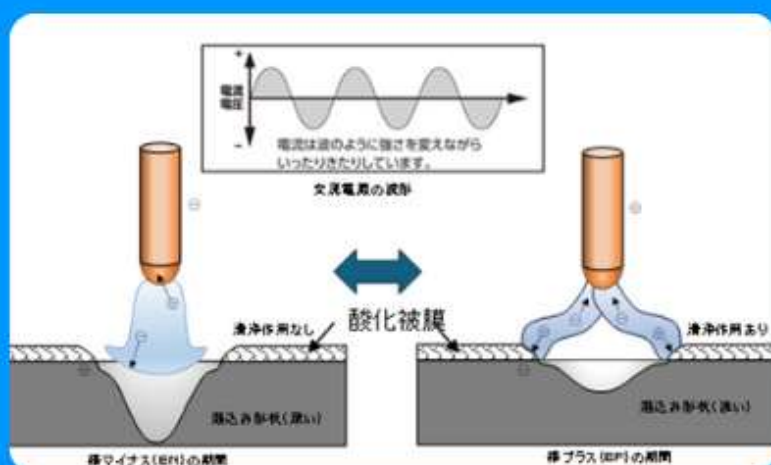


板金加工を学びたい
設計・技術者の為の入門書！

板金加工の 基礎知識

-接合方法の種類・アーク溶接編-



Produced by



高橋金属株式会社
TAKAHASHI METAL INDUSTRIES CO., LTD.

1	板金加工における接合について	．．．	P1-3
2	アーク溶接について【溶融接合】	．．．	P4-7
3	被膜アーク溶接について	．．．	P8-11
4	TIGアーク溶接について	．．．	P12-17
5	ガスシールドアーク溶接について	．．．	P18-23
6	スタッド溶接について	．．．	P24-30

板金加工における接合について

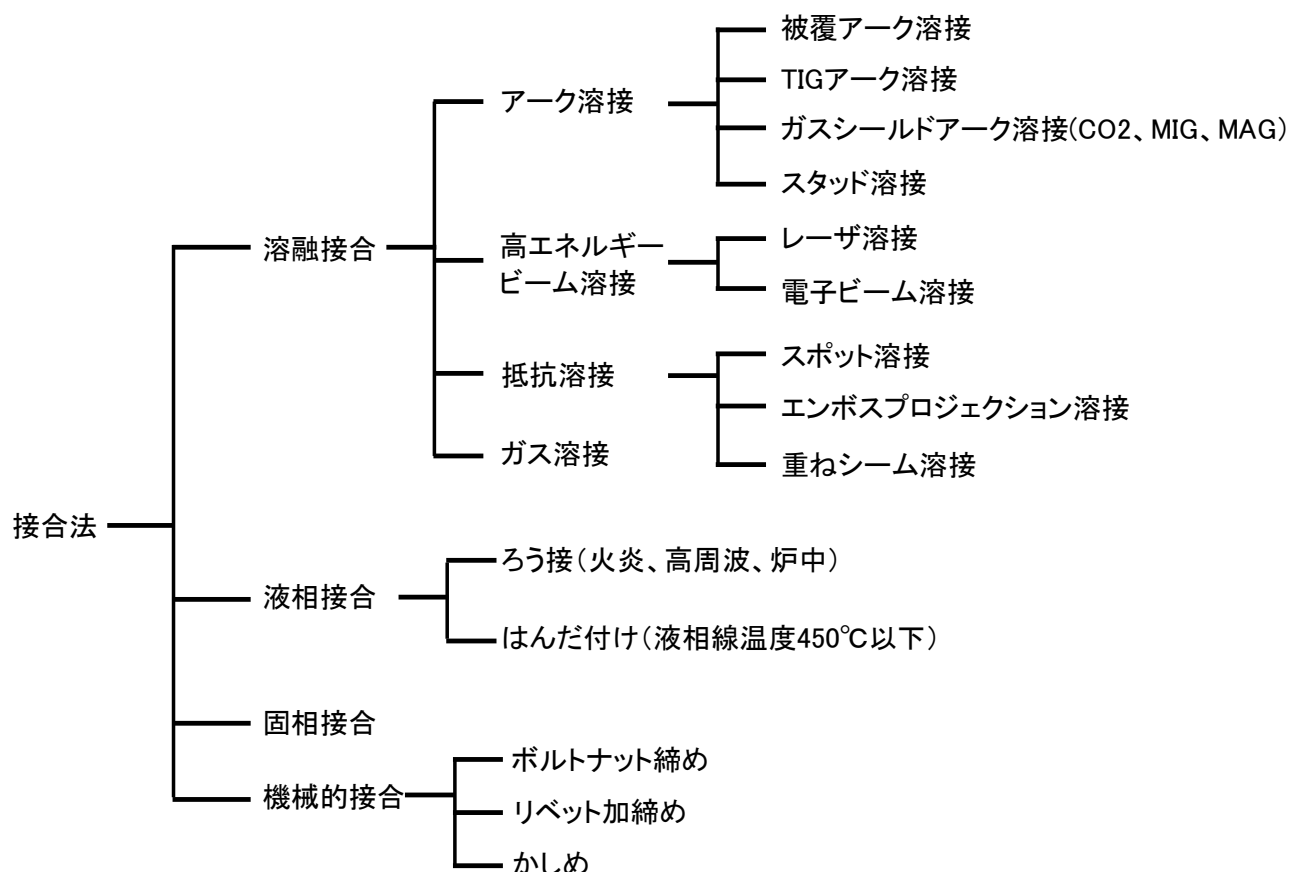
当ガイドブックでは、板金加工における接合法・アーク溶接について詳しく解説しています。

まずは板金加工における接合法について解説します。複数部品を組み付ける板金製品では、材質や板厚に適した「接合法」の選択が不可欠です。

不適切な方法を選ぶと接合強度が不足し、製品機能の不良や保証期間内の破損につながる恐れがあります。そのため、接合法の選択と加工条件の設定が製品品質の鍵となります。本コラムでは、代表的な接合法の体系と、それぞれの特徴について解説します。

接合法は大きく4つに分類されます。

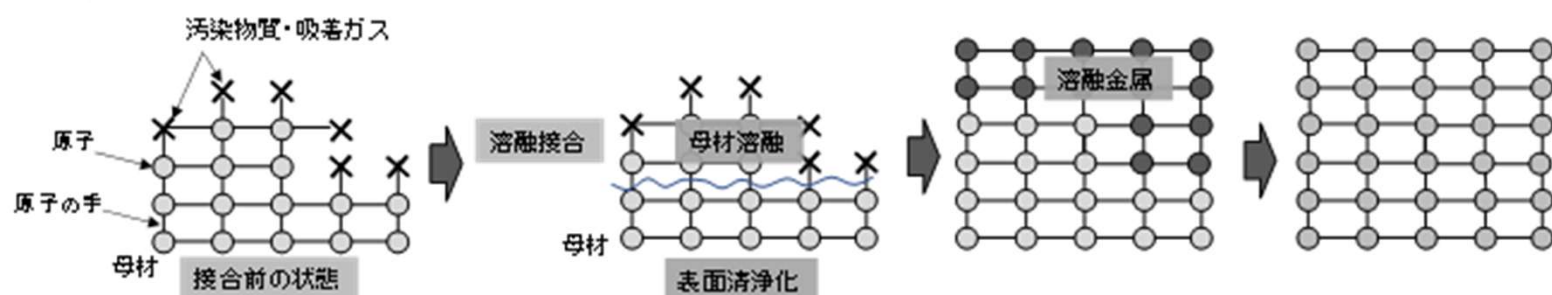
「溶融接合」「液相接合」「固相接合」「機械的接合」です。



溶融接合

溶融接合（融接）は、母材を溶かして融合させる方法で、アーク溶接・ビーム溶接・抵抗溶接・ガス溶接などがあります。接合時には母材表面の汚染物質や吸着ガスを除去し清浄化することが重要で、これにより溶融金属が安定して充填され、強固な接合が実現します。

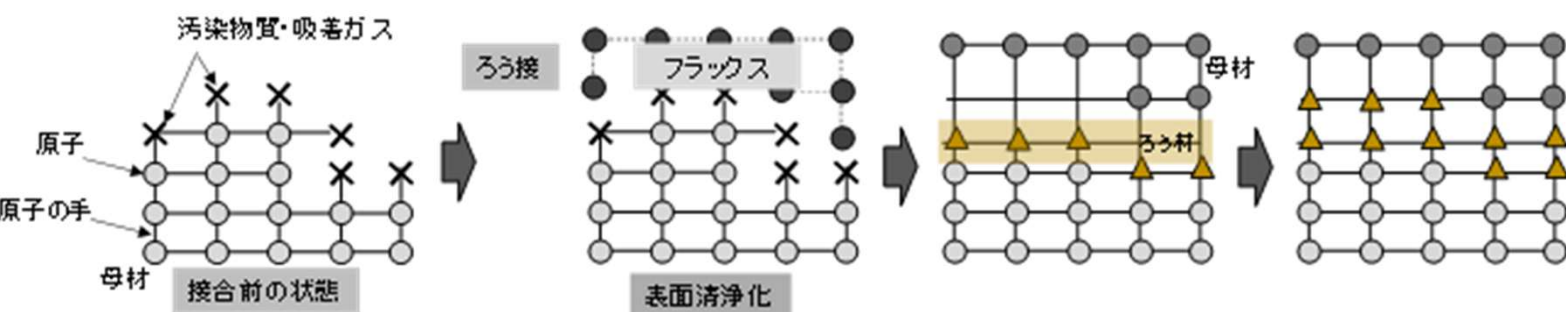
溶融接合の原理



液相接合

液相接合は、母材を溶かさず「ろう材」や「はんだ」といった低融点材料をすき間に流して接合する方法です。表面の汚染物質はフラックスで除去し、清浄化した状態で接合材を流し込みます。母材より柔らかい材料を使いますが、すき間を適切に制御することで、母材以上の強度を得ることも可能です。

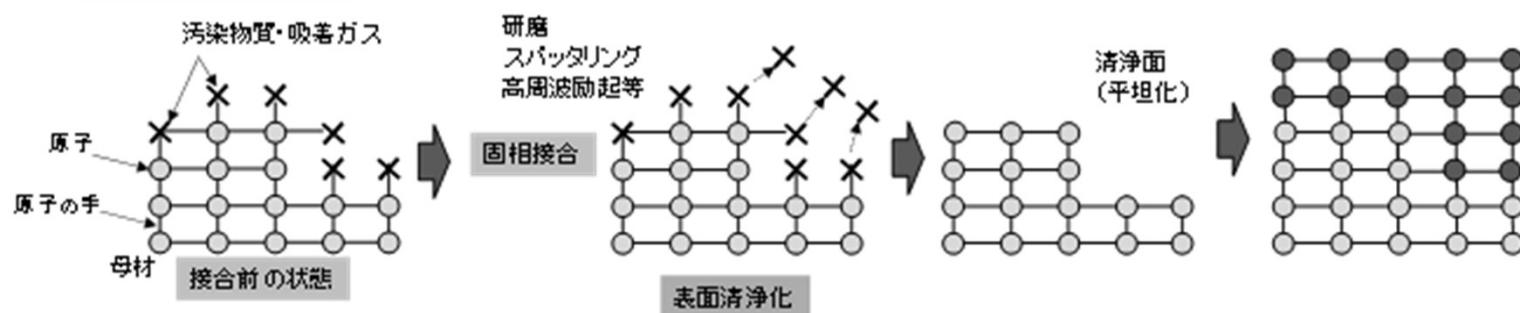
液相接合の原理



固相接合

固相接合は、母材を溶かさず融点以下の温度で加圧し、原子の拡散を利用して接合する方法です。代表的な工法には、摩擦攪拌接合（FSW）、ガス圧接、爆発接合、超音波接合があります。摩擦攪拌接合は、自動車部品の軽量化に活用され、GA材やアルミ合金の接合に用いられています。ガス圧接は鉄筋や鉄道レールの継ぎ目に利用され、強度と信頼性が求められる分野で活用されています。超音波接合は圧力と振動によって発熱・接合する方法で、電池端子や積層箔材の接合に広く使用されています。これらの接合法はいずれも接合前の表面清浄化が不可欠であり、研磨やスパッタリング、あるいは摩擦や振動による同時清浄化によって、安定した接合品質を確保します。

固相接合の原理



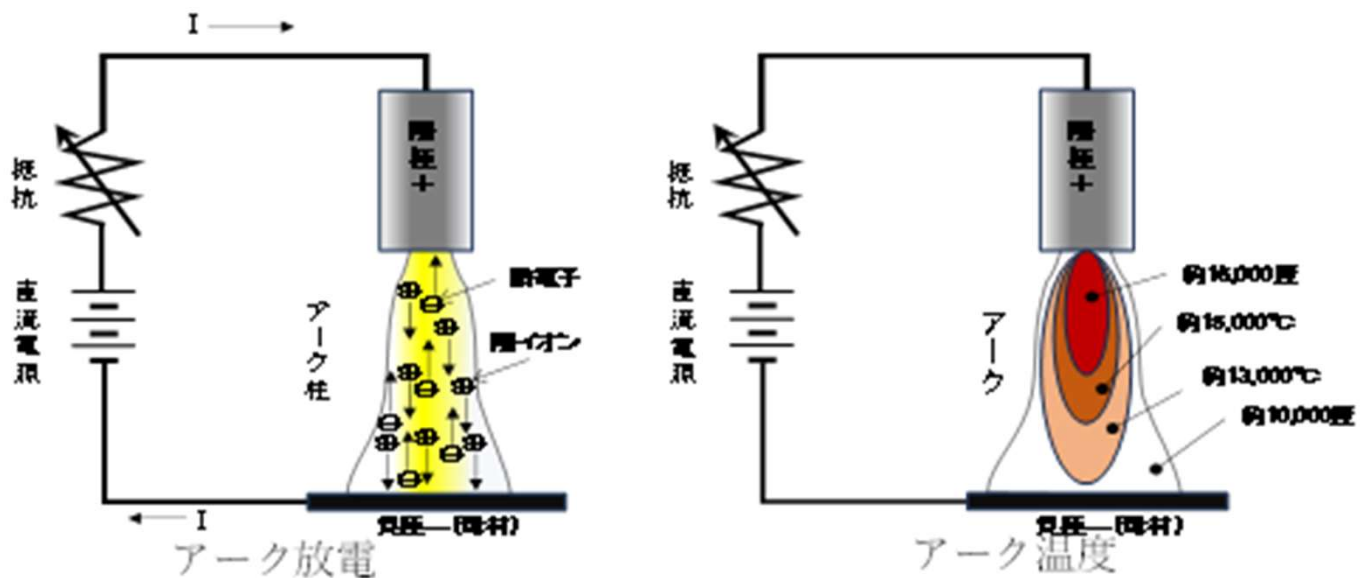
機械的接合

機械的接合には、取り外しを前提とする接合と、外さない前提の接合があります。前者ではボルト・ナットによる接合が代表的で、最も一般的な方法です。後者ではリベットカシメや、穴とエンボス加工を利用して潰して固定する方法などが使われます。

ここまでで、第1階層の4つの接合法（溶融接合・液相接合・固相接合・機械的接合）の概要を説明しました。今後は、第2・第3階層に位置づけられる具体的な接合技術について、さらに詳しく解説していきます。

アーク溶接とは

アーク溶接は、母材を溶融させて接合する「溶接」の一種で、その熱源として「アーク」を利用する方法です。アークとは低電圧・大電流による放電現象で、気体が高温で電離しプラズマ状態になる現象を指します。このプラズマは電子やイオンが電荷を運ぶため導電性を持ち、電極間に発生するアーク柱は中心部で約16,000℃、外周でも約10,000℃に達します。鉄（約1,540℃）、銅（約1,080℃）、アルミニウム（約660℃）といった金属の融点と比べても、アークの温度は圧倒的に高く、容易に母材を溶かすことが可能です。そのため、アーク溶接は高温のアーク熱を利用して母材を接合する代表的な溶接技術として広く用いられています。



アークの発生原理とアークの温度

溶極式溶接と非溶極式溶接について

アーク溶接には 溶極式 と 非溶極式 の2種類があります。

・溶極式溶接

被覆アーク溶接や半自動溶接が代表例で電極に通電して母材と短絡させ、母材と電極を同時に溶かして接合します。電極は母材と同等成分のものを使用します。溶接速度が比較的速い一方、スパッタやヒュームが多く、作業環境への配慮が必要です。

・非溶極式溶接（代表：TIG溶接）

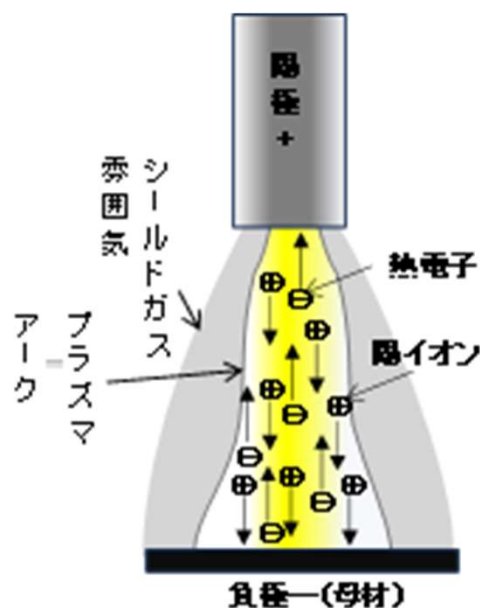
タングステン電極からのアークで母材を加熱・溶融し、共付けや溶加棒（フィラーワイヤー）を用いて接合します。アルミやマグネシウムなど非鉄金属の接合にも適しており、スパッタやヒューム、騒音が少なく作業環境に優れます。ただし、高度な作業スキルと高価なアルゴンガスが必要で、ランニングコストは高めです。両者は速度・品質・コスト面で特徴が異なるため、製品の材質や要求品質に応じて適切な方法を選択することが重要です。

アーク溶接における溶極式溶接と非溶極式溶接の比較

	溶極式溶接	非溶極式溶接
溶接速度	0.5～1.0m/min	0.5m/min以下
非鉄材の接合	困難	容易
作業スキル	容易	高いスキルが必要
スパッタ	発生しやすい	発生が無い
ヒューム発生	多い	少ない
静音性	悪い	良
スラグの発生	多い	ほとんどない
溶込み(1パス)	深い	浅い
シールドガス	安価(混合ガス)	高価(Arガス)

シールドガスの選定

アーク溶接では、大気中の窒素（約80%）や酸素（約20%）が溶融金属に触れると、ブローホールなどの欠陥を引き起こすため、シールドガスの設定が極めて重要です。シールドガスはアーク周囲に保護雰囲気を形成し、不純物の混入を防ぐとともに、アーク自体の安定・維持にも寄与します。実際の作業では、一般的に約 15l/min の流量でガスを供給しますが、流量が不足するとアークが不安定になり、良好な溶接ビードを得られなくなります。したがって、適切なシールドガスの種類と流量管理は、アーク溶接における品質確保の基本条件といえます。



プラズマはシールドガスが電離した物です。
このプラズマは伝導体で電気を通す特性を持っており、通電状態にあるプラズマをアークと呼びシールドガスがプラズマ状態になったものです。
大気(空気)中では急速に冷えて普通の気体に戻ってしまいますが、アークは電気が通ることで自ら発熱し、その熱でプラズマ状態を維持する事ができます。

アークとシールドガスの関係

アーク溶接では、母材材質に応じて溶接法とシールドガスの組合せを適切に選定する必要があります。TIG溶接（非溶極式）シールドガスには Ar、He、Ar+He、Ar+H₂ などが用いられます。酸素を含むガスはタングステン電極を酸化させ、融点を大幅に低下させるため使用できません。

アーク溶接について【溶融接合】

混合ガスは主に非鉄材料に適用され、Ar+H₂はSUSやNi系合金に限定されます。MAG溶接（溶極式）主に CO₂ 100% または Ar+20%CO₂ が用いられます。一般的にステンレスの溶接は適しませんが、フラックス入りワイヤを使うことで対応可能です。MIG溶接（溶極式）ステンレスや非鉄系材料の溶接に適用され、不活性ガスである Ar や Ar+He を使用します。非鉄材料の酸化被膜はアーク安定化に寄与するため、O₂やCO₂の添加は不要です。このように、アーク溶接のシールドガス選定は、電極の特性と母材の材質に直結しており、誤った選択は接合不良や電極損傷につながるため注意が必要です。

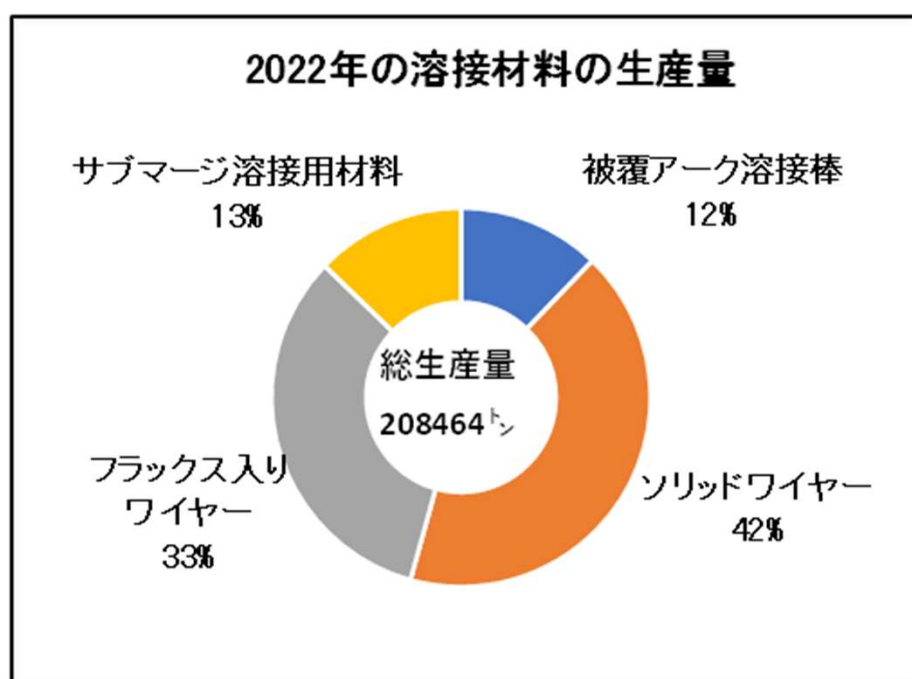
溶接法	シールドガス組成	母材材質						
		軟鋼	低合金鋼	SUS	Al合金	Cu合金	Ni合金	Ti合金
TIG	Ar	○	○	○	○	○	○	○
	Ar+He				○	○	○	○
	Ar+H ₂			○			○	
MAG	CO ₂	○	○	○*1				
	Ar+CO ₂	○	○	○*1				
	Ar+O ₂	○	○	○*1				
	Ar+He+O ₂ (CO ₂)	●		○*1				
MIG	Ar	●		○	○	○	○	○
	Ar+He			○	○	○	○	○

○ ：一般的な運用 ● ：特殊用途 ○*1：フラックス入ワイヤが必要

アーク溶接を行う上で共通する内容について説明してきました。
次に各溶接方法について説明をしていきたいと思います。

被覆アーク溶接とは

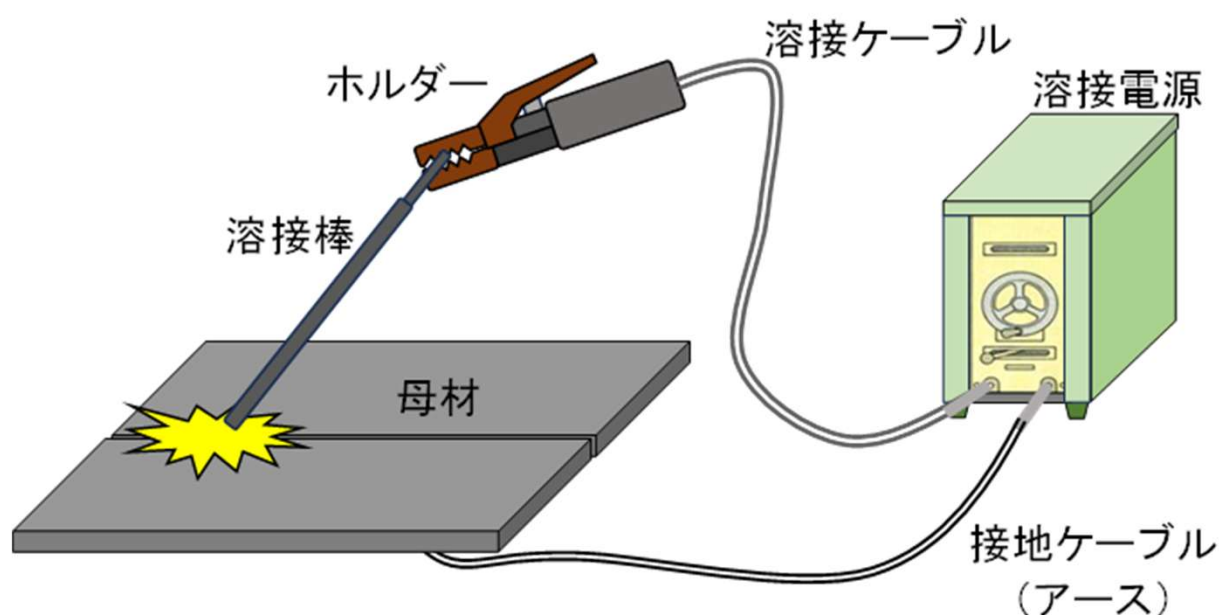
被覆アーク溶接は、設備が安価で環境の影響を受けにくいいため、多くの業界で広く用いられている基本的な溶接方法です。2022年の溶接材料生産量では、被覆アーク溶接用の溶接棒が全体の約12%を占め、年間約25,000トンが生産されています。現在の主流はCO₂溶接、MIG溶接、MAG溶接ですが、継手効率を確保するために、被覆アーク溶接でなければならないケースもあり、仕様として明確に指定される場合があります。



被覆アーク溶接の設備構成はシンプルで、溶接機のプラス極とマイナス極にケーブルを接続し、アースを母材に、もう一方をホルダー（溶接棒）に接続して使用します。基本的な溶接条件は電流値の設定のみです。溶接機には交流式と直流式の2種類があります。交流式：安価で耐久性が高く、構造が単純なためメンテナンス性に優れる反面、大型・重量があり、電撃の危険性が高い点に注意が必要です。

被膜アーク溶接について

直流式：価格は高めで構造も複雑ですが、小型・軽量でアークが安定しており、初心者でも扱いやすいのが特徴です。また、極性の接続方法によって溶接ビード形状を調整できるという利点もあります。このように、用途や作業環境に応じて交流式・直流式を使い分けることが重要です。

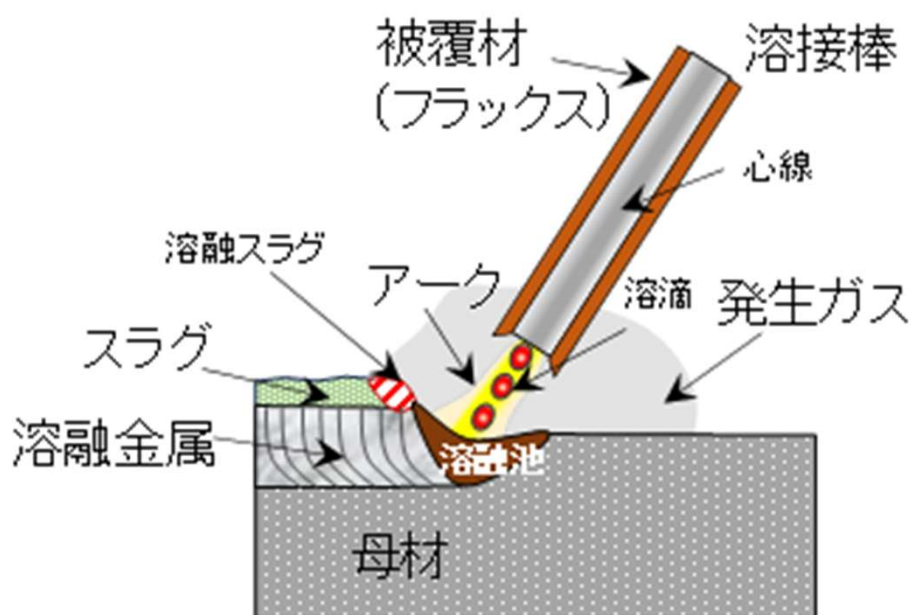


	溶接用途	接続方法	溶接ビード
正極性	厚板や一般溶接	(-)側にホルダー(溶接棒) (+)側にアース(母材)	深くて狭い
逆極性	薄板、肉盛り溶接	(+)側にホルダー(溶接棒) (-)側にアース(母材)	浅くて広い

直流式アーク溶接機の接続方法と溶接ビードの形状

被膜アーク溶接について

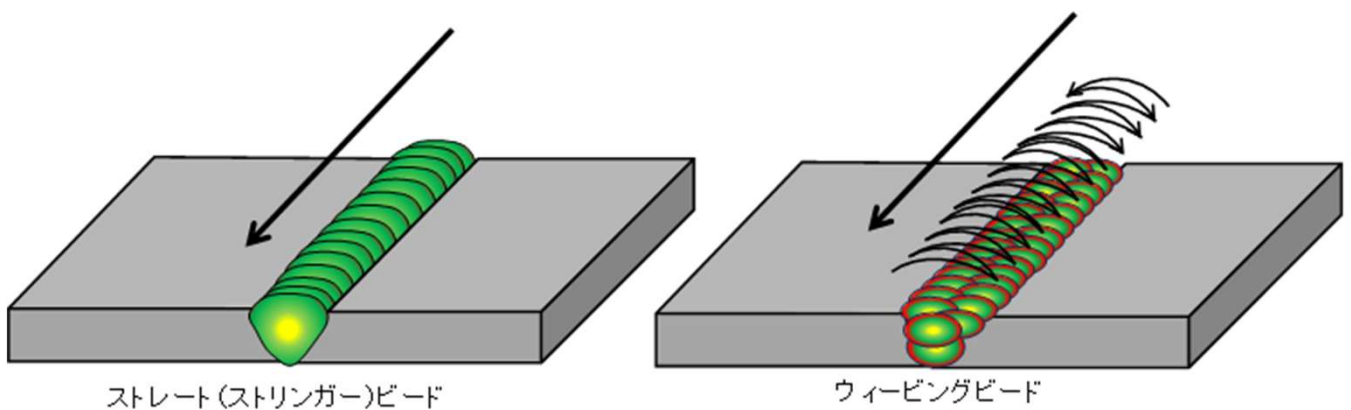
被覆アーク溶接では、被覆材の選定と溶接棒の管理が品質を大きく左右します。まず施工開始時、溶接棒の先端は被覆材で覆われているためアークが出ません。母材に軽く当てることで先端の被覆材が外れ、短絡してアークが発生します。以降は一定距離を保ちながら、心線がアークで溶け溶滴となって母材に移行します。同時に被覆材は熱で溶け、シールドガスを発生させ酸化を防止し、さらにスラグとしてビード表面を覆い保護する役割を果たします。したがって、被覆材の成分は溶接品質に直結します。また、施工前の溶接棒の乾燥も非常に重要です。被覆材は多孔質のため保管中に水分を吸収しやすく、そのまま使用するとアーク時に水素や酸素が発生して金属に混入し、水素脆化や割れを引き起こす恐れがあります。さらにスパッタの増加やアーク不安定化の原因にもなります。乾燥条件は被覆材の種類によって異なり、例えば低水素系では 350～400℃で1時間乾燥後、100～150℃で保管、その他では 70～120℃で30分～1時間乾燥し、40～60℃で保管が一般的です。乾燥回数も材質に応じて2～5回程度とされ、適切な乾燥管理が欠かせません。



被覆アーク溶接中の状態

溶接施工について

溶接施工方法は大きくストレートビードとウィービングビードの2種類に分けられます。ストレートビード溶接線に沿って真っすぐ運棒する方法で、比較的薄板や開先が小さい場合に適しています。ウィービングビード開先に対して左右にジグザグに運棒し、広い溶接ビードを形成する方法です。厚板や大きな開先を1パスで埋められない場合に用いられます。また、被覆アーク溶接は手作業が多く自動化が難しいとされますが、長尺のストレートビードではグラビティ溶接装置（重力式アーク溶接）が用いられることがあります。これは1960年代から実用化されており、溶接棒が消耗すると重力で自然に落下する仕組みです。ただし、溶接速度は最大で約250mm/minと遅く、繋ぎ部に不完全な溶込みやブローホールが発生しやすいため手直しが必要になるなど、生産性や品質面で課題もあります。そのため現在では限定的な用途にとどまっています。

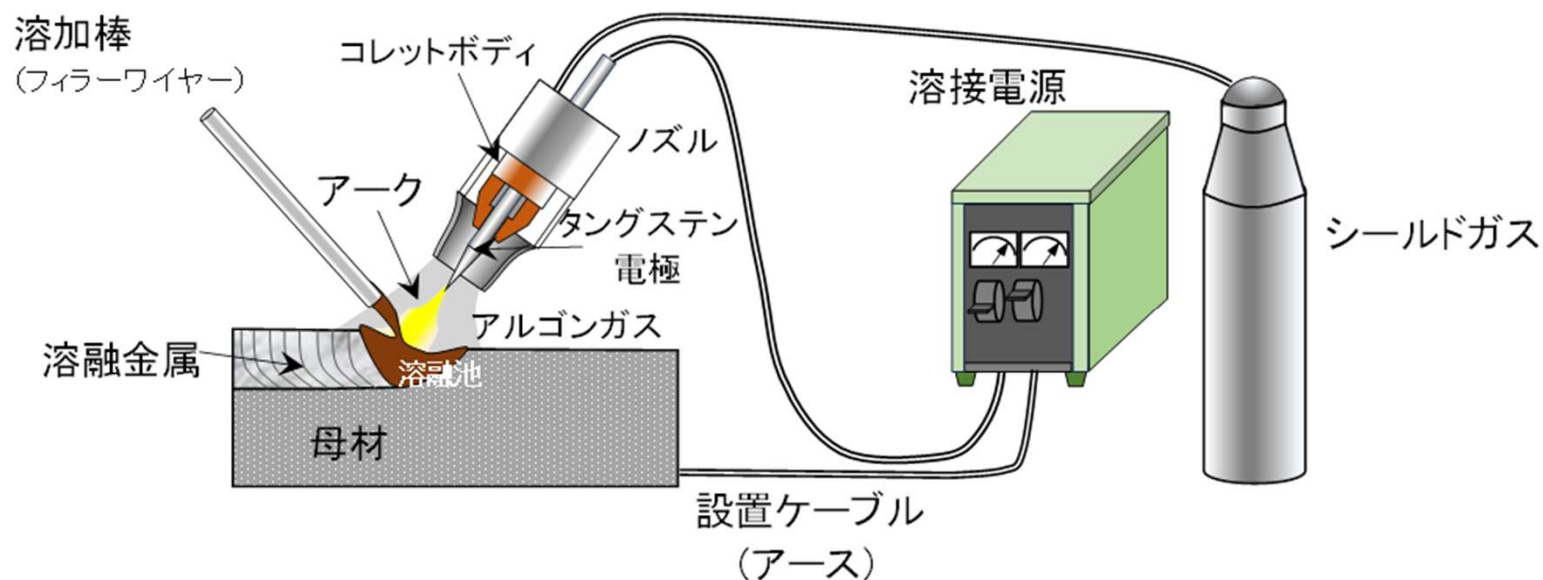


TIGアーク溶接とは

私たちの生活を支える多くのエネルギーは化石燃料の燃焼によって得られていますが、その際に発生するCO₂が地球温暖化の主因とされています。こうした背景から、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて世界的に取り組みが進められています。代替エネルギーとして特に注目されているのが水素（H₂）であり、発電への利用や、CO₂と合成して作られる「e-メタン」が都市ガスの代替燃料として期待されています。これら「水素ガス」や「e-メタン」を貯蔵・供給するタンクや配管には、ステンレス鋼や9%Ni鋼が多く使用されています。そして、その接合・施工方法として信頼性が高く再注目されているのがTIG溶接です。

TIGアーク溶接の設備構成

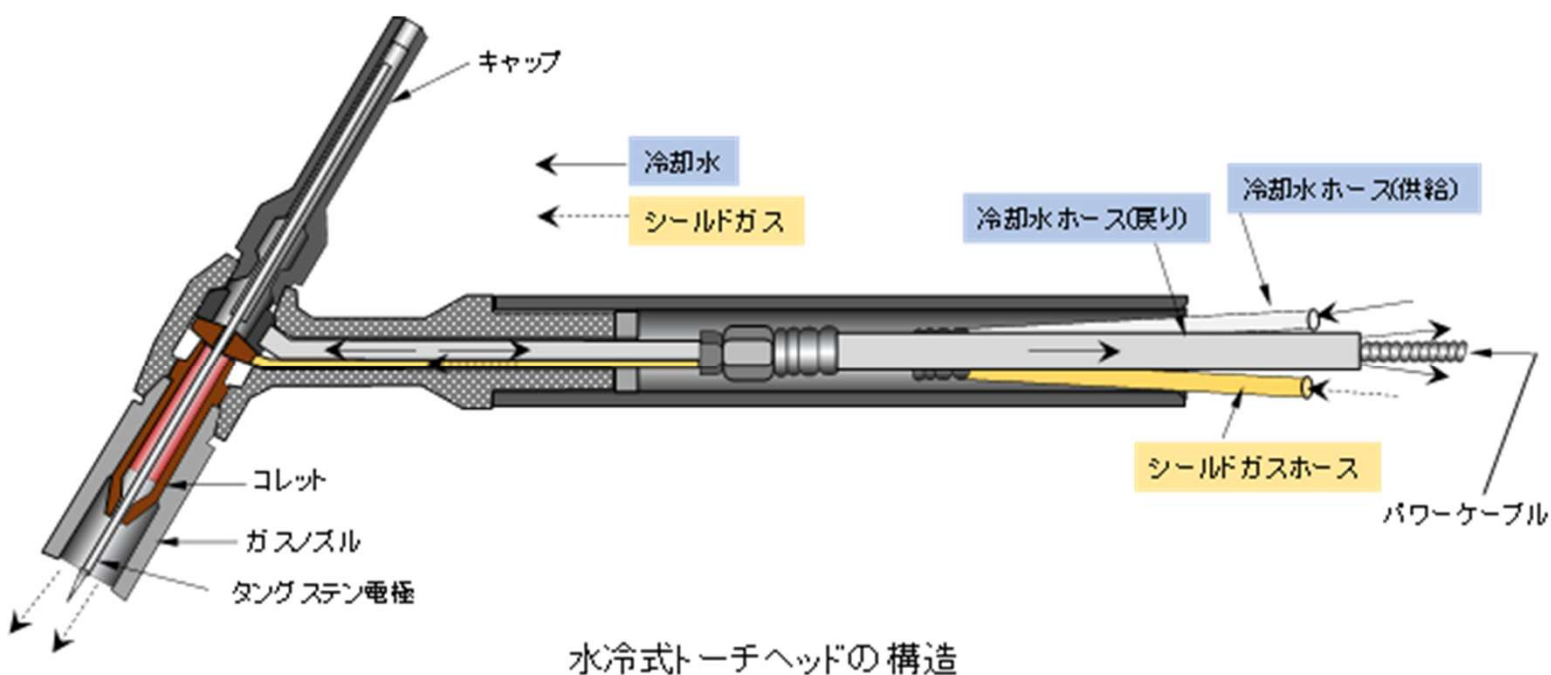
TIG（Tungsten Inert Gas）溶接は、タングステン電極を用いて不活性ガスで大気を遮断しながら行う非溶極式溶接です。電極は消耗せず、アーク熱によって母材を溶融して接合します。設備構成は溶接電源・溶接トーチ・シールドガスからなり、電極先端からアークを発生させて溶接を行います。施工は多くが共付け溶接ですが、母材に隙間がある場合や強度が必要な場合には溶加棒（フィラーワイヤー）を供給します。シールドガスには主にAr（アルゴン）を使用し、被加工材に応じてHe（ヘリウム）やH₂（水素）を混合して用いる場合もあります。



T I G 溶接設備の構成

TIGアーク溶接について

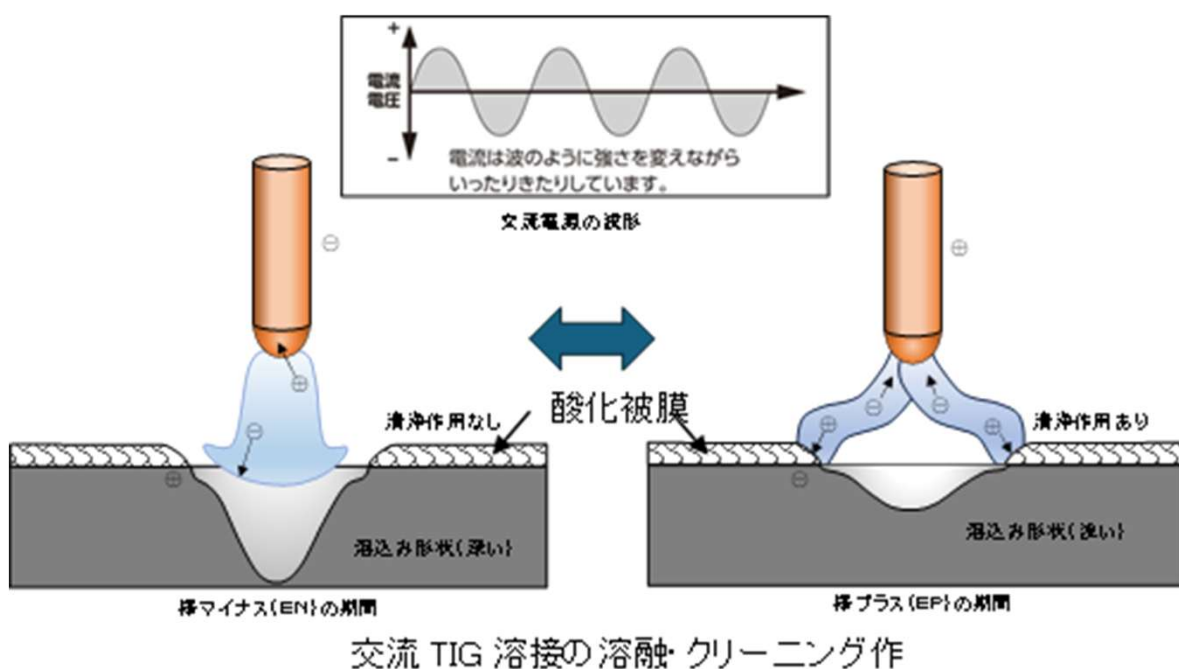
TIG溶接機のトーチには空冷式と水冷式の2種類があります。空冷式トーチが軽量・コンパクトで作業性に優れます。ただし、使用率（例：40%なら10分中4分溶接+6分休止）の制限があり、連続溶接には不向きです。長時間使用するとコレットやトーチヘッドが高温になり、最悪の場合トーチが変形する恐れがあります。水冷式ポンプやチラーなどの付帯設備が必要で費用は高額ですが、冷却水を循環させるため長時間の溶接でもトーチやケーブルが熱くならず、安定した作業が可能です。部品の耐久性も高まり、結果としてランニングコスト削減にもつながります。➡簡易的・短時間の作業には空冷式、長時間・長距離の施工には水冷式を選ぶなど、使用環境に応じた導入が推奨されます。



TIG溶接における直流溶接と交流溶接

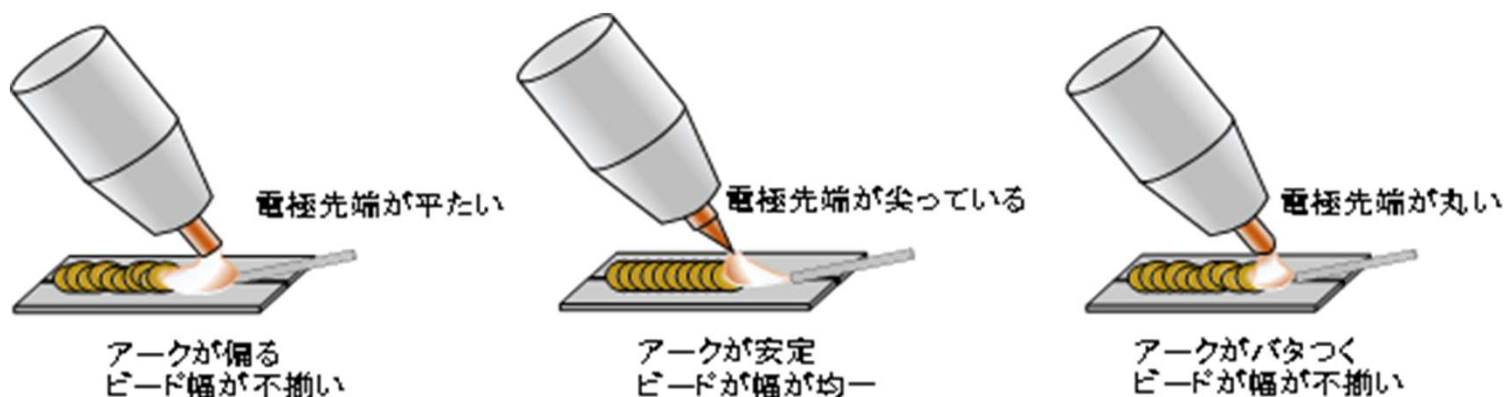
TIG溶接には直流式と交流式があり、それぞれに適した用途があります。直流TIG溶接は主に正極性（母材プラス、電極マイナス）で用いられ、電子が母材に集中して効率よく加熱できるため、鉄やステンレス材の溶接に多く使用されます。電極側には電子がほとんど当たらないため消耗が少なく、安定した溶接が可能です。ただし逆極性では電極が激しく消耗してしまうため、実用には向きません。

交流TIG溶接は電流がプラスとマイナスを繰り返すため、正極性のときに母材を溶かし、逆極性のときに酸化被膜を除去する「クリーニング作用」が働きます。アルミニウムやマグネシウムは表面に高融点の酸化被膜を持ちますが、この作用により効率的に被膜を取り除きながら溶接できます。そのため、非鉄金属の溶接に欠かせない方法となっています。また、極性が交互に切り替わるため電極の消耗も抑えられ、溶込みとクリーニングを繰り返しながら安定した接合が可能です。



タングステン電極の先端形状について

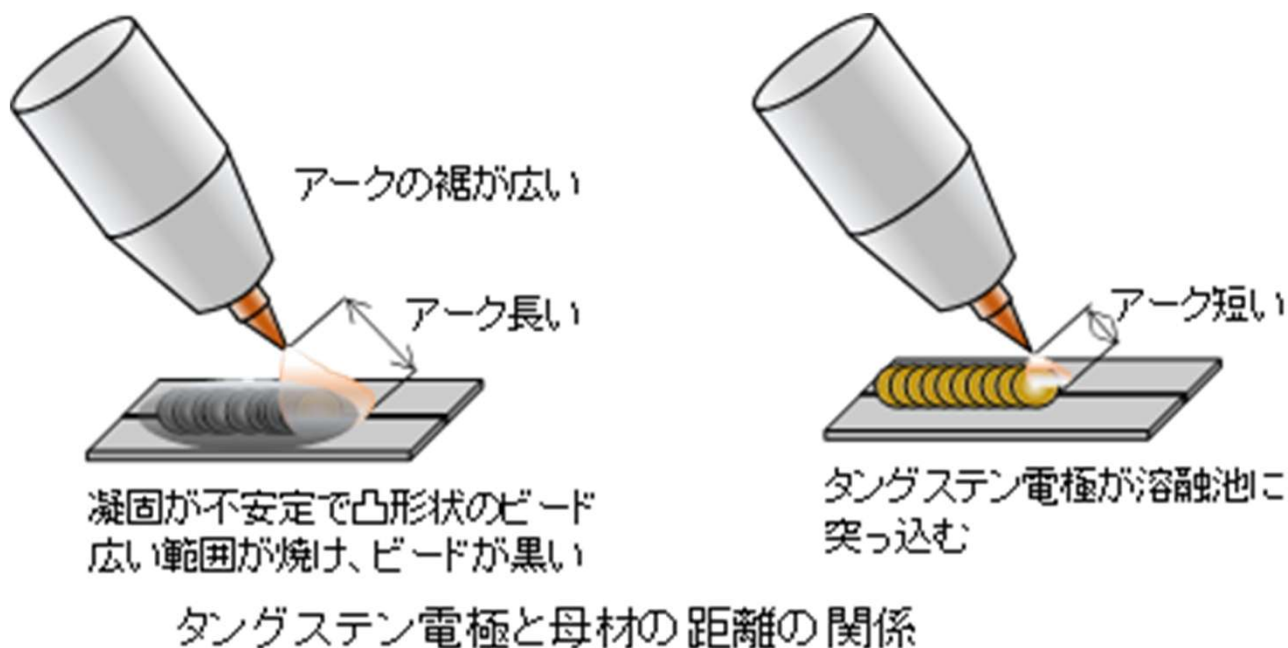
TIG溶接では、安定したアークと均一なビードを得るために、タングステン電極先端の研磨が重要です。購入時の電極は先端が平らで、そのまま使用するとアークが偏り、溶加棒を用いた溶接ではビードが不揃いになります。先端を45～60°に研磨するとアークが安定し、均一で美しいビードが得られます。ただし、溶接を続けると先端が徐々に丸くなり、再びアークが不安定となってビード幅も乱れやすくなります。また、研磨が粗い場合もアークの不安定化につながります。そのため、適切な角度・仕上げでの研磨を維持することが、TIG溶接の品質確保には欠かせません。



タングステン電極の状態と溶接ビードの形状

TIG溶接時の距離

TIG溶接では、母材とタングステン電極の距離を約3mm、トーチ角度を約45度に保つことが基本です。電極との距離が広すぎると、凝固が不安定になりビードが凸状になったり、アークが広がってシールド不足から酸化・変色が発生します。逆に近すぎると、電極が溶融池に突っ込み欠陥の原因となります。そのため、一定の角度と距離を保つ操作が非常に重要であり、作業者のスキルが品質を左右します。また、自動化を進める際も、この一定条件を再現することが難しく、現状では比較的剛性の高い部材を対象とした場合にTIG溶接の自動化が実用化しやすいとされています。



ガスシールドアーク溶接(CO₂溶接、MAG溶接、MIG溶接)

ガスシールドアーク溶接は、使用するシールドガスの種類によって CO₂溶接・MAG溶接・MIG溶接 に分類されます。

いずれも溶極式溶接であり、溶接ワイヤーからアークが発生し、そのワイヤーが自動的に供給・溶融して母材に移行することで接合が行われます。このようにワイヤーが自動供給されることから「半自動溶接」とも呼ばれます。さらに、産業用ロボットに溶接装置を搭載し、溶接線をプログラムすることで行う「溶接ロボット」は、いわゆる自動溶接に該当します。

シールドガスの役割は、大気中の酸素や窒素が溶融金属に触れて欠陥を起こさないよう遮断することです。そのため、シールドガスの成分と母材の材質の組合せによって、接合の可否が決まります。

MIG溶接・MAG溶接におけるシールドガスの詳細な組成と適用範囲については、別途技術コラムで整理されています。なお、CO₂溶接が適用できる材質は鉄鋼材や低合金鋼に限定される点に注意が必要です。

ガスシールドアーク溶接機は、溶接電源・トーチ・ワイヤー供給装置・シールドガス供給系で構成されます。電源からの電気に加え、溶接ワイヤーとシールドガスがトーチ先端から供給され接合が行われます。施工場所が離れている場合はリモコンで条件変更も可能です。材質に応じてワイヤーやガスは切り替えますが、溶接機本体は共通で使用できます。安定した品質確保にはワイヤー供給経路の点検が不可欠です。駆動ローラーが摩耗すると送給不良やビード乱れを起こし、コンジットケーブルの摩耗や折れも不具合の原因となります。さらに、先端のコンタクトチップが摩耗すると溶接位置がズレるため定期交換が必要です。

➡ ガスシールドアーク溶接では条件設定だけでなく、ワイヤー供給系の保守点検が安定溶接の鍵となります。

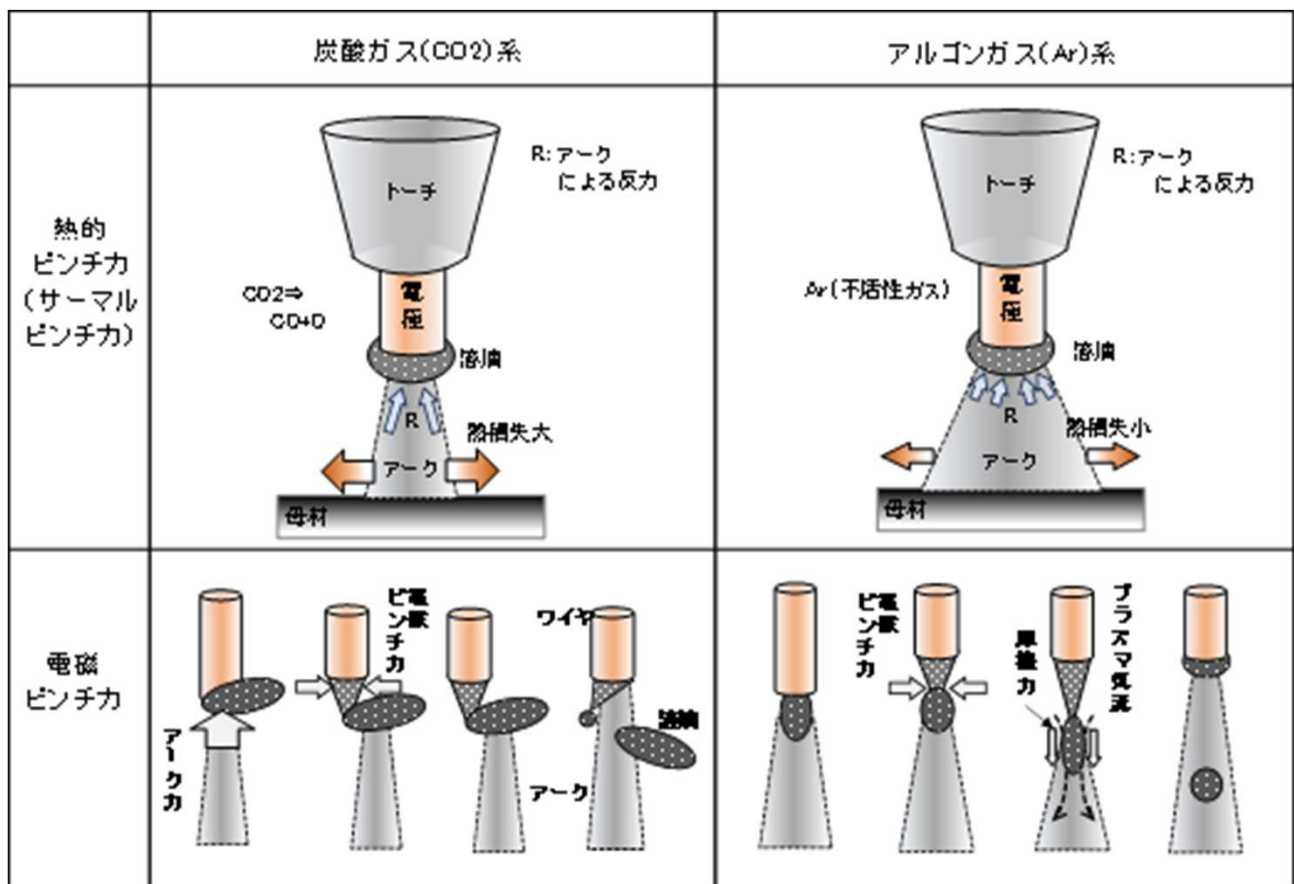


溶極式溶接工法における接合の基本

溶極式溶接では、ワイヤーが溶けて「溶滴」となり母材に移行することで接合します。この溶滴移行はシールドガスの種類で異なります。

炭酸ガス系（ CO_2 ・MAG溶接）では、アークが熱的ピンチ力で収縮し、溶滴が大粒化して飛び出す「グロービュール移行」となり、スパッタが多く発生します。

アルゴンガス系（MIG溶接）では、不活性で安定したアークのもと、電磁ピンチ力やプラズマ気流により細かく連続的に離脱する「スプレー移行」となり、安定した溶接が可能です。➡炭酸ガス系は深い溶込みが得られ、アルゴン系は浅めですがスパッタが少なく安定性に優れます。



シールドガスと溶滴移行の形態

溶接条件の具体的な設定

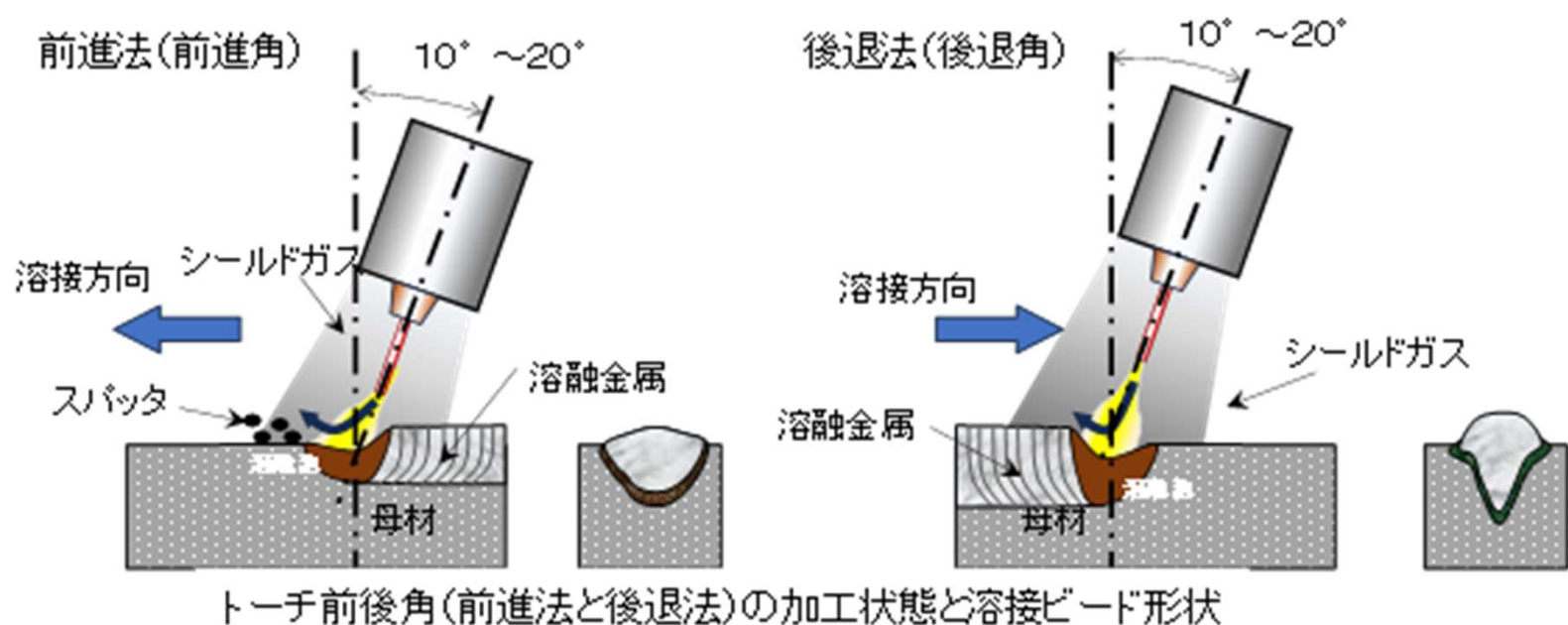
アーク溶接では、電流や速度の条件によって適正なビード形状が得られる一方で、条件が不適切だと溶込み不足やアンダーカット、溶落ちなどの欠陥が発生します。設備面では溶接電流・アーク電圧・シールドガスの種類と流量を適切に設定する必要があります。さらに施工時には、ワイヤー突き出し量（トーチと母材の距離）、狙い位置、トーチの送り速度・角度・方向などを最適に保つことが重要です。

溶接電流とアーク電圧の関係

溶接電流とアーク電圧には一定の関係があり、適正範囲を理解することで安定した溶接条件を設定できます。通常は電流を設定すると電圧も自動で調整されますが、電流に対して電圧の調整幅を把握しておくことが重要です。小電流域（200A以下）では電圧の設定幅はわずか2～3Vと狭く、条件管理がシビアになります。一方、250Aを超えると電圧調整幅が広がり、条件設定が容易になります。ただし、250～350Aの範囲で電圧を低く設定しすぎると「ベリードアーク条件域」となり、溶接不良の原因となるため注意が必要です。

溶接施工方法

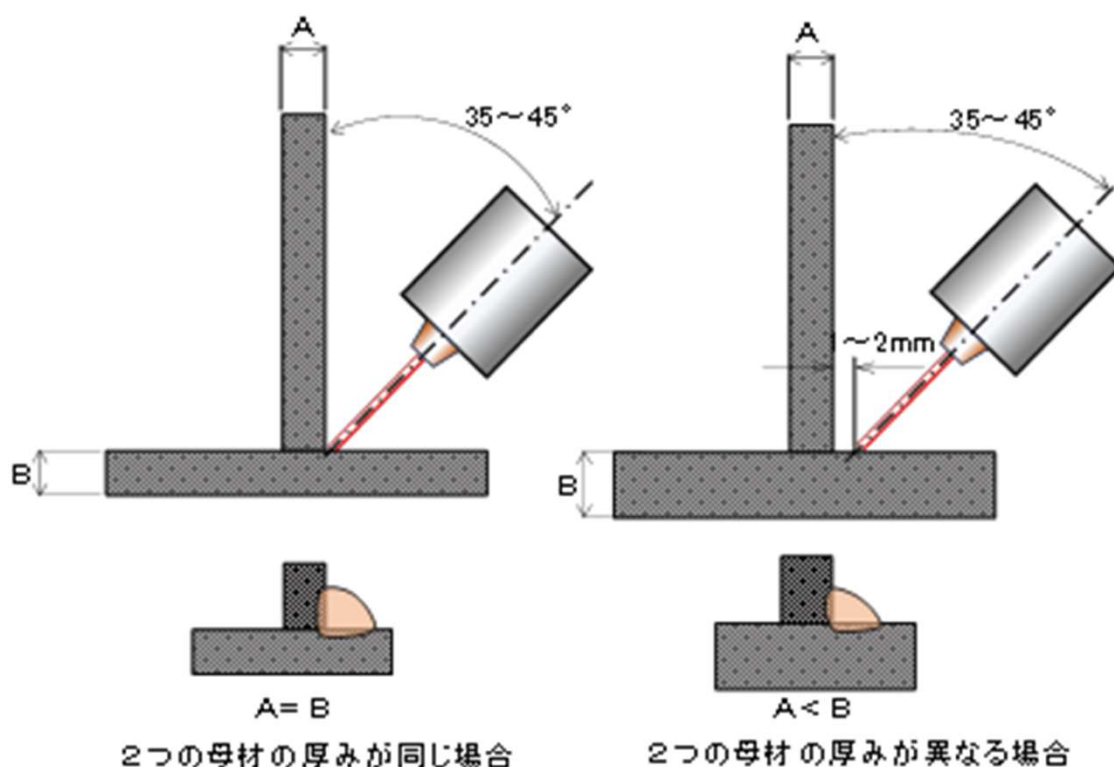
アーク溶接におけるトーチ設定の主要要素は、前後角・傾斜角・狙い位置の3つですが、その中でも溶接ビードの形状に大きく影響するのがトーチ前後角と狙い位置です。前進法（前進角）トーチを母材に対して 10° ～ 20° 傾けて押し進める方法で、アークがワイヤーより前方に位置します。母材をアークが予熱するため温度勾配が緩やかになり、ビードはフラットで余盛が少ない形状になります。ただし、スパッタは前方に多く発生します。後退法（後退角）トーチを同じく 10° ～ 20° 傾けますが、引いて溶接する方法です。アークがワイヤー後方に当たり、母材の予熱がないためビード幅は狭く余盛は高めになります。スパッタは溶融金属に吸収されやすく周囲に付着しにくいのが特徴です。また、溶込みが深くなるため、積層溶接の初層に用いて確実な貫通を得る場合に適しています。いずれの方法でもトーチ角度は最大 20° ～ 30° 程度が望ましく、これ以上大きい角度ではスパッタ増加などの不良につながります。



溶接の狙い位置

溶接においてトーチの狙い位置は、溶込みや脚長の確保に直結する重要要素です。同板厚で脚長5mm以下なら交点を狙えば均等なビードが得られます（250A以下）。一方、板厚が異なり250A以上の高電流が必要な場合、交点を狙うと薄板側が溶落ちしやすいため、1～2mm厚板側へ狙いをずらすことで安定した接合が可能です。筆者の経験でも、ロボット溶接でビード位置がばらつく不良が発生し、原因はコンタクトチップの摩耗でした。定期交換で解消しましたが、ロボットは人のように調整できないため異常に気づきにくいのが課題です。

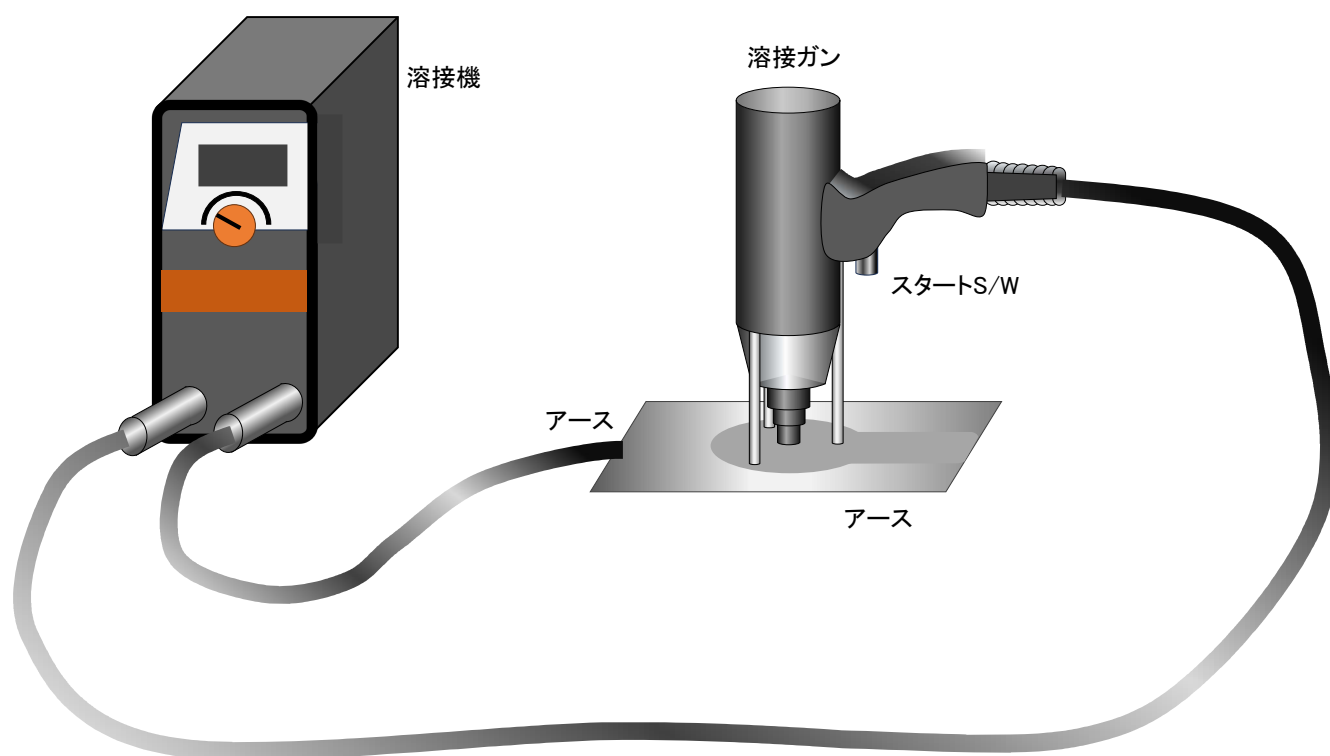
➡適切な狙い位置の設定と、部品の定期メンテナンスが安定品質には欠かせません。



トーチ狙い位置の設定と溶接ビードの形状

スタッド溶接

スタッド溶接は、丸鋼やおねじ・めねじ付きのピン状部品（スタッド）を母材に直接溶接する方法で、瞬時に強固な接合が可能であり、作業スキルをそれほど必要としないのが特徴です。母材とスタッド間でアークを発生させて両者を溶融・接合するため「アークスタッド溶接」とも呼ばれます。設備構成はシンプルで、溶接機本体・溶接ガン・接続ケーブルで構成され、取り扱いも容易です。活用分野は広く、自動車、産業機械、造船、建築、土木・橋梁など多岐にわたります。特に自動車や機械産業では、穴あけ不要でボルトやナットを溶接できるため、気密性が求められる部位や狭小スペースへのねじ取り付けに有効です。また、埋込ボルトの取付けと比べて熱による歪みが少なく、寸法精度も良好という利点があります。



スタッド溶接加工の設備構成

スタッド溶接の3つの方式

■ コンデンサ方式

コンデンサに蓄えた電気を一気に放出し、スタッド先端のチップ（ナーベル）からアークを発生させて母材と溶融・接合する方式です。通電時間が極めて短いため、歪みや焼けが少なく、表面処理のない母材に適しています。

■ ショートサイクル方式

電力アーク方式を短時間で制御した方式で、特にメッキ鋼板の溶接に有効です。通電開始と同時にスタッドが一旦母材から離れてアークが発生し、メッキ層を溶かしてから母材と融合します。自動車部品など、配管や配線が多い箇所への適用を目的に開発されました。

■ 電力アーク方式

建築・土木・橋梁工事などで使われ、直径16～25mmの太いスタッドを接合できます。大電流を流すためスパッタや高温ガスが発生し、溶融範囲も大きくなります。そのため接合部を酸化から守るフェルール（セラミック製力バー）を使用し、溶接後に破壊・除去して仕上げます。

スタッド溶接の方式	コンデンサ方式	ショートサイクル方式	電力アーク方式
	CD方式	SC方式	DA方式
	(Capascitor Discharge)	(Short Cycle)	(Drawn Arc)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・極薄板への溶接裏面に影響がない ・溶接歪が小さい ・溶接焼けが極めて少ない ・非鉄金属に接合が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・60/60g目付のZnメッキ材にも溶接が可能 ・電力アーク方式よりも短時間で加工を完了できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・太径のスタッドの溶接が可能 ・建築・土木の構造物に適用 ・フェルールを用い酸化防止 溶接後にフェルールの除去が必要
溶接時間 (ms)	1～3	10～100	100～1000
最大溶接部径 (mm)	8	9	25
最小板厚 (mm)	0.4	0.6	スタッド径×1/5
摘要材質	軟鋼、SUS、Al、Cu、Zn等	軟鋼、SUS、Al	軟鋼、SUS、Al

主要なスタッド溶接工法と特徴

スタッド溶接におけるスタッドと母材の相性

スタッド溶接を行う際は、母材とスタッドの材質適合性を確認することが不可欠です。これはアーク溶接全般に共通する考え方で、母材と溶加材（あるいはスタッド）の材質が合わなければ、溶接部の強度不足につながり、製品に必要な性能を満たせなくなります。特にスタッド溶接では、溶加材を使わずスタッド自体が溶融して母材と一体化するため、スタッド材質と母材材質のマッチングが直接的に品質を左右します。そのため、材質ごとの適合性を整理したマトリックス図を用い、最適な組合せは◎、許容範囲の組合せは○とし、空白は推奨されない組合せとしています。

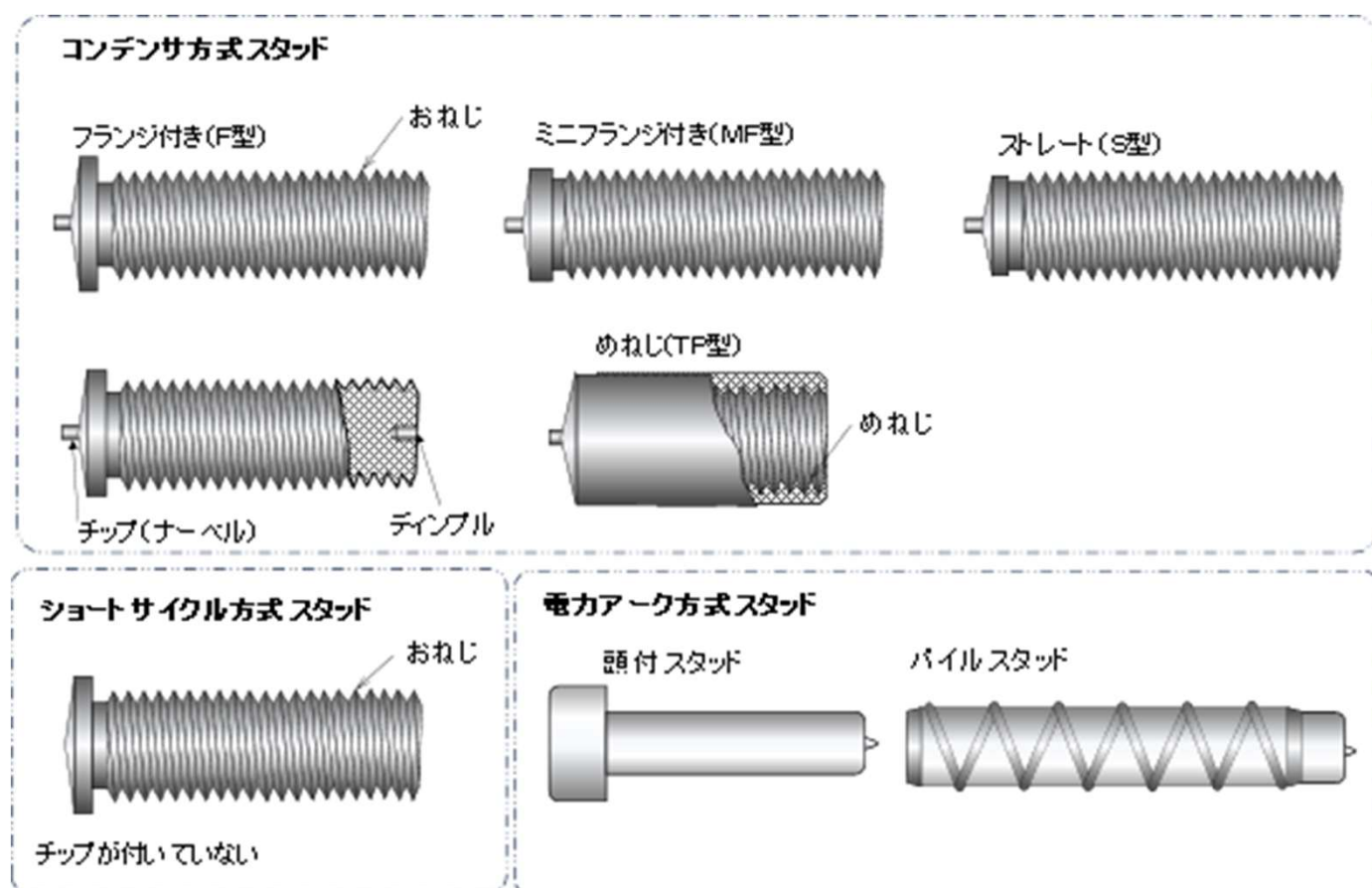
	スタッド材質					
	軟鋼	ステンレス鋼	銅	黄銅	アルミニウム	チタン
一般構造用圧延鋼材(SS材)	◎	◎	○	○		
冷間圧延鋼板(SPCC)	◎	◎	○	○		
亜鉛めっき鋼板	◎	◎		○		
機械構造用炭素鋼板(S10C)	◎	◎	○	○		
ステンレス鋼板(オーステナイト系)	◎	◎	○	◎		
ステンレス鋼板(フェライト系)	○	○	○	○		
黄銅(鉛なし)	◎	◎	○	◎		
タフピッチ銅	◎	◎	○	◎		
アルミニウム(A1000系)					◎	
アルミニウム(A3000系)					○	
アルミニウム(A5000系)					◎	
アルミニウム(A6000系)					○	
純チタン						◎
ZAM鋼板	○	○				

◎:最適 ○:適当 空白:推奨しない

製品母材とスタッド材質の相性を示すマトリックス図

スタッドの形状

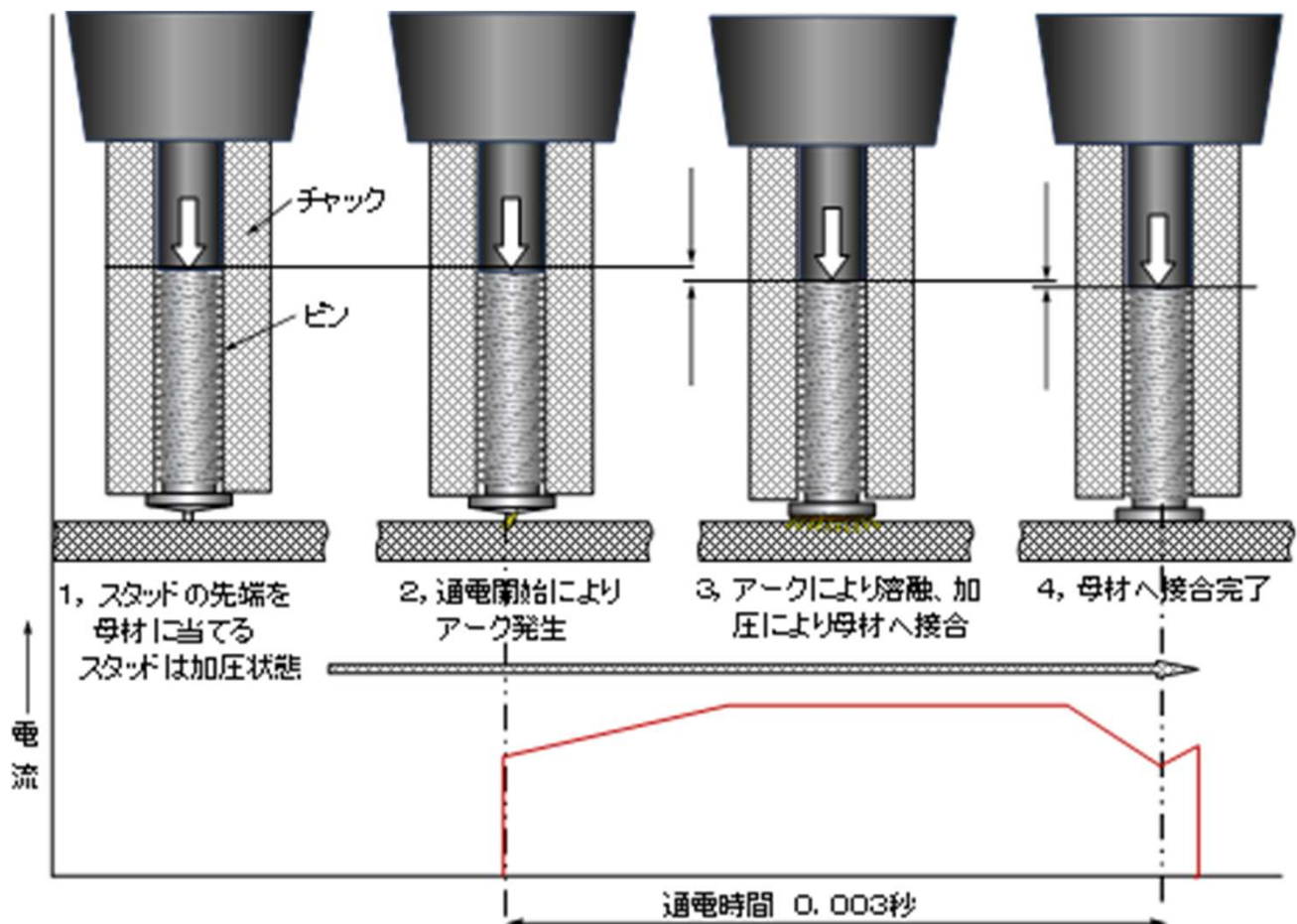
スタッド溶接は業界により多様な形状が使われ、「頭付スタッド」「パイルスタッド」は建築・土木向け、「おねじ」「めねじ」「シャフト」は板金加工で多く用いられます。おねじスタッドにはフランジ付き（F型）、ミニフランジ付き（MF型）、ストレート型（S型）があり、主にコンデンサ方式（CD方式）で使用され、先端チップ（ナーベル）からアークを発生させて接合します。ショートサイクル方式では、メッキ鋼板への接合用にチップなしタイプがあり、端面全体からアークを発生させ表面処理を除去しながら接合します。スタッド溶接はフラックス不要で、自動機使用時にはディンプル付きスタッドを使い、供給時のチップ変形を防ぐ必要があります。



スタッド溶接に使用するスタッドの形状

コンデンサ方式

スタッド溶接のコンタクト方式は、軟鋼板やステンレス材に用いられる方法です。スタッドを専用ガンに取り付けて母材に押し当て、スイッチを入れるとコンデンサに蓄えられた電気が流れ、先端のチップとスタッドがアーク熱で溶融。同時にスタッドがピストンで押下され、母材と強固に接合されます。一方、ギャップ方式はアルミニウムやチタン材の接合に用いられる工法です。スタッドと母材の間に1～3mmの隙間を設け、溶接開始時にスタッドを加速させて接触・放電させることで接合します。コンタクト方式よりさらに短時間で溶接できるため、薄板や細径スタッドの接合にも適しています。



コンデンサ方式(コンタクト方式)の接合状況

ショートサイクル方式

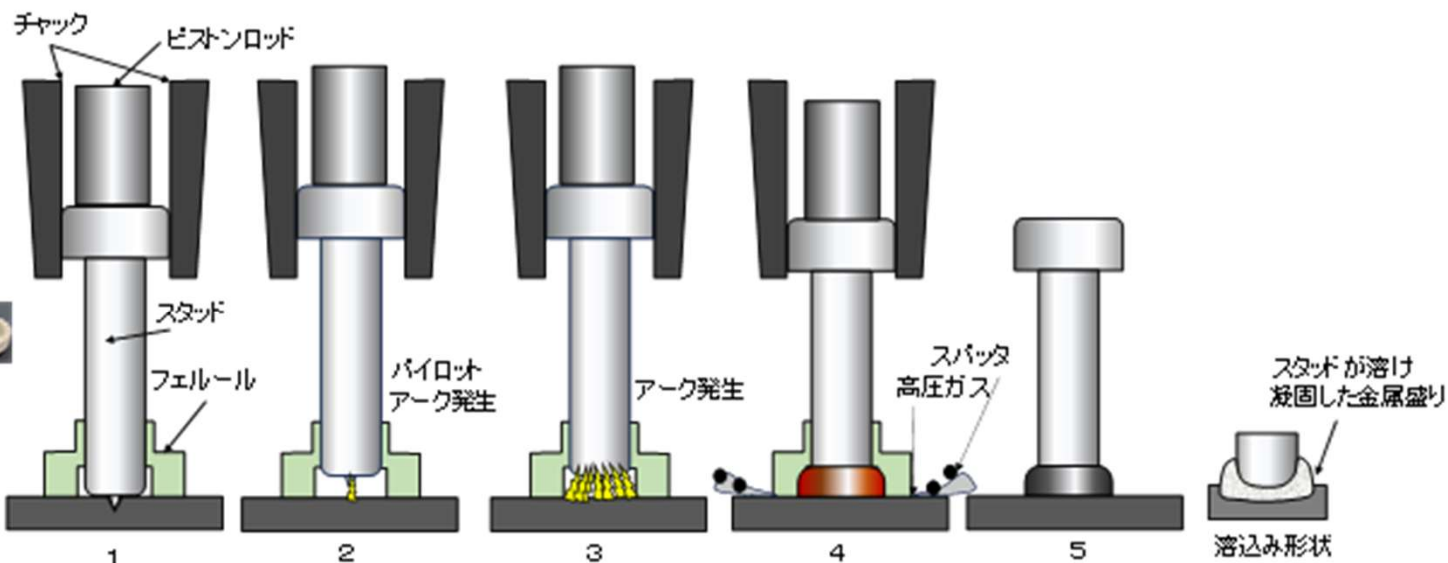
自動車の車体には電気配線や油圧・燃料配管を固定するため、多数のボルトや金具が必要で、スタッド溶接の適用が検討されてきました。しかし、車体には防錆対策として表面処理鋼板が使われており、従来のコンデンサ方式ではメッキ層を除去できず、接合強度不足による外れが発生しました。この課題に対し、電力アーク方式を改良し、通電時間を短縮したショートサイクル方式が開発されました。パイロットアークの段階で母材表面のメッキ層を除去し、その後に確実な接合を行うため、表面処理鋼板や薄板材でも十分な強度が得られるのが特長です。このため、自動車業界で広く普及している工法となっています。

また、施工時には電力アーク方式と同様の原理で行われますが、ショートサイクル方式ではフェルールを使わず「フート」と呼ばれるカバー内で接合を行い、酸化防止を図っています。

電力アーク方式

電力アーク方式は、建設・土木（橋梁など）で広く用いられるスタッド溶接工法です。鉄骨構造物にコンクリートを固定するアンカーとして利用されるため、直径16～25mmの太径スタッドが使用されます。接合時は溶融範囲が大きく、大気中で酸化が進みやすいため、**フェルール（セラミック製カバー）**を装着して酸化防止を行います。溶接後はフェルールを破壊・除去して接合完了となります。工程としては、スタッドをワークに合わせてセットしスイッチを押すと、スタッドが持ち上がりパイロットアークが発生。その後、本アークによりスタッド先端が溶融し、ピストンロッドが下降して母材と一体化します。溶融金属はフェルール内に広がり、スパッタやガスはフェルール下部から排出され、冷却・凝固します。1サイクルは1～10秒とスタッド溶接の中では比較的長時間です。接合後は、スタッド周囲に余肉が形成されます。これは強度に大きく寄与しませんが、全周が均一に盛り上がっているかで正常接合かどうかを判断する基準となります。

電力アーク方式（ドローンアーク方式）



電力アーク方式（ドローンアーク方式）の接合状況

会社名 : 高橋橋金属株式会社
住所 : 滋賀県長浜市細江町864-4
電話番号 : 0749-72-2221