本資料は、「電気製鋼」第 68 巻 第 2 号（1997 年 5 月 電気製鋼研究会編集・発行）の 95～104 ページに掲載されたものを、大同特殊鋼株式会社が再編集したものです。内容は編集・執筆当時のものですので、現在の情報と異なる場合があります。

＊PDS、PX5、NAK は大同特殊鋼株式会社の登録商標または商標です。

解 説

プラスチック成形用金型の補修溶接

Repair Welding for Plastic Injection Mold

高木 柳平 Ryuhei Takagi

大同特殊鋼(株) 溶材販売部 Welding Wire Sales Dept., Daido Steel Co., Ltd.

Synopsis

Needs on repair welding are increasing recently by reasons of wearing, breakage, re-design or correction of products which were already completed. And requirements for its quality such as the general one, mirror surface polishability and the photo-etchability are severe especially, and should be satisfied.

But, characteristics of mold base metal have no good weldability, in general, for reason of hardenability, thick plate and complicated shape.

In this paper, fundamental ideas for weld cracks, blowholes and incomplete fusion that those remedies are very important to get a good quality on repair welding, are shown in detail. And then, repair welding technique for plastic injection mold are explained clearly. TIG process is the best for repair welding of plastic injection mold. But, TIG welding machine, torch and its parts should be chosen to get good quality. And also, its welding technique and operation should be applied under the suitable pre/post-heat treatment, with care of welding condition, operation process and overlay technique. As there is little literature to refer to repair welding, in the existing circumstances, it is desirable for this paper to be referred by readers.

1. はじめに

プラスチック成形用金型は、その適用分野において製品の大量生産、高品質化、均質化、コストダウンの中心的役割を果たしている。一方、これらの金型の製作には高価な工作機械と専門のオペレーターが必要とされ、最終の仕上げ工程には熟練技術者による手磨き工程があり、人手と多額のコストおよび製作日数が必要とされる。

金型を新規に製作する場合に生じやすい NC 加工機による加工入力ミスや放電加工機による加工入力ミス、ヤスリなどの手加工による削り過ぎ、打ち疵、凹みさらには改造または設計変更による寸法変更などの原因で、せっかく製作した金型が台無しになったりする。また、成形現場ではパーティングラインの凹みや成形中に生ずるカジリ疵、磨耗または不注意による工具の当たり疵などの原因で金型が使えなくなったりすることは経済的な面および生産性さらには納期の面で大きな打撃であり、プラスチック成形用金型の補修溶接による再生使用の重要性はすこぶる大きくなってきている。

以上のような膨らむニーズに対し、プラスチック成形用金型補修溶接部への品質要求特性には通常の溶接対象製品にはみられない厳しいものがありその代表的な 3 点を以下に列挙する。

(1) いかなる微細な溶接欠陥もないこと。

(2) 型材と溶接部との硬度差、光沢差が少ないこと。

(3) シボ加工する金型ではシボムラが生じないこと。

さらに、プラスチック成形用金型の補修溶接は溶接技術の側面からみると困難な対象であり、その

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

特長は以下の 3 点に集約される。
(1) 型材は、長寿命化要求から比較的硬い鋼材を使用。
(2) 型材は、一般的に厚肉である。
(3) 型材は、一般的に複雑形状である。

プラスチック成形用金型の補修溶接技術基準は、施工者が過去の経験をもとに決めているのが実情であり、各施工者のノウハウとして扱われ、公表された技術データは極めて少ない。

そこで、本技術レポートでは金型補修についての基本的な考え方を述べ、それに続いて当社の試験データと各種鋼材についての公知の溶接技術データを参考にプラスチック成形用金型の TIG 溶接法による補修溶接要領を主体に述べる。

2. 補修溶接の基礎的考え

2. 1 溶接法の選定

現状、採用されている金型補修方法はティグ溶接（アルゴンアーク溶接あるいはアルゴン溶接ともよばれる）が主流である。

しかし、比較的大きな肉盛には被覆アーク溶接棒による方法があり他に CO_2 アーク溶接、マグ溶接、ミグ溶接などが一部で適用されている。

また、比較的小さい肉盛補修には粉末あるいは 0.1～0.2 mm 厚の薄板・薄肉材をコンデンサースポット式の溶接電源を用い溶着する方法も一部で適用されている。さらに少量肉盛法として「銀ロー付肉盛補修法」「メッキ肉盛補修法」がある。他の特殊ケースとして「たたき出しによる補修方法」および「入子による補修方法」などがある。

しかし、おのおのの方法には一長一短があり、ティグ溶接が現状では最も一般的にかつ広範囲に適用されているので被覆アーク溶接と比較するなかで以下に述べる。

ティグ溶接法は周知のように Tungsten Inert Gas の略で TIG と略されており、JIS ではティグと称される。ティグ溶接はタングステン電極回りからアルゴンガスに代表される不活性ガスで被包（シールド）し、大気から溶接部を保護し溶接する方法である。原理的には非消耗式電極であり肉盛したい場合は溶加棒（溶加ワイヤ）と称する充填材を使用する。この場合はティグフィラー溶接と呼ばれる。

ティグ溶接は被覆アーク溶接に比べ溶接能率は劣るが①溶接金属の水素含有量が少ないので溶接割れが発生しにくい、②溶接金属の酸素含有量が少なく、介在物が少ない、③ブローホールの発生を防ぎやすい、④溶接部と型材との色調差が少ないなどの品質上の利点が多い。

一方、被覆アーク溶接は消耗式電極による簡便な方法でティグ溶接法に比べて溶接能率が優れている。しかし、金型補修に通常使用される溶接棒は「低水素系溶接棒」と呼ばれるもので被覆剤より CO_2 を発生させ溶融金属を保護するが、溶接スタート部などは CO_2 の発生が不十分となりブローホールが生じやすい欠点がある。

金型補修では、溶接能率よりも溶接部の品質を重視することが望ましく、被覆アーク溶接はティグ溶接トーチの操作が形状的にしづらい箇所や下盛溶接にとどめ、可能な限りティグ溶接法を採用することを推奨する。

2. 2 溶接欠陥の防止

溶接欠陥の主なものは、①溶接割れ、②ブローホールおよびピット、③融合不良（不完全溶け込み）に大別される。

金型補修溶接の施工にあたっては、これらの欠陥防止に最大限の注意と事前の対応を図ることがのぞましく以下にその概要を述べる。

2. 2. 1 溶接割れ

溶接割れには溶接金属中に発生するものと、母材部(熱影響部を含む)に発生するものとがある。溶接金属中の割れは主に「高温割れ」「凝固割れ」と呼ばれ≧200℃で発生する割れで低融点不純物（P、S など）の偏析および凝固過程でかかる応力が主な原因と考えられている。

しかし、金型補修溶接ではこれらの溶接金属内

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

割れは少なく、発生した場合には適用母材および使用溶材に原因があることが多い。

一方、熱影響部を含めた母材部に発生する割れは「低温割れ」と呼ばれ<200℃で発生する。

低温割れの主な原因は次の 3 つの条件の組合せで決まるとされている。

①熱影響部の焼入れ硬化〔炭素当量（Ceq）と冷却速度の程度〕

②溶接部の水素量（拡散性水素量）

③溶接部（熱影響部）にかかる応力

引き続き、これらの低温割れの防止策に関しその原因別に以下に述べる。

(1) 溶接熱影響部の硬さ

一般的に焼入性の良好な材料は、溶接性が劣る。熱影響部の硬化性は焼入性とほぼ一致するので、金型が補修溶接を伴う場合は焼入性と溶接性の相反する二つの特性を同時に満足させなければならない。

プラスチック金型用鋼として当社では**表 1** に示すように焼入性の良い材料として代表的には PDS1 および PDS3 を用意している。これらの材料は熱影響部が硬化しやすく割れ易くなるので、適正な熱管理条件での予熱、後熱が必要である。

表 1 当社の代表的なプラスチック成形用金型材とその溶接性

鋼種系	鋼種名	適用硬度(HRC)	予後熱の有無	溶接性
SC系	PDS1	12	有	○
SCM系	PDS3	28	有	○
	PX5	30	無	◎
析出硬化系	NAK55	40	有	△
	NAK80	40	有	△

また、焼入性と溶接性の双方を同時に満足させたものに PX5 があり、予後熱フリーを目的に開発されたもので、今後多くの需要が期待される。ただし、型材の形状、質量などによっては過度の冷却速度による硬化を生じる場合もあり適用にあたっては低温域での予後熱が必要になる場合もある。

析出硬化鋼として代表的には NAK55、NAK80 がある。これらの材料は**図 1** にみるように、溶接のままでは熱影響部が軟化傾向を示す。そのため、溶接後の熱処理（時効処理）によって母材硬さに戻す必要がある。

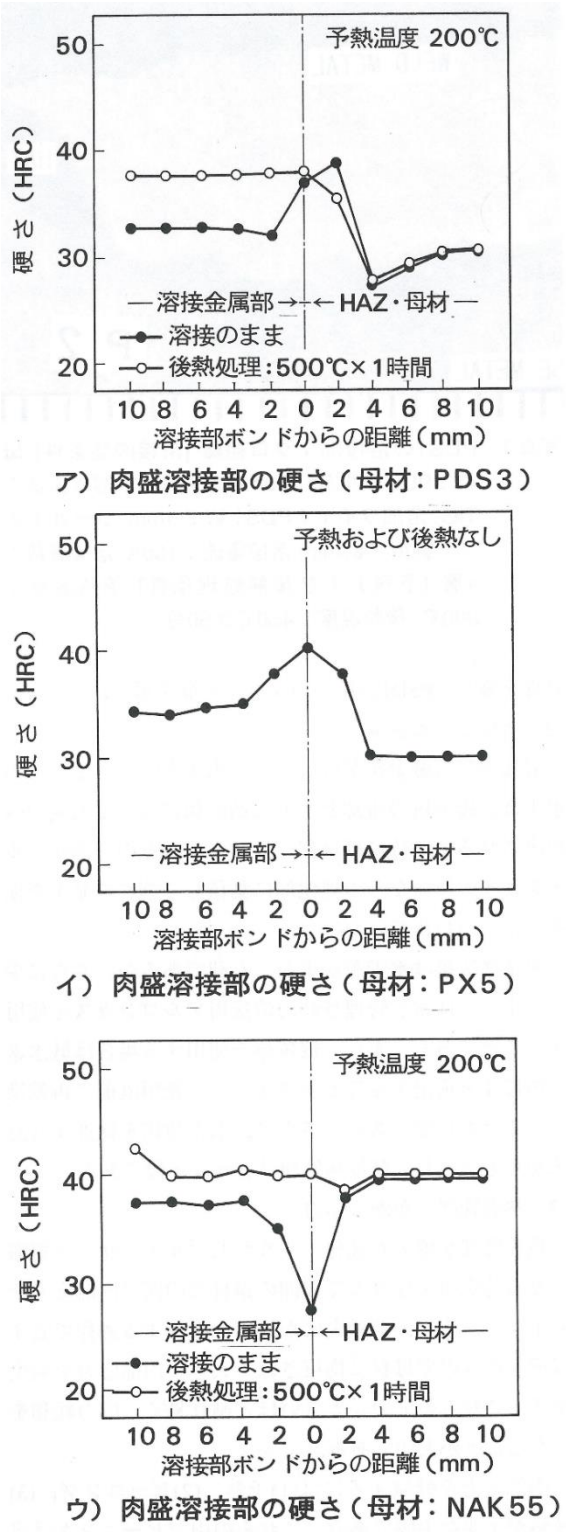


図 1 各種プラ型鋼材の肉盛溶接部硬さ調査例

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

溶接部が硬化せず、軟化するので後工程のシボ加工時硬度差などからシボムラを生じやすく後熱処理を原則的に実施すれば性能を十分発揮する材料である。

〔硬化への理解：熱影響部の最高硬さと予熱温度〕

溶接を行うと熱影響部とくに境界部（ボンドとも言い現場的には 2 番とも言う）が硬化し、割れ易くなる。割れ発生を防ぐには、熱影響部の最高硬さ（HVmax）を 1 つの目安としてとらえ低炭素鋼を例にとれば HVmax が 350～400 以下になるよう施工するとよい。

HVmax は母材成分と熱影響部の冷却速度によりほぼ決まる。母材成分から HVmax を推定するには、HVmax とほぼ比例関係にある炭素当量（Ceq）で計算され通常(1)式が適用される。ただし(1)式は低炭素鋼用のもので組成や組織の異なる鋼材にまで適用するのは好ましくない。

$$Ceq(\%)=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14 \quad (1)$$

現状では、中・高炭素鋼用に Ceq は規格化されていないので(1)式と予熱温度の推定式(2)は炭素当量が大きい型材の場合は参考程度として扱う必要がある。

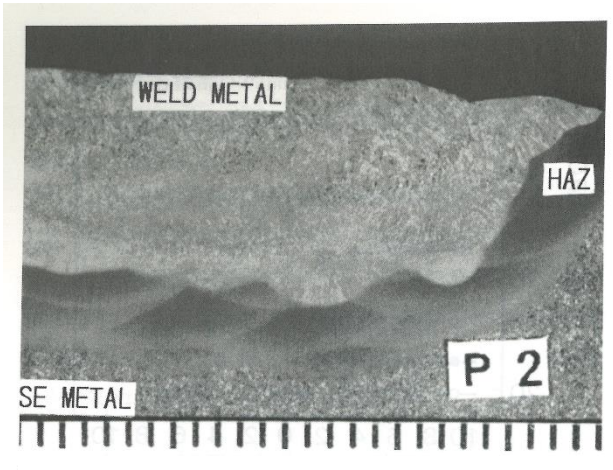
$$予熱温度(℃)=\{Ceq(\%)\times 500\}-100 \quad (2)$$

(2)式のように熱影響部の最高硬さを抑え、割れ発生を防止するには予熱は有効な手段である。**写真 1** に予後熱処理を施した PDS1 溶接部のマクロ組織を示す。

(2) 溶接部の水素量

溶接中に溶融金属部は周囲から水素を吸収する。その水素は溶接金属の冷却とともに過飽和になって大気中へ放出されると同時に母材部へ拡散する。その一部がマルテンサイト組織などの硬化部に集積して割れの発生を促進するといわれている。

ティグ溶接は水素源が少なく有利であるが、さらに少なくするには露点管理された溶接用アルゴンガスを使用することである。また、被覆棒を使用する場合は低水素系被覆棒を選定することが望ましく、使用直前に再乾燥することも必要である。



［溶接肉盛条件］
母材：PDS1、開先：50 mm 幅×7 mm、
溶接方法：TIG、溶加ワイヤ：PDS1-W　2.4 mm、
シールドガス：純 Ar 7 l/min、溶接電流：150A、
溶接層数：4 層
［予熱および後熱処理条件］
予熱温度：200℃、後熱温度：450℃×60 分

写真 1　PDS1 の溶接部マクロ組織

さらに、水素放出を促進する意味からも予熱および後熱処理は有効な手段である。

(3) 熱影響部にかかる応力

熱影響部が焼入れ硬化、すなわちマルテンサイト組織になる時膨張を伴うので周囲の鋼材との間で内部応力を発生する。また、溶融金属が凝固、冷却する過程で必ず収縮を伴うので母材に拘束されて大きな内部応力を発生する。これらの応力が大きいほど割れ易く、応力緩和をはかることが大切である。

内部応力を軽減するには(1)予熱、(2)ピーニング、(3)後熱が主要な手段である。これらの中でピーニングは溶接直後、溶接金属が高温にあるうちにピーニング用ハンマーでビード表面を打撃して溶接金属に圧縮応力による塑性変形を加え、溶接金属の収縮量を減らし内部応力を軽減する方法である。

後熱処理は溶接終了後すぐに適当な温度に加熱して内部応力を軽減する。この目的を十分に達成しようとすると、例えば炭素鋼は 625～650℃で通常処理される。しかし、プラスチック成形用金型のようにプリハードン鋼が使用される場合にこの

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

ような高温処理すると金型材が軟化するので、所定の硬さを確保するために、**表 2** に示す温度で処理することが望ましい。

この場合、応力緩和という目的には不十分であるが、前述の水素除去処理の効果もあって低温割れ防止には有効である。

表 2　熱管理条件の標準例

鋼種系	鋼種名	適用硬度(HRC)	予熱温度(℃)	後熱温度(℃)
SC系	PDS1	12	200～250	350～450
SCM系	PDS3	28	250～300	400～500
	PX5	30	予熱フリー	後熱フリー
析出硬化系	NAK55	40	300～400	450～500
	NAK80	40	300～400	450～500

2. 2. 2 ブローホールおよびピット

ブローホールの発生原因は、主として溶融金属への酸素、窒素の吸収にある。ブローホールは溶接金属内部に生ずる気孔で、ピットは溶接ビード表面に開孔したもので小径のものはピンホールとも呼ばれる。

ティグ溶接では、アルゴンガスによるシールド効果が不完全でアーク雰囲気へ空気が多量に混入した場合にブローホールを形成する。したがって、ノズル・母材間を短く保ち、所定のガス量が流れていることを確認すると同時にシールド性を改善できるガスレンズ付きトーチの採用が望ましい。

被覆アーク溶接では、アークスタートの時被覆剤の熱分解ガスによるシールド効果が不十分になりがちで、ブローホールを発生しやすい傾向がある。とくに低水素系溶接棒でこの傾向が顕著であり、後述する捨金法やバックステップ法を採用すべきであり、運棒はアーク長さを短めにするよう注意する。

2. 2. 3 融合不良 - 不完全溶け込み

融合不良などの不完全溶け込みは、以下の場合に生じやすい。

(1) 開先面あるいは下層(前層)の溶接金属表面へ十分にアーク熱が与えられない場合。

(2) 溶融金属がアークより先行し、アークが開先面へ直接当たらない場合およびアークの狙い位置が悪く未溶融の開先面へ溶融金属がかぶさる場合。

(3) 多層溶接で下層(前層)の溶接表面が凸凹になり、くぼみ部分が溶融不完全になった場合。

これらの不完全溶け込みの対策としては、

(1) ティグ溶接では、極端な前進法による溶接は避けること。通常ティグ法は前進法で溶接を行うが、場合によっては溶け込み深さを増すことができる後退法の採用を推奨する。

(2) ティグ／被覆アーク法とも、前層(下層)ビード表面の凸凹がないことを確認し肉盛溶接を行うこと。もし、凸凹がある場合はグラインダーなどで平坦に仕上げてから肉盛を行うこと。

(3) 被覆アーク溶接法では、アークの狙い位置を適切にするよう注意深く運棒する。

(4) 母材によってはスラグの発生しやすい鋼種があり、スラグ巻込みの欠陥を生ずる場合がある。前層(下層)表面のスラグを十分除去した後、肉盛を行うこと。

(例：NAK55、NAK80)

3. 補修溶接技術の概要

3. 1 補修溶接施工にあたって

溶接肉盛補修にあたって検討する項目は以下の通り。

(1) 補修対象金型：・金型の材質、大きさ／形状確認・補修溶接部位の確認

(2) 金型の前加工：・金型補修部位の開先加工、前準備・金型の清掃、清浄

(3) 予後熱管理：・予熱方法の選定と設備の準備・熱管理(温度・時間)の決定・溶接中の予熱温度保持対策

(4) 溶接機器：・ティグ溶接機の準備・ティグ溶接機の操作と取扱い

(5) 溶加棒：・ワイヤ・溶加材の銘柄・サイズ・量の確認

(6) シールドガス：・溶接用アルゴンガスの準備

(7) 溶接用治具：・溶接姿勢と溶接治具→下向溶接

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

化
(8) 溶接施工：・溶接条件の選定溶接電流、速度、タングステン電極突き出し長さ、アルゴンガス流量、溶接姿勢・溶接操作；溶加材の挿入操作、トーチスイッチ操作、ウィービング操作など・溶接肉盛作業；溶接順序、積層法
(9) 安全・衛生：・溶接保護具、高圧ガスの取扱い
(10) 溶接部検査：・カラーチェックによる検査など
以下に主要項目に関し技術的に補足し説明する。

3. 2 補修溶接施工の要点

3. 2. 1 補修金型の前準備、前加工

(1) 金型の開先加工
・金型にメッキ、浸炭・窒化などの表面処理がされている時は、溶接前に処理層を除去する。開先面に割れなどの欠陥が残っていないことを確かめる。
・開先は溶接に支障のない大きさで、なじみやすい形状で滑らかに仕上げる。
(2) 金型の清掃、清浄
・開先面とその周辺のサビ、油脂、ゴミを完全に除去。

3. 2. 2 予熱および後熱管理

(1) 予熱方法と予熱上の問題点
・予熱方法にはその熱源により種々のものが使用されるが、金型の寸法、形状によっては上下、左右側面など複数の熱源を使用する場合が多い。
・予熱はできるだけ均一に加熱する。
・100℃までは徐々に加熱すること。
・溶接中も予熱温度を保つ。保温には断熱材を使用することが多く最近では衛生上からシリカアルミナ系セラミックブランケットが使用される。金型の予熱方法の一例を**図 2** に示す。

3. 2. 3 ティグ溶接機器の選定とその取扱い

(1) TIG 溶接電源
・定格溶接電流：300A 以上を選定のこと。鋼材の金型補修の場合は直流のみでよいが非鉄系金型（例：亜鉛合金金型）にも共用する場合は交直両用機を選定のこと。
・定格使用率：40%以上を選定のこと。連続許容電流を以下の式で確認のこと。定格溶接電流 300A、定格使用率を 50%と仮定するとその連続許容溶接電流 I_{50} は、
$I_{50}=\sqrt{0.5}\times 300A \fallingdotseq 210A$
・二次側出力特性：定電流特性
・アーク起動：高周波電流による
・制御機能：
＊溶接電流のアップスロープおよびダウンスロープ付きを選定のこと、
＊電流制御は遠方制御ダイヤル付き、
＊電流切替操作はトーチスイッチ又はフートスイッチによる（フートスイッチの方がベター)、
＊クレータ制御、シールドガス制御機能付き

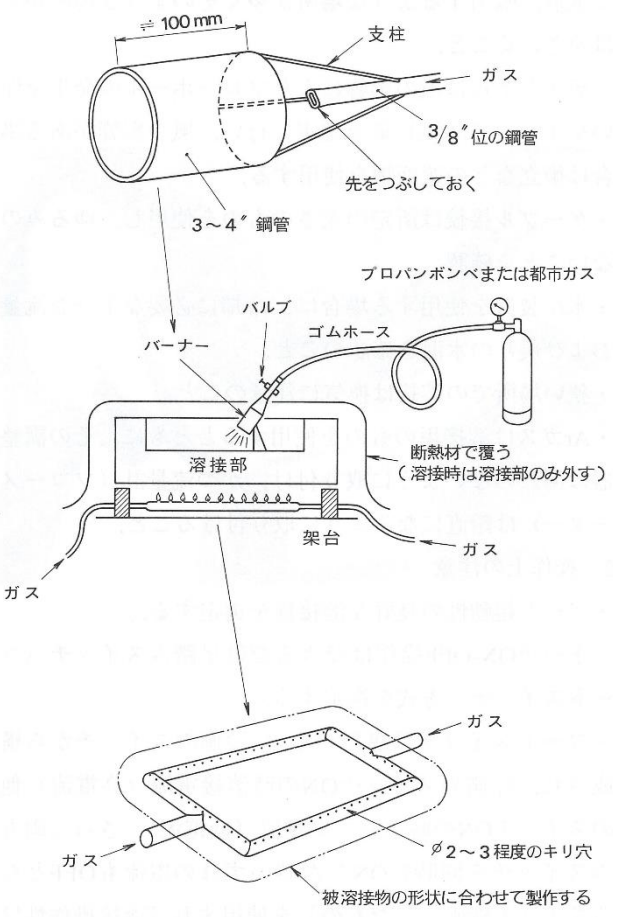


図 2　金型予熱方法の一例

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

(2) TIG 溶接機取扱い上の注意事項

1) 据付と接続

・湿気や塵埃のある場所への設置、据付けは避けること。金型補修の場合、周りに金型研削加工による砥石粉などが飛散、吸引するような場所が多くそのような場所からは遠ざけること。

・ティグ溶接は風の影響によりブローホールの発生を伴いやすいので防風対策を確実に行い、風の影響がある場合は衝立などの遮蔽物を使用する。

・ケーブル接続は所定の太さのものを使用し、ゆるみのないことを確認。

・水冷装置を使用する場合は、冷却に必要な十分な流量および戻りの水温を確認のこと。

・狭い場所での溶接は換気に注意のこと。

・Ar ガスは溶接用のものを使用するとともに、その調整器は漏れのないように取り付け、かつ流量計（フローメーター）は鉛直になるように取り付けること。

2) 操作上の注意

・アーク起動性の良好な溶接機を選定する。

・トーチ ON - OFF 操作はできるだけ足踏みスイッチ（フートスイッチ）方式を選定する。

・フートスイッチは専用のもの〔2 個のスイッチから構成され､片側のスイッチ ON の時溶接電流(高電流）他のスイッチ ON の時クレータ電流（低電流)､さらに両方のスイッチを同時に ON した時いずれの電流も OFF となるスイッチ構成にしたもの〕を使用すれば溶接操作性は一段と向上する。

・電流のアップスロープ制御はタングステン電極の母材混入いわゆるコンタミネーションを防止するためにも必ず使用のこと。

・クレータ制御は必要に応じ使用のこと。

・シールドガス制御のプリ・アフターフロー制御は必ず使用電流に合わせ設定し使用する。

3. 2. 4 溶接トーチ

(1) TIG 溶接トーチ選定の基準

・高使用率になることも考慮し、水冷溶接トーチを選定する。

・許容電流は 300A 以上のトーチを選定する。

・トーチヘッドが自在にできる可撓性トーチを選定のこと。別名自在トーチと言われるもので金型補修溶接の場合、トーチ姿勢がとりにくい場合が多く作業の負担を軽減しひいては安定な溶接品質を得るためにも自在トーチを推奨する。

(2) TIG 溶接関連補助部品の使用について

・「ガスレンズ」の使用

シールド性を改善するためにも使用することが好ましく補修溶接の場合はガスレンズ付きトーチを標準とすること（**図 3**)。

・「ロングノズル」「ショートキャップ」の使用 TIG 溶接による補修範囲を拡大するためにも、常時部品の準備をしておくこと。

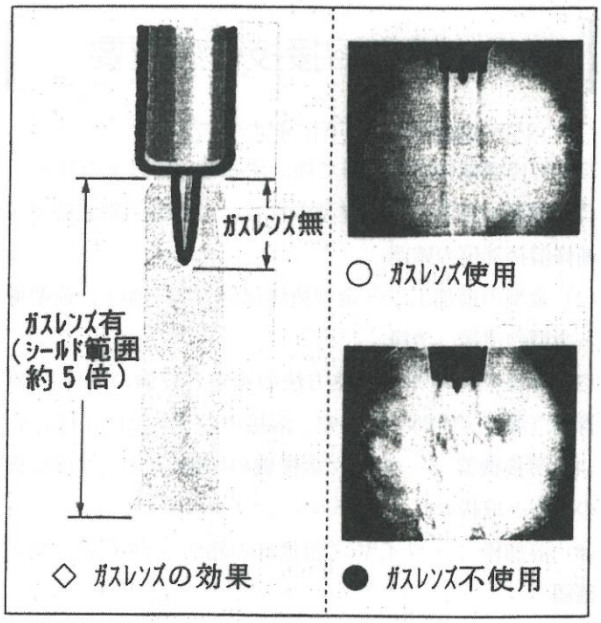


図 3　ガスレンズの効果

3. 2. 5 タングステン電極

(1) 極性と溶け込み

通常の鋼材金型の場合は、電極マイナス（Electrode Negative: DCEN）を使用するが、アルミニウムなどを多く含む亜鉛合金金型の場合には交流 TIG 溶接機が適用される。

(2) 電極径と最大許容電流

適正な電流の選定が必要で、電極径に対し低すぎる場合はアークの安定性に欠け、高すぎる場合

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

は電極先端が溶け、溶融金属に混入するいわゆるコンタミネーションを生じやすくなる。

(3) タングステン電極の材質選定

従来より、鋼材のティグ溶接電極としては2%トリア入リタングステンが用いられている。最近では2%セリア入りさらには2%ランタナ入りも使用されはじめている。

(4) 電極先端の研磨

電極先端の形状はアーク起動性および通常のアーク安定性に大きな影響を及ぼす。研磨時には過熱を避けるとともに、適正な形状でかつ滑らかに研磨することが望ましい。また、電極の長さ方向に研磨をした方が好ましく、かつ専用の研磨機の使用を推奨する。

3. 2. 6 溶加材（溶加棒あるいは溶接ワイヤ）

(1) 当社の代表的プラ型材と TIG 溶加材

溶加材の選定標準を**表 3** に示す。各プラ型鋼材に応じ、専用の溶加材があるので適用に際しては指定材を使用する。

表 3　溶加材の選定標準

鋼種系	鋼種名	適用硬度(HRC)	適用溶加材	溶加材径(mmΦ)
SC系	PDS1	12	PDS1-W	1.2, 1.6, 2.4
SCM系	PDS3	28	PDS3-W	1.2, 1.6, 2.4
	PX5	30	PX5-W	1.2, 1.6, 2.4
析出硬化系	NAK55	40	NAK-W	1.2, 1.6, 2.4
	NAK80	40	NAK-W	1.2, 1.6, 2.4

(2) 溶加材の形態

溶加材としては鋼線のため防錆上表面に厚さ約0.3～1.0 μm 程度の銅メッキが施されている。線径は φ1.2～3.2 mm までの直棒が使用される。ただし、φ1.2～1.6 mm までのサイズではリール巻きにした溶接ワイヤも適用可能である。

(3) 溶加材の保管上の注意

・湿気などによる錆を生じさせないこと。

・必ず乾燥した場所に識別（色別）管理をして保管。

・鋼種・銘柄の不明確な溶加棒は絶対に使用しない。

・銅メッキが錆びている場合は、なめらかなビードが得にくく、欠陥につながりやすいので廃棄し、錆のないものと取り替えのこと。

(4) 溶加材の挿入方法

・ティグフィラー溶接では、溶加材の適切な挿入（送給）が非常に大切で、補修溶接品質を大きく左右する。

・通常は、尺取り方式で親指と他の 4 本の指を使って、スムーズな送給ができるよう習熟することが大切。

・その前段階として簡易器具（スティックフィーダー）の使用を推奨する（**写真 2、3**）。

・一回の溶接終了の都度、酸化している棒（ワイヤ）端を必ずペンチで切断し、次の肉盛に備えるようにするとスタート部の欠陥発生防止に役立つ。

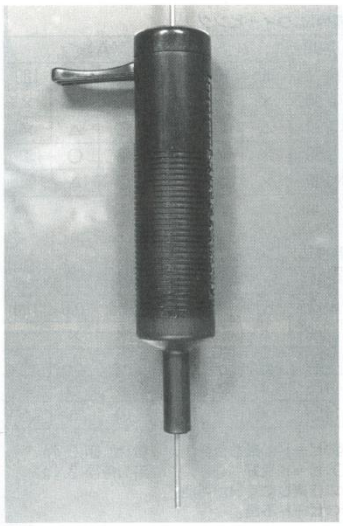


写真 2　スティックフィーダー

写真 3　スティックフィーダー使用例

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

3. 2. 7 溶接姿勢と溶接治具

・溶接姿勢は一般的に下向き姿勢が最もよいとされている。この姿勢がとれるよう適切な溶接治具の併用を推奨する。→アンダーカット、オーバーラップ、アンダーフィルなどの欠陥対策

・治具としては固定型、回転（可動）型がある。回転型には、小型ターンテーブル、中・大形ポジショナーおよびターニングロール式などがある。

・補修溶接の場合、これらの溶接治具と熱管理装置の併用のため、補修対象品に合わせた治具の選定が必要。

3. 2. 8 溶接施工（1）・・・ 溶接条件の選定

(1) 溶接電流と溶接速度の関係

・予熱なし（PX5）の場合は予熱ありにくらべ溶接電流は約 10%高めとする。

・部分的に肉厚の薄い箇所や、コーナー部の肉盛溶接の場合は低めの電流値を選定する。

・電流と速度の一例を**図 4** に示す。ただし、次式で示す溶接入熱量で管理することもしばしば用いられる。

溶接入熱量(J/cm)=60×{溶接電流(A)×アーク電圧(V)}／溶接速度(cm/min)

(2) ノズル径とシールドガス流量

・ノズル径は ϕ6〜10 mm を溶接箇所の形状により選定

・Ar ガス流量はノズル径とおなじ流量を使用する。

例：ノズル径 ϕ8 mm→ガス流量 8 l/min

・ただし、**図 5** に示す形状ではガス流量を適正に設定することが望ましい。また、ガスレンズの使用を標準化すること。

(3) 前進法と後退法

・ティグ溶接法では一般的には前進法を採用すること。

・〔前進法〕

＊溶融池（モルトンプール）の先端部が見やすい。

＊溶加材が挿入しやすい。仕上げ盛りは前進法採用。

＊シールド効果が良好（**図 6**）。

運棒法:ウィービング

速度	電流（A）					
mm/min	80	100	120	140	160	180
40	×	×	×	×	×	×
60	△	○	◎	○	△	×
80	×	△	○	◎	○	△
100	×	×	△	○	△	△

運棒法:シングル

速度	電流（A）					
mm/min	80	100	120	140	160	180
60	△	△	×	×	×	×
90	△	○	◎	○	△	×
120	×	△	○	◎	○	△
150	×	×	△	○	△	△

◎:ビードが最も良好
○:ビード良好
△:作業しにくいが可能
×:ビード不良

電 極 径:2.4ϕ
溶加棒径:2.4ϕ

図 4 溶接電流と速度の関係例（金型の肉厚:150 mm）

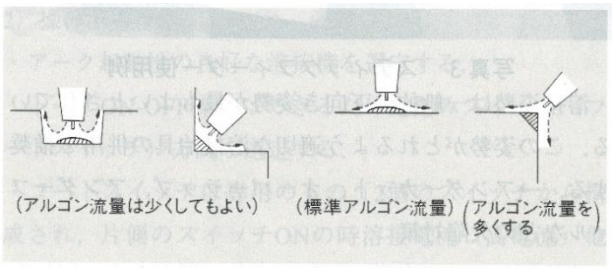


図 5　補修部位形状とガス流量設定の目安

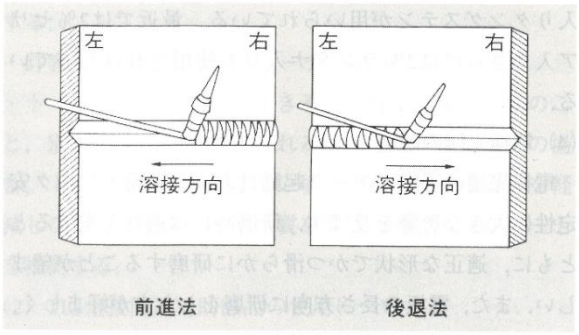


図 6　前進法と後退法

・〔後退法〕

＊多層溶接の下盛りの場合などは融合不良、溶け込み不足の欠陥が出にくい。

＊シールド効果がやや悪いので適用は開先内肉盛溶接にとどめる。

＊溶加材が挿入しにくく、タングステン電極と溶融池が接触しやすい（図 6）。

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

3. 2. 9 溶接施工（2）･･･ 溶接操作

(1) ビード長さ・ビード形状

・ビード長さは長手方向の収縮量を考慮し、一回の溶接長さは 50～70 mm とする。

・ビード始端部は十分に溶融池を形成させてからトーチ操作（運棒）を開始する。前の溶接で使用した溶加材先端は酸化部をペンチで切断後使用のこと。

・ビード断面形状を良くするためには、ビード止端部が母材とよくなじむようウィービング操作などを併用。速度、溶接姿勢に注意してアンダーカット、アンダーフィルを防止。

・トーチ操作 - 運棒法 … シングルビードとウィービングビード

ウィービングビードの方がシングルビードより平滑な面が得られやすく、多層盛りあるいは広い範囲の肉盛りにはウィービングを行うことを推奨する（**図 7**）。

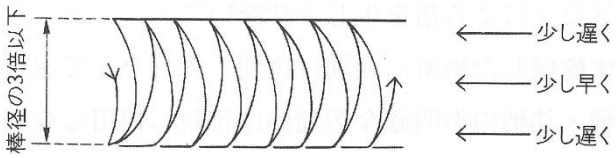


図 7　ウィービング操作の基本例

・ビード終端部はクレータ処理を十分に行う。アフターシールドを完全に行った後トーチを引き上げると共にクレータ中心より横運びの引き上げ方法を採用。

・ビード継ぎ部は先行ビードの端部を確実に溶融状態にしてから、溶加材を挿入し、運棒を開始する。この場合もアークスタートと同様、溶加材先端の酸化部が残っていれば、ペンチで切断後挿入のこと。バックステップ法の採用を推奨。

3. 2. 10 溶接施工（3）･･･ 溶接肉盛要領

(1) ビード重ねとパス順序 … 融合不良の防止

・母材のコーナー部や側壁部および先行ビードの止端部を確実に溶融していく。

・スラグが多く生じた場合は、ワイヤブラシなどで除去する。ワイヤブラシは型材と同系材質のものを使用。

・多層盛の場合は一層毎にできるだけ平滑な面にする。

・ビードを重ねる場合は、ビード幅の 1/2～1/3 を重ねると平滑な面に仕上がる。

(2) 開始・終了位置 … 応力割れの防止

・応力が集中する母材のコーナー部を肉盛溶接する場合、溶接応力がコーナー部にかからないよう注意する。

(3) 歪みを軽減するパス順序

・広い面積や長い部分の肉盛溶接では、できるだけ溶接熱を分散させ発生応力を均一化させる肉盛順序の採用。

・一回のパス長さは 50～70 mm が適当である（**図 8**）。

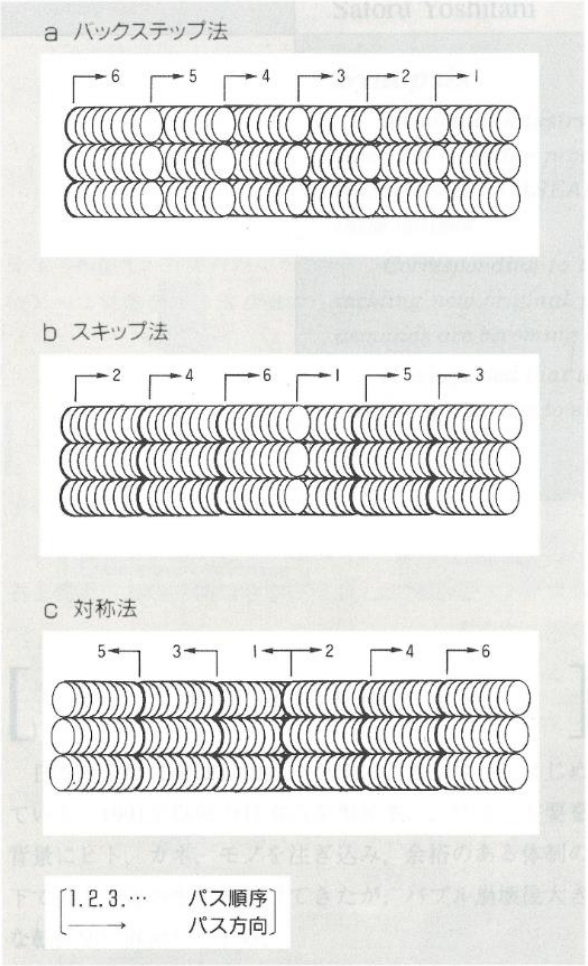


図 8　肉盛溶接における各種溶接順序

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.

3. 2. 11 溶接部の検査

・金型補修溶接部の検査は、とくに補修表面の欠陥有無に関し実施する。表面検査法としては、外観検査（含む目視）のほかに浸透探傷法、磁粉探傷法などがある。

・**写真 4** に各種プラ型材の開先形状を 50 mm 幅×7 mm 深さとしてティグ溶接で各専用溶加材を充填しながら肉盛、その表面をカラーチェック検査した事例を示す。

＊PX5 + PX5-W … クレータ部にピット 1 ケ（写真 4 上）

＊NAK80 + NAK-W … ビード外観に凸凹多い。表面欠陥状のものはスラグ巻込みによる。スラグ除去後、再検査必要。（写真 4 下）

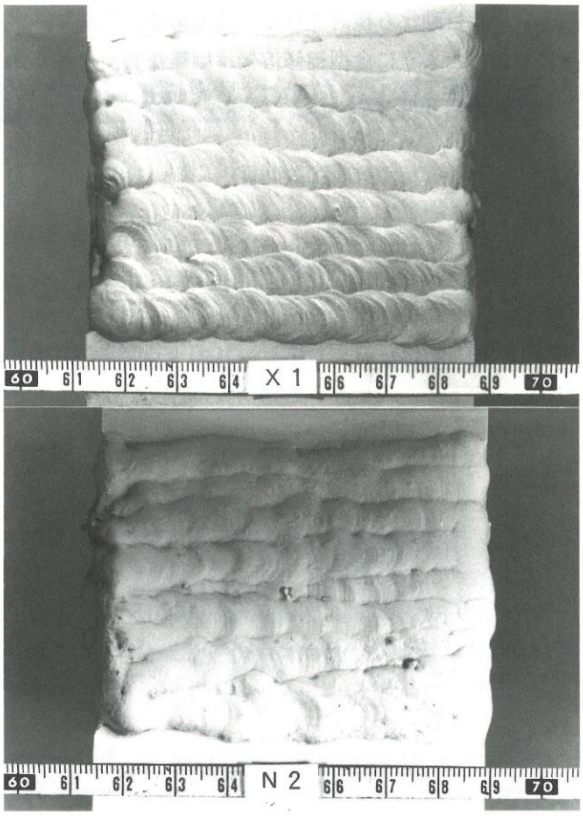


写真 4（上）PX5 + PX5-W による事例
（下）NAK80 + NAK-W による事例

なお、析出硬化系の NAK55、NAK80 はアルミニウムが添加されており、溶接により高融点酸化物を生成しスラグ量多くかつ固着しやすい。これらの材料組成の理解のもとに溶接施工に当たる必要がある。

4. 結び

本稿では、プラスチック成形用金型の補修溶接技術について、溶接割れとその対策などに対する基本的考え方および施工については予熱などの熱管理、TIG 溶接機器、溶接条件などの概要について述べた。

金型補修溶接は、同じ TIG 溶接機器でも他の応用分野とはかなり異なる。例えば、ガスレンズの使用を標準にすること、また施工ではビード長さを制限し応力の発生を制限することなど。まさに薄板・薄肉溶接と厚板溶接、さらには高品質溶接などの複合化された技術が要求されている。現状、腕の良い溶接技能者に依存している面が多々あるが、熱管理下での溶接であり今後、ロボット溶接を含めた自動化も検討されるべきである。しかし、序論でも述べたように金型補修溶接は困難な側面が多くかつ公表されたデータも乏しいので、本稿が読者の改善の一助になれば幸甚である。

© 2023 Daido Steel Co., Ltd.