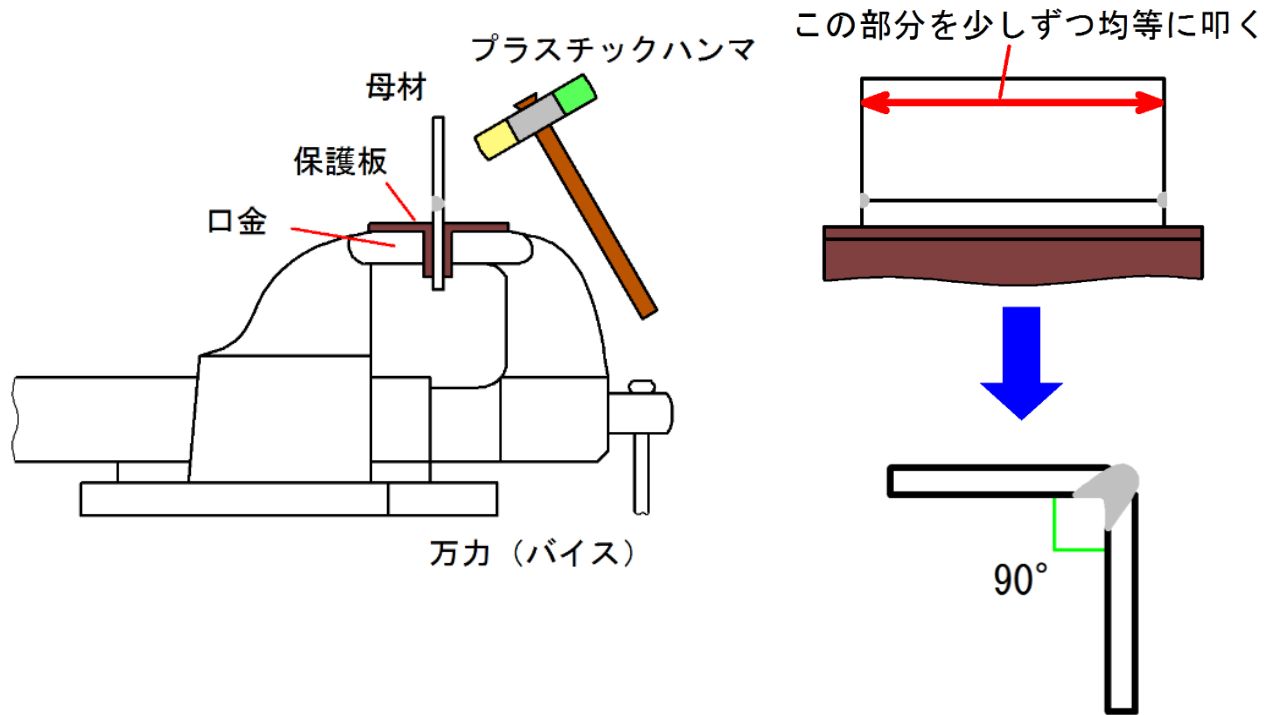


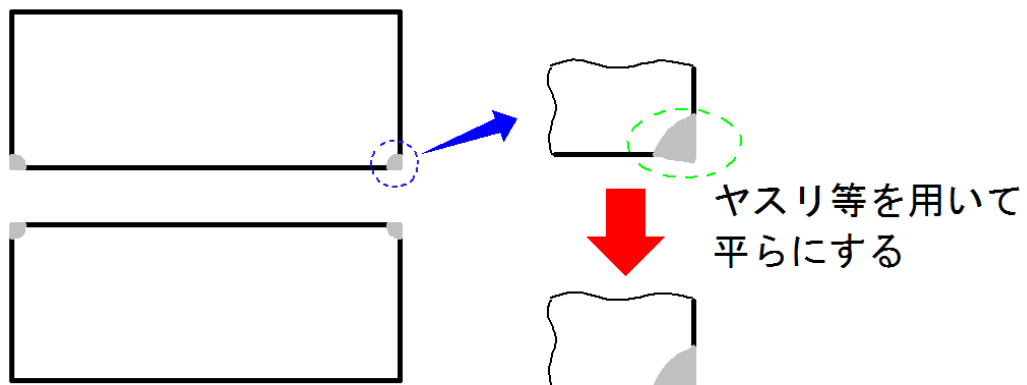
図. すき間ある場合

③曲げ作業

予め、アルミや革など母材よりもやわらかい材質の保護板等をバイスの口金にかけておく。仮付け後の母材を下図のようにバイスに挟み固定する。その後プラスチックハンマ等で均等に母材を叩き、2枚の板を直交させる。



仮付け部が弱かったり叩く際に強い衝撃を与えすぎたりした場合、仮付け部が破断することがあるが、その場合は必ず破断部の形状を整えてから再度仮付け作業をする。



6-2-2. 本溶接について

○アーク長及びトーチ角度について

アーク長及びトーチ角度は下図のようになるとよい。

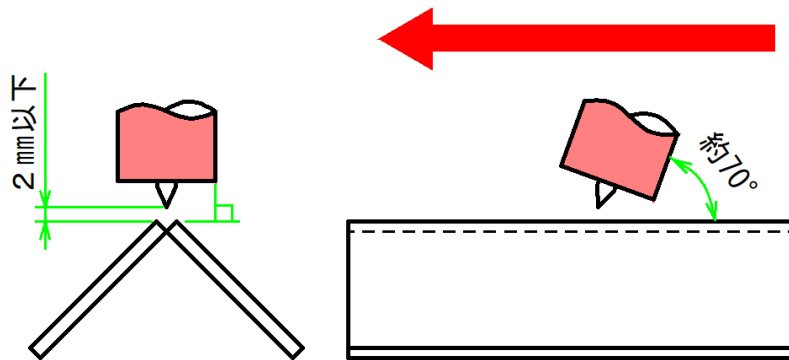


図. 適正なアーク長及びトーチの角度

トーチの角度が不適正であると溶接部の外観や品質が悪くなる（下図を参照）。

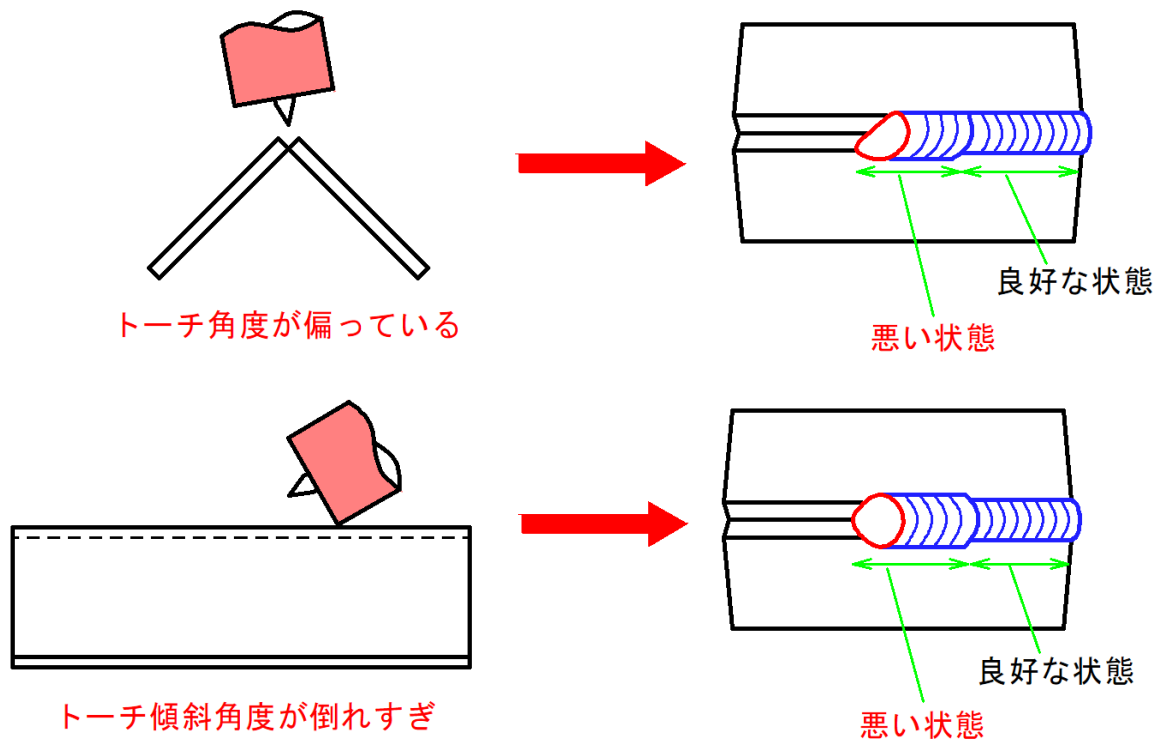


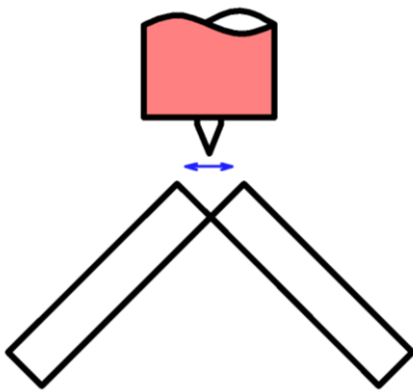
図. 不適正なアーク長及びトーチ角度

○溶接方法について

- ①ノンフィラ溶接・ウィービング
- ②ウイズフィラ溶接・ストリング

①ノンフィラ溶接（動画 07. 角継手 ノンフィラ）

トーチの操作をウィービング法とすることで、角部を確実に溶かすことができ、手振れも抑えられるためビード幅が揃いやすい。さらに熱がこもるのを防ぐことができるためストリングよりも作業性が良い。



角部は溶融池で必ず溶かしながら作業する

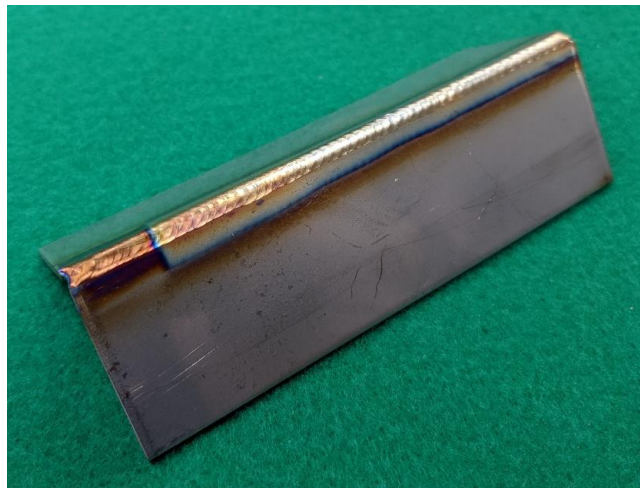
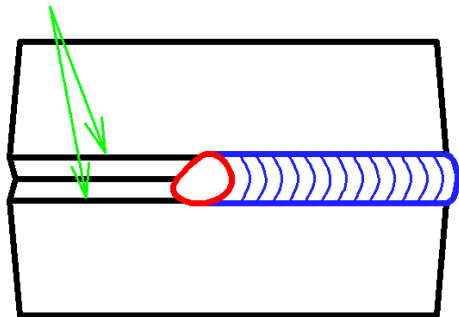


写真. 角継手 ノンフィラ

②ウイズフィラ溶接（動画 08. 角継手 ウィズフィラ）

板厚 2.0 mm の母材に対して、溶加棒は直径 1.2 mm もしくは 1.6 mm のものを用いるとよい。今回は板厚が比較的薄いこと、またノンフィラに比べて比較的溶接速度が遅く溶融池が広がりやすくなることからストリング法を採用する。また、溶融池の形状により溶接結果の予想が可能である。

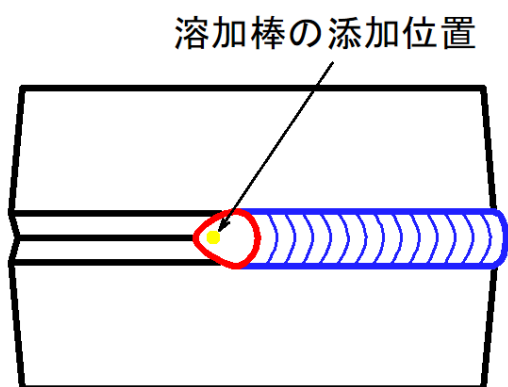


図. 裏側を溶かす場合の溶融池

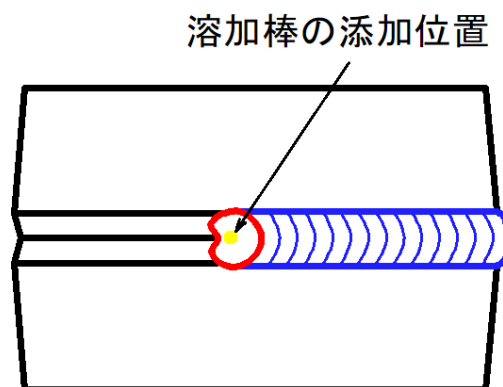


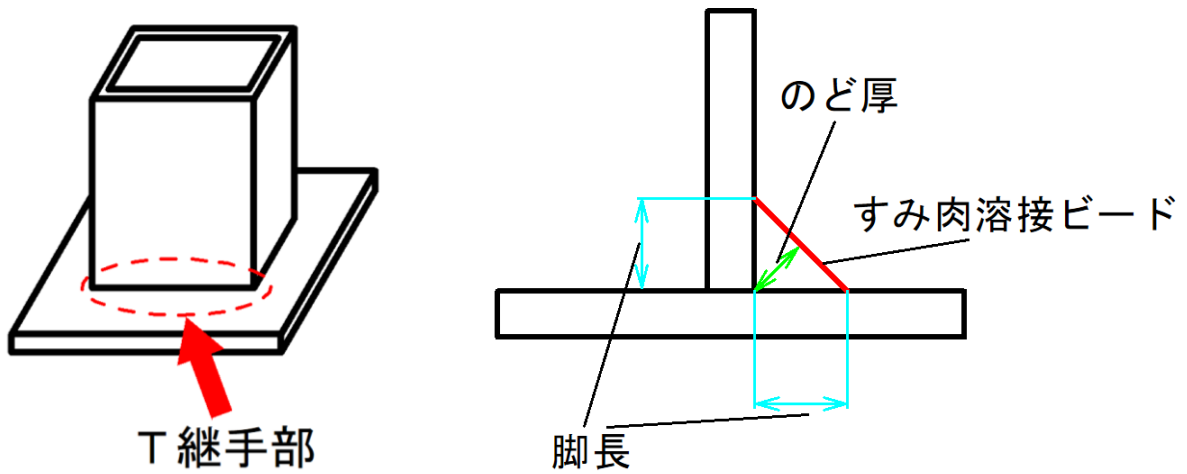
図. 裏側を溶かさない場合の溶融池



写真. 角継手 ウィズフィラ

6-3. T継手の溶接について

一般に『すみ肉溶接』と呼ばれることが多く、直交する2つの部材の隅を接合する作業である。非常に多く用いられる接合方法であり、大小さまざまな製品に適用されている。



本溶接法の実習は以下の順序で行う。

- 6-3-1. タック溶接
- 6-3-2. 本溶接

○溶接条件について

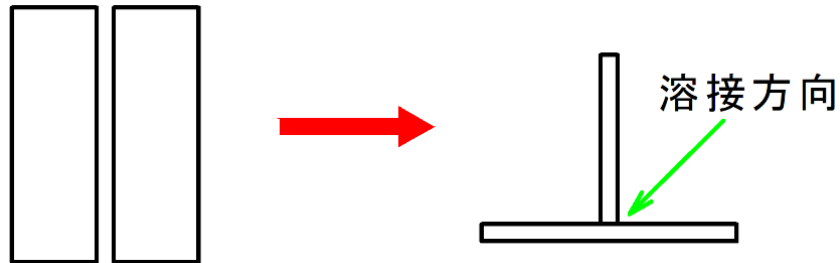
溶接条件の一例を次のとおり示す。なお、タングステン電極の突き出し長さは8mm程度とする。但し、ノズルが母材に接触しないのであれば、シールドガス効果をも高めるために突き出し長さを短くする。

設定項目	設定値
プリフロー	1 秒
初期電流	40A
アップスロープ	1 秒
溶接電流	80A
ダウンスロープ	1 秒
クレータ電流	55A
アフターフロー	5 秒

○練習用材料の準備

使用する母材：ステンレス鋼板 SUS304-CP t2.0×30×100

タック溶接（仮付け）により、下図の例で示すような形状の部材を準備する。



6-3-1. タック溶接作業について

多少の慣れは必要であるが、特別な治具を用いなくても比較的簡単に作業できる方法を紹介する。

①母材のセット

下図（左）のように平らな作業台の上に部材を置き、下図（右）のように2つのブロックで立板側の部材を固定する。

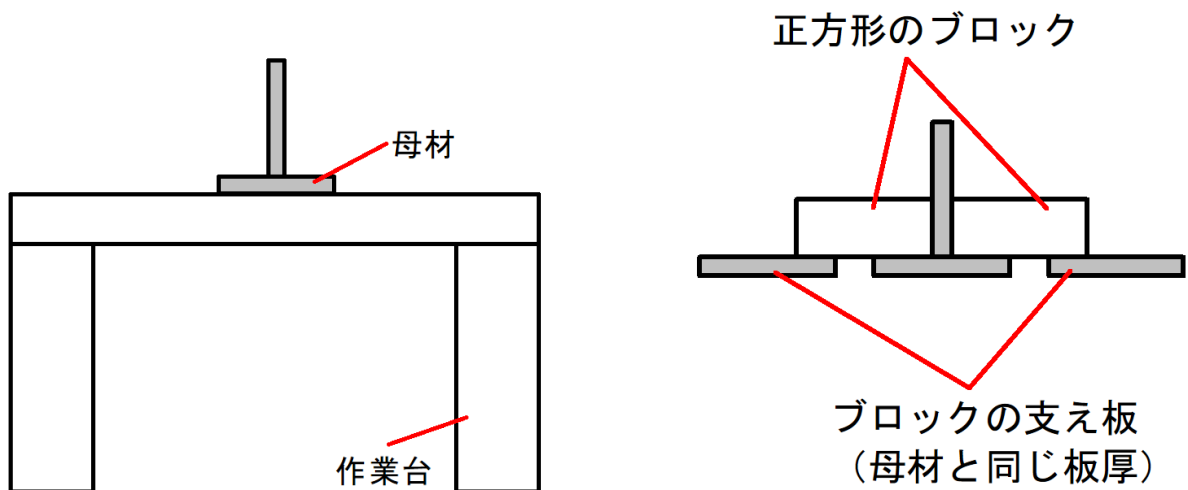


図. 部材のセット方法

②点溶接作業

以下の手順で点付け溶接を行う。

- (1) ノズルを接触させて、電極先端をルート部（両母材の交わる箇所）に近づける
- (2) アークを発生させて部分的に接合させる
- (3) アーク消弧後もシールドガスで接合箇所を保護する

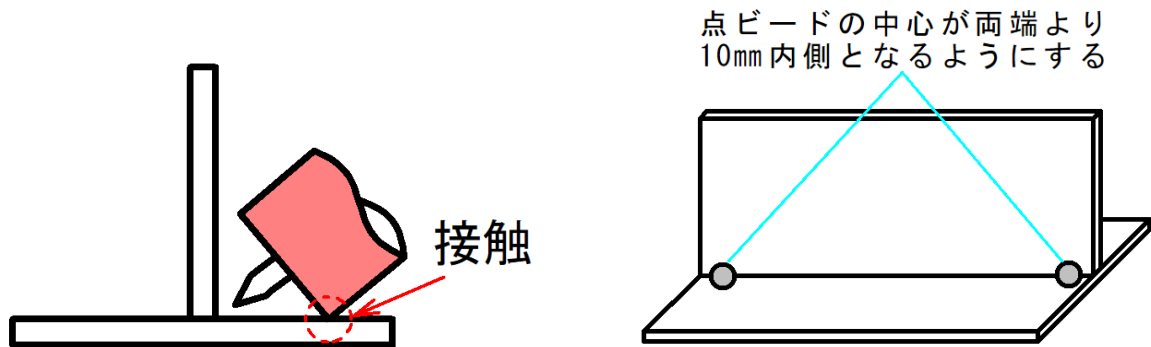


図. 点付け時のトーチの状態とビードの位置

6-3-2. 本溶接について

○アーク長及びトーチの角度について

アーク長及びトーチの角度は下図のようにするとよい。

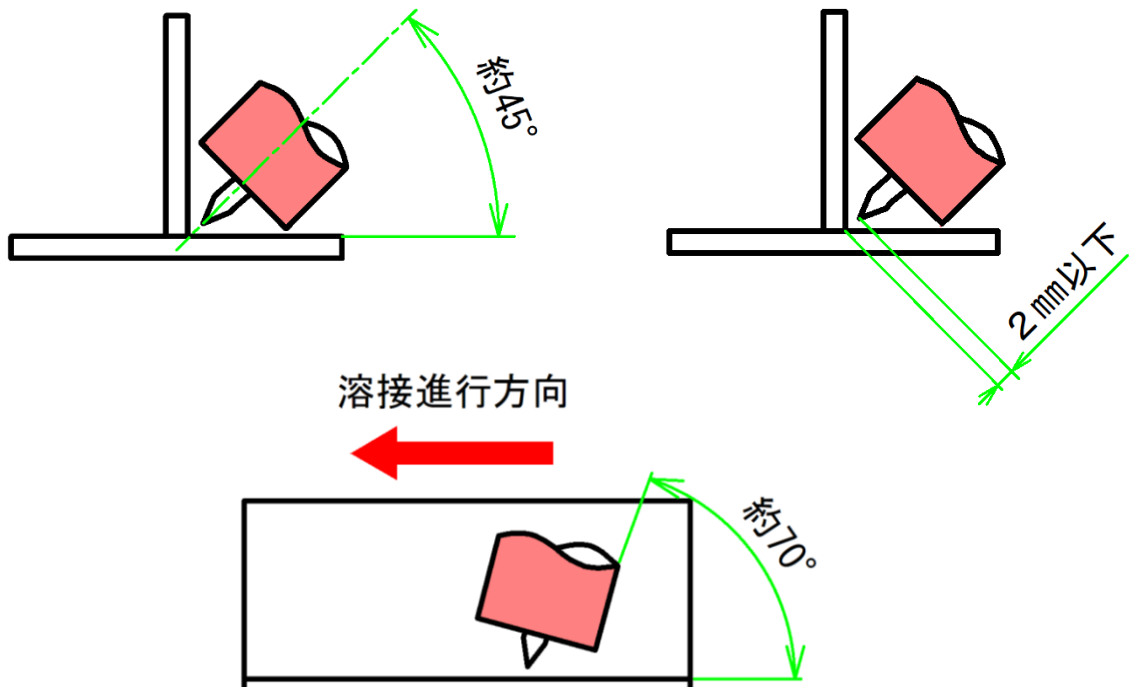


図. 適正なアーク長及びトーチの角度

電極先端形状、アーク長、トーチ角度及び電極先端の狙い位置が適正な場合、アークがルート部に集中するため、下図のように溶融池の先端が三角形に近い状態となり、良好な溶接結果が期待できる。

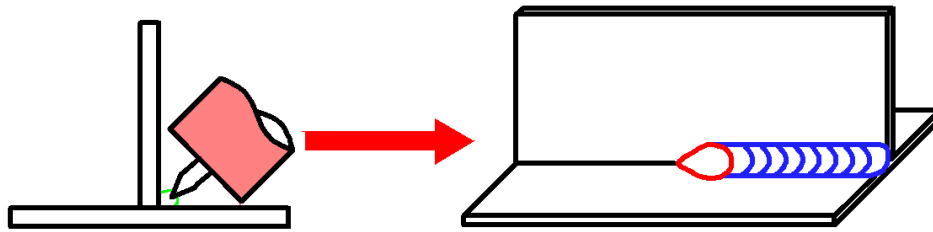


図. 良好な溶融池の状態



写真. 良好な溶融池の状態

一方で、電極先端形状、アーク長、トーチ角度及び電極先端の要素のうちどれか一つでも条件が整っていない場合、アークが広がることでルート部ではない箇所が溶融するため、下図のような状態となる。この場合、ルートが溶け込まないため溶接結果は不良となる。

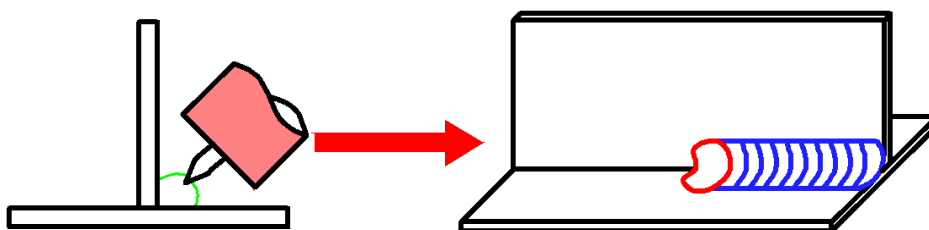


図. 不良な溶融池の状態

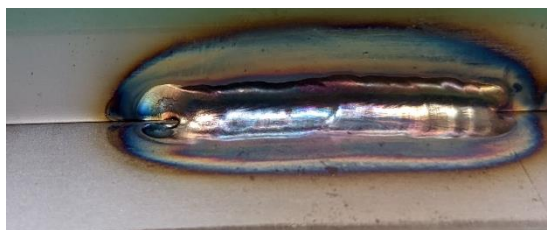


写真. 不良な溶融池の状態

○溶接方法について

- ①ノンフィラ溶接（ストリング）
- ②ウィズフィラ溶接（ストリング）

①ノンフィラ溶接（動画 09. T継手 ノンフィラ）

可能な限りアークを短くして作業を行う。なお、溶接が進むにつれて手首が倒れてトーチ傾斜角度が変化するとノズルが母材へ接触したり、ビードがうねったりするため、上記で述べた適正な状態を保てるよう練習を行う。なお、下図のように両部材に対して溶融池が均等に広がるようなトーチ操作を心掛ける必要があるが、トーチ角度が変化すると溶融池が片方の部材に偏る。

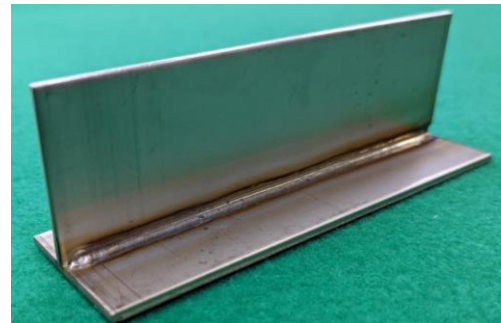
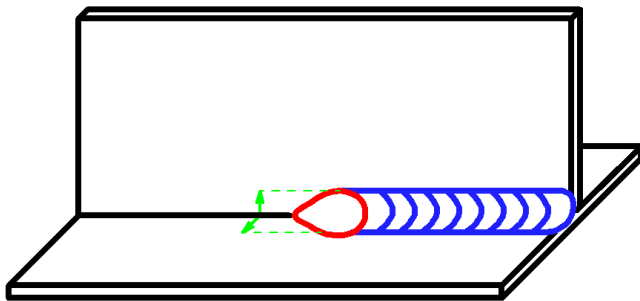


写真. T継手 ノンフィラ

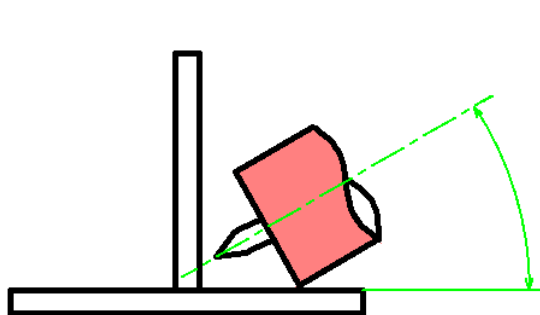


図. 立板側へ偏る場合

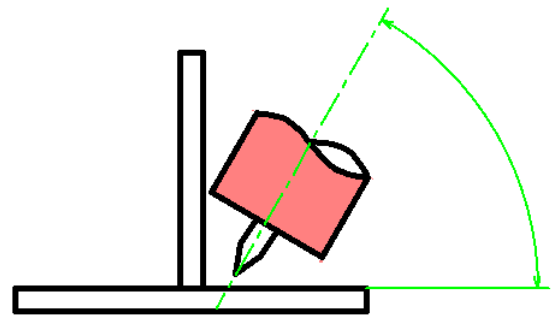


図. 底板側へ偏る場合

なお、底板と立板とでは熱容量が異なる。底板の場合は板の中央にアークが加わるため周囲に熱が伝わる。また、作業台に密着しているため作業台へも熱が逃げる。一方、立板の場合は板の端にアークが熱が集中するため、非常に溶けやすくなる。このため、立板側へアークが偏る場合は材料に穴が開く可能性が高くなるため注意する。

②ウイズフィラ溶接（動画 10. T継手 ウィズフィラ）

板厚 2.0 mmの母材に対して、溶加棒は直径 1.2 mmもしくは 1.6 mmを用いるとよい。基本的な作業方法はストリングのビード置きと似ているが、すみ肉溶接の場合はトーチの角度を意図的に倒すため、視界の確保や姿勢の維持が難しくなる。ノンフィラ溶接を難なくこなせるようになるまで練習してから本溶接方法に取り組む。

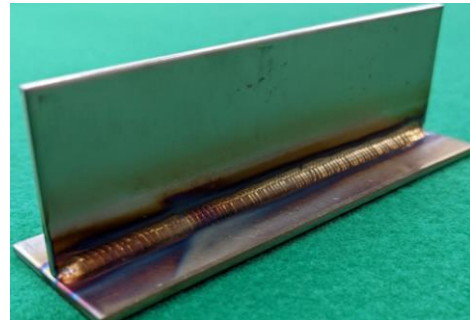
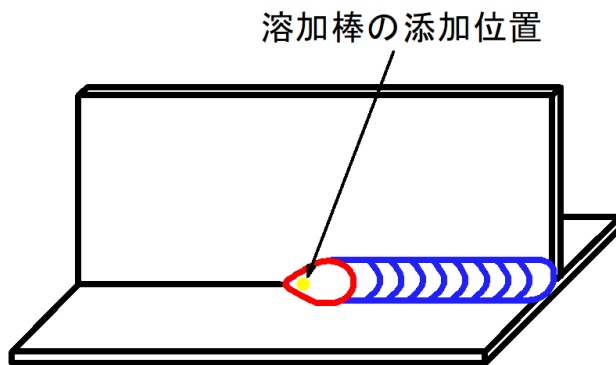


写真. T継手 ウィズフィラ

7. おわりに

本テキストの内容はあくまでも基礎的な内容ではあるが、溶接作業未経験にとってみれば難しい内容であると考えられる。また、用語や作業方法等について理解するにはテキストを読むだけでなく、実習をとおして経験を積むことが重要である。実習に先立って座学を受講した上で作業へ取り組み、再度テキストを見返すことで理解を深めることができる。

これから TIG 溶接作業に携わる人のための一助となれば幸いである。