

溶接材料はとても重要!

メーカーが教える

溶接材料選定のポイント

- 金型のレーザー溶接補修に関する基本的な考え方
- 溶接材料の選ぶ際のポイントを業種別に解説
- レーザーの特性を活かした補修事例
- 金型の肉盛り溶接補修に関する最近の顧客ニーズ

日本が世界に誇る技術「KANAGATA」

身の回りにあるほとんどのものが金型で作られていて、
多種多様な成形方法を理解できた時には「ものづくりの世界」に魅了されていました。

「削る」「彫る」「磨く」、熱処理や表面処理などの工程を経て金型となり、
職人たちの技術の結晶となります。

私たちはより良い溶接で「直す」再生補修技術を追求して、
優れた製品づくりを追い求めています。

そして、追求しているうちに溶接材料の大切さに気づきました。
1本の細いワイヤーが金型を直し、陰ながらものづくり現場を支える、
なくてはならない存在です。

金型の肉盛り溶接補修において、溶接材料はとても重要です。

選定を間違えると求める効果が得られないばかりか、
生産を止めるなどの大きな損失に発展する可能性もあります。

そこでレーザー溶接補修における溶接材料選定のポイントをこの一冊にまとめました。

本資料が皆様の業務のお役に立つことができれば幸いです。

溶接材料は最重要！

溶接材料選定のポイント

1. レーザー溶接補修 — 基本的な考え方

- 1-1. 金型のレーザー溶接補修の重要性
- 1-2. 金型のレーザー溶接補修における課題
- 1-3. 代表的な溶接欠陥

2. 溶接材料 — 選定ポイント

- 2-1. 最初に確認すべき基本項目
- 2-2. プラスチック射出成型用金型
- 2-3. アルミダイカスト用金型
- 2-4. プレス用金型
- 2-5. 溶接品質を向上させる

3. 補修事例 — 放電加工後の割れ対策

- 3-1. 再修正は絶対に避けたい
- 3-2. 波形制御機能の活用

4. 金型の肉盛補修に関する最近の顧客ニーズ

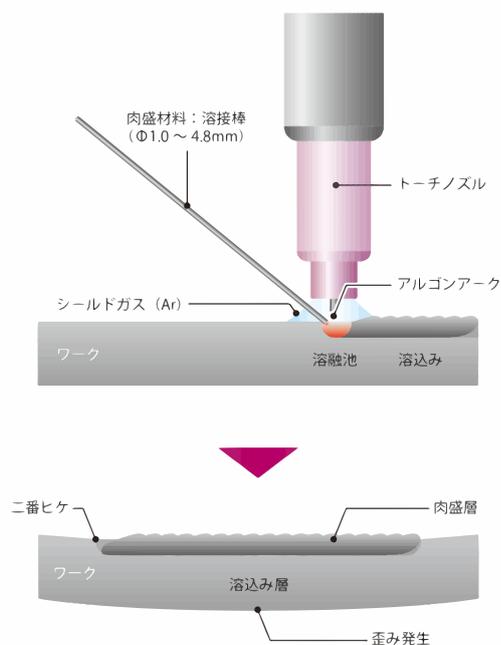
- 4-1. 顧客ニーズに応える
- 4-2. 今後の展望

1. レーザー溶接補修 – 基本的な考え方

1-1. 金型のレーザー溶接補修の重要性

今や精密金型の溶接補修において、レーザー溶接は必須の技術であり、現存する補修方法としては低熱入力という面から最高の品質になります。特に、プラスチック射出成形用金型とアルミダイカスト金型の溶接補修においてレーザー溶接の重要性は極めて高くなっています。金型の高精度化と短納期への対応からメンテナンス工数を削減したいという現場の事情、そしてTIG溶接の熟練技術者が減少していることも、レーザー溶接の重要性に関係しています。以下にレーザー溶接とTIG溶接の特徴を比較した内容を紹介합니다。

アルゴン溶接 (TIG)



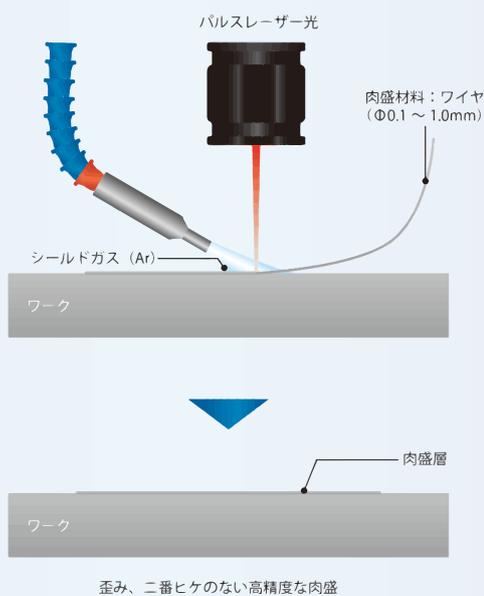
アルゴン溶接の長所

- 肉盛スピードが速い
- 現場作業が容易

アルゴン溶接の短所

- 熟練を要する
- 熱入力大きい (歪み・応力が発生)
- 二番ヒケ (アンダーカット) が発生する
- 余肉が多い (仕上げ時間・費用が増大)
- トーチが入らない狭隘部には肉盛が出来ない

レーザー溶接



レーザー溶接の長所

- 操作が簡単
- 低熱入力 (歪み・応力・硬度変化・二番ヒケが発生しない)
- 高品質で精密な肉盛が可能 (仕上げ時間・費用を軽減)
- 狭隘部への肉盛も可能
- 予熱・後熱が不要

レーザー溶接の短所

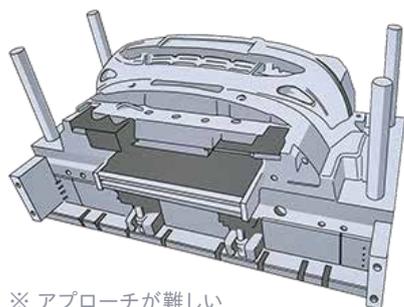
- 大量な肉盛が必要な場合には時間を要する

1. レーザー溶接補修 – 基本的な考え方

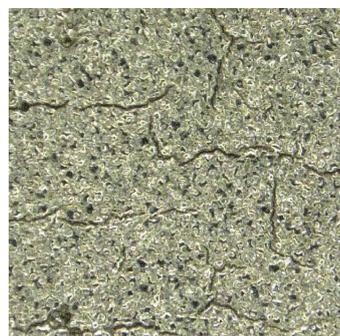
1-2. 金型のレーザー溶接補修における課題

大前提として、レーザー溶接は熱の影響が少ないため、アルゴン溶接などに比べて簡単に溶接が可能です。しかし、対象とするワークが精密金型の場合には様々な課題が発生します。まず、精密金型は単純形状ではないため、3次元複雑形状によって補修箇所へのアプローチが難しくなります(図①)。また、局所的に極短時間のみ溶融するため低熱入力になりますが、その反面で急熱急冷による溶接方法ともいえます。そのため、高硬度材料を溶接した際にビード内にマイクロクラックが発生しやすいというリスクがあります(図②)。そして、溶け込みが浅いため、補修部位の状態によっては適切な前処理をしておかなければ、ピンホールや密着不良といった溶接欠陥が発生してしまいます(図③)。この他、レーザーは光であり、金属である金型に対して反射するため、入射角によっては反射光が補修箇所以外を溶かしてしまうという問題が発生します(図④)。以上のことから、精密金型への肉盛り溶接補修においては、レーザー溶接ならではの難しさがあることを理解し、特性を把握した上で適切な手順を踏む必要があります。

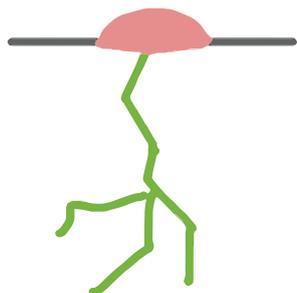
① 3次元複雑形状の精密金型



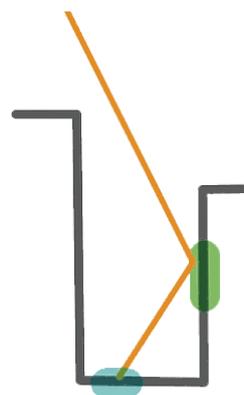
② 高硬度材料を溶接した際の割れの様子



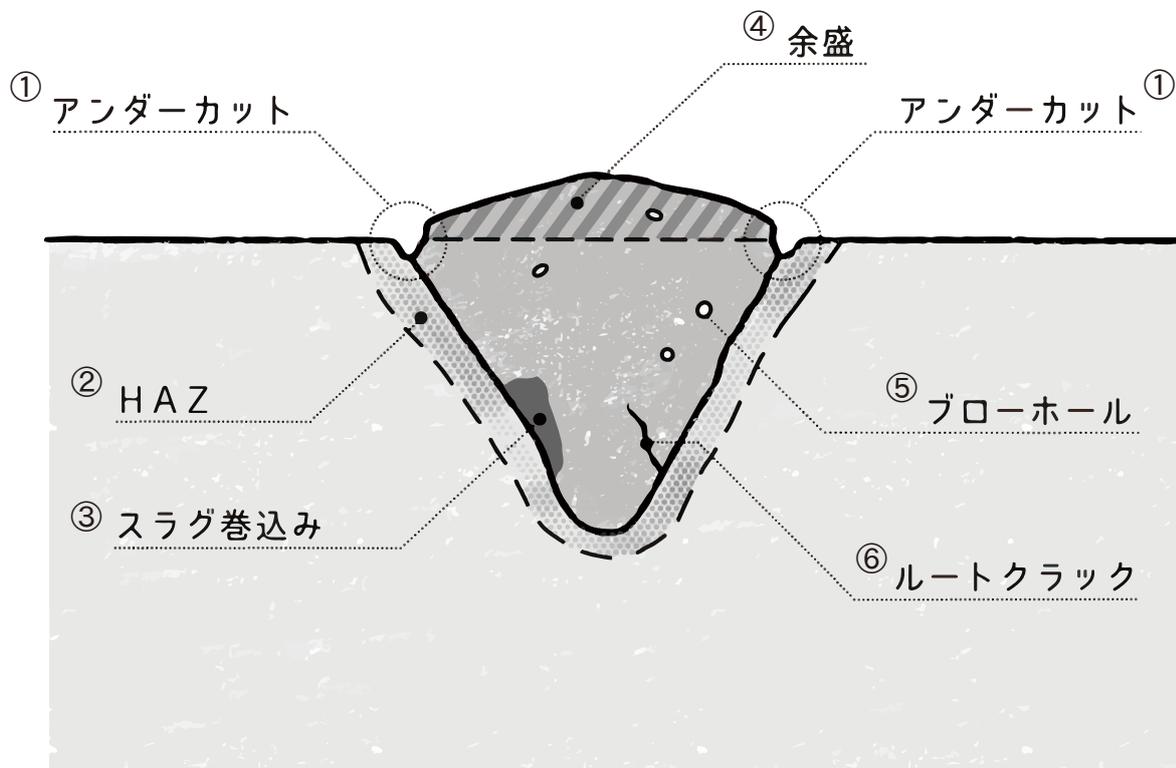
③ ヒートクラック修理で耐久性が悪い状況



④ 反射光が溶かしてしまうケース



1-3. 代表的な溶接欠陥



① アンダーカット

溶接ビード端部の母材が溶けすぎてゼロ面よりもマイナスの位置に窪んでいる状態です。(二番)ヒケともいいます。

② HAZ

熱影響部のことを指します。溶融はしておらず、溶接によってその微細構造および特性が変化した母材の領域となります。

③ スラグ巻き込み

溶接の際に発生するスラグ(金属カス)が表面に浮き上がらず、溶接ビードの中に閉じ込められてしまうことです。

④ 余盛

溶接部の欠陥になりやすい箇所です。過小・過大のいずれにおいても問題があり、適切な大きさが望ましいです。

⑤ ブローホール

溶接ビード内に残留した気泡の孔です。CO₂が主な原因です。

⑥ ルートクラック

ルート部の応力集中によって発生する溶接割れです。

2. 溶接材料 — 選定ポイント

2-1. 溶接材料を選ぶ際のポイント



金型種類、成形する製品の生産量および材質などを考慮して、最適な金型材料を選択していますが、それと同様に金型の肉盛り溶接補修において溶接材料の選定は非常に重要です。選定するポイントとして、まず型種に応じた金型材質はもちろんのこと、表面処理の有無や補修箇所の形状と必要な肉盛量を確認します。そして、どのような効果を求めるかによっては母材よりも高機能を付与する必要があります。また、仕上げ加工をした後に表面処理を行うかどうかにおいても必ず確認しなければなりません。これらを確認した上で最適な溶接材料を選定するポイントを型種別に紹介していきます。

○ 最初に確認すべき基本項目

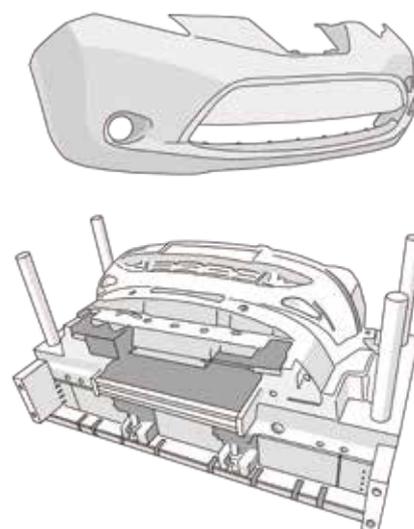
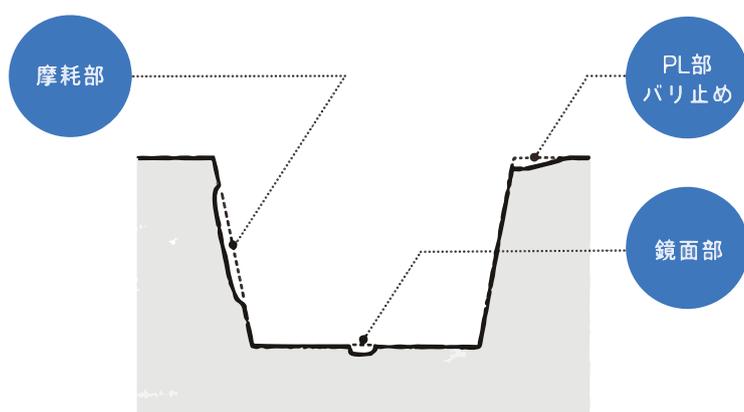
- ① 母材(金型)の材質
- ② 表面処理の有無と補修箇所に必要な肉盛量
- ③ どのような効果を求めているか(なぜ破損したのか)
- ④ 仕上げ加工後に表面処理をするか

2. 溶接材料 — 選定ポイント

2-2. プラスチック射出成形用金型

○ はじめに

まず、金型材質を確認し、補修箇所がキャビティ内であれば、共材を選択することがセオリーと考えてください。これは、溶接補修～仕上げ加工後にシボ加工やメッキなどの表面処理をすることがあるため、その場合に異材では問題となるからです。キャビティ内ではなく、仕上げ加工後に表面処理をしない場合には、求める機能によって異材を選択することもあります。例としては、硬化肉盛をして局部的に耐摩耗性を付与したり、耐腐食性を付与したりというケースがあります。



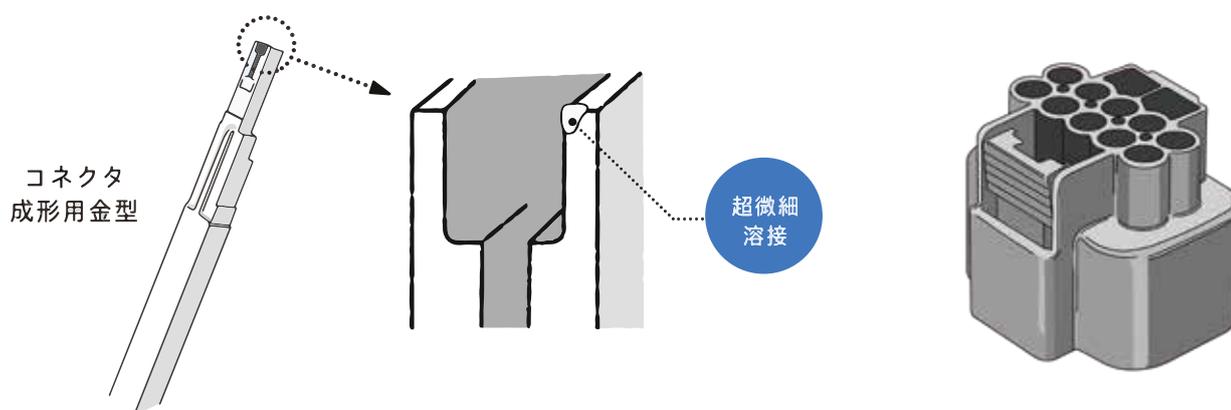
○ 高硬度材料の溶接には注意

レーザー溶接は急熱急冷の溶接方法となるため、高硬度材料を溶接した際にマイクロクラックが発生しやすいといえます。母材硬度がHRC60付近であれば注意が必要となり、肉盛量に応じた溶接材料の選定と適した溶接方法を選択しなければなりません。また、SKD-61系・SKD-11(改)・SUS420J2系の焼入れ鋼に肉盛りをし、型彫り放電加工を用いて仕上げる際にもマイクロクラックが発生してしまうリスクがあります。こちらの場合においても注意が必要です。マイクロクラックの発生を防ぐ方法としては、波形制御機能を活用する必要がありますが、この点については具体的な事例を交えて後述します。

2. 溶接材料 – 選定ポイント

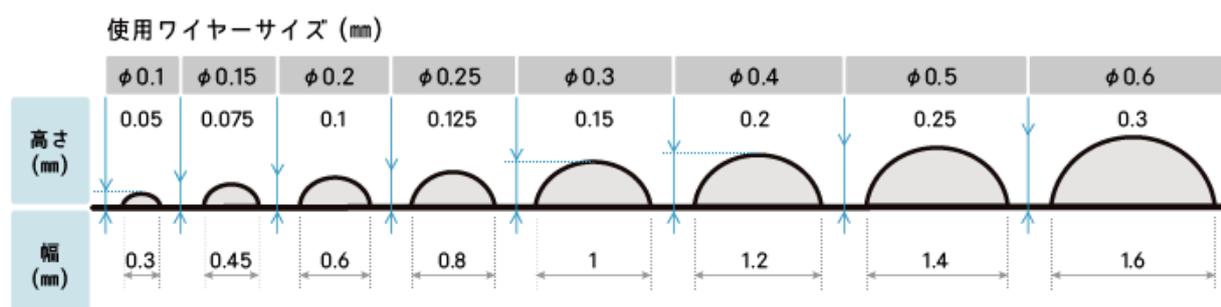
○ ワイヤーサイズの重要性

レーザー溶接の技術者としてより高いレベルを目指すなら、溶接材料の選定としてワイヤーサイズ（線径）も意識してください。コネクタ成形用金型などの溶接補修においては、超微細な肉盛溶接が求められます。肉盛後の仕上げ加工を想定し、必要最小限の肉盛量で作業を完了させることが重要になります。これにより、トータルの修理工数の削減が可能となります。



従来のワイヤーサイズは、 $\phi 0.1/0.2/0.3/0.4/0.5/0.6\text{mm}$ のみでしたが、弊社のオンラインショップでは、細い線径である $\phi 0.1\sim 0.3\text{mm}$ の範囲において、中間サイズ $\phi 0.15/0.25\text{mm}$ をラインナップしています。補修箇所の肉盛量を正確に捉え、最適なワイヤーサイズを選択することで、溶接と仕上げ加工時間の短縮を可能とします。そのためワイヤー選定は、レーザー溶接のプロを目指す技術者にとってはとても重要なスキルです。

以下に各ワイヤーサイズをレーザー溶接した際の1ビードの肉盛幅と高さの目安を示します。



ワイヤー選定基準

2. 溶接材料 – 選定ポイント

2-2. アルミダイカスト用金型

○ はじめに

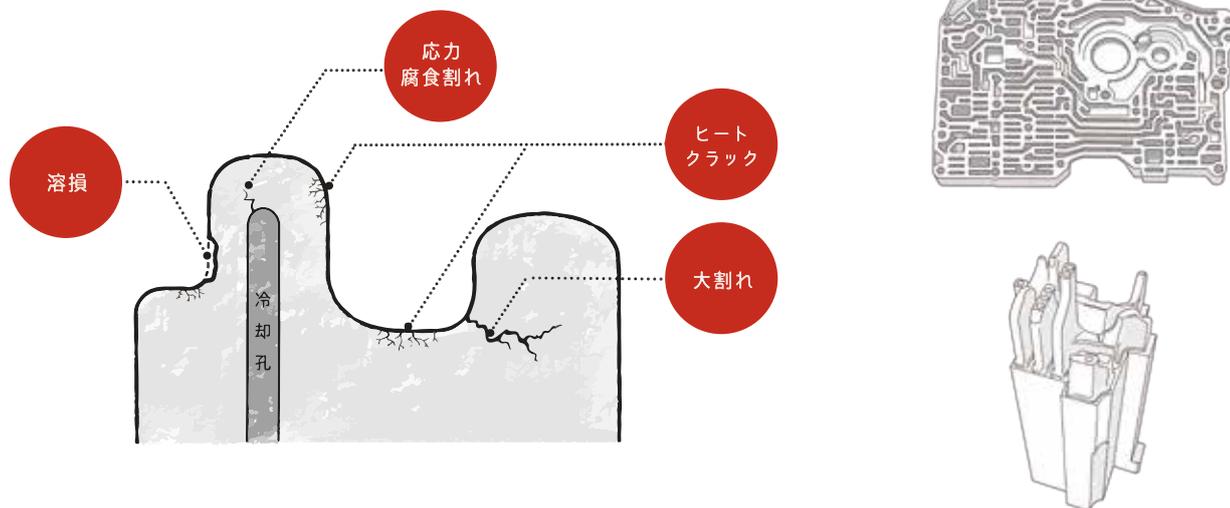
まず、新型の状態であれば母材と同じSKD-61などの共材を選択します。鋳造後に発生するヒートクラックや溶損部などの溶接補修については、進行状況に応じた肉盛量と仕上げ方法を考慮して選定していくことになります。仕上げ方法を考慮しなければいけない理由としては、下記の通り、肉盛直後の硬度が手仕上げ加工に影響してしまうことがあげられます。

手仕上げを考慮した場合の材料選定

- ・ 肉盛り箇所が硬すぎて仕上げ加工が大変 → マルエージング鋼であるMAS-1など
- ・ 肉盛り直後に焼入れ後と同等の硬さが欲しい → DHWなど

○ 補修内容の8割がヒートクラック

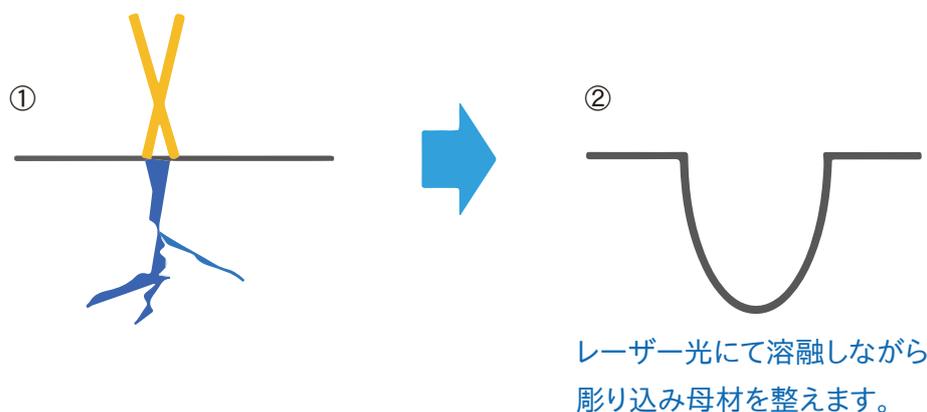
アルミダイカスト用金型ではヒートクラックの溶接補修が多いです。クラックの進行状況によって肉盛量が変わるとともに、溶接材料の選定と手順を変えることを推奨しています。ヒートクラックは、高温の溶融アルミと毎ショットごと塗布する離型剤によって急熱急冷となり、残留応力が蓄積してしまうことで発生します。また、溶接補修においてはできるだけ割れが浅い段階で対処することを心掛ける必要があります。浅い段階で対処することにより、大きく割れることを防ぐことが可能となります。



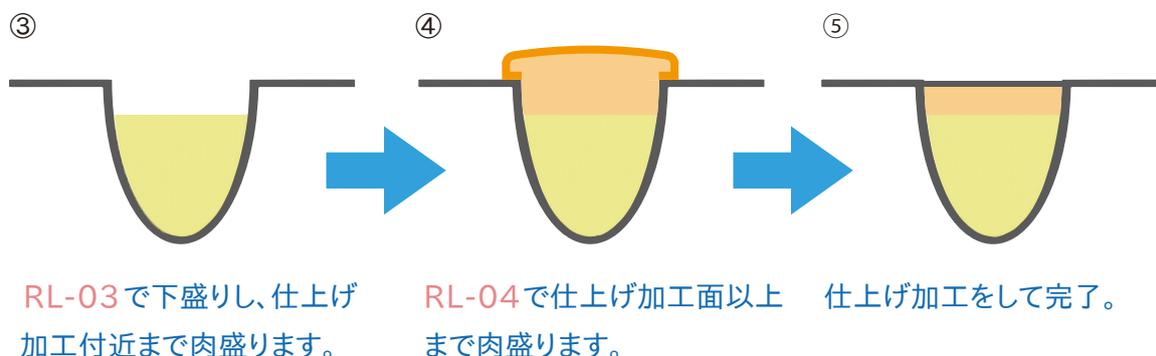
2. 溶接材料－選定ポイント

○ ヒートクラック補修の推奨手順

ヒートクラックは表面だけを塞いでも全く意味がありません。割れが内部に残った状態ではすぐに表面まで割れてしまいます。そのため、割れを除去する必要があります。ただし、ヒートクラックは放射状に広がっているため、補修箇所によっては完全に除去することは難しくなります。そこで、耐久性を考慮した上で以下の溶接手順を推奨しています。まず、レーザーでワークを溶かしながらクラックを彫り込んでいきます(図①・②)。入射角によってレーザー光で彫り込むことが難しい場合は、リューターなどで開先加工をします。その後、ワーク表面付近まで下盛り(図③)、下盛りする材質は靱性が高い溶接材料を選択します。次に、ワーク表面に当たる箇所を含めて上盛りします(図④)。上盛りする材質は母材硬度や求める特性に合わせた溶接材料を選択する必要があります。最後に仕上げ加工をして完了です(図⑤)。



※ レーザー光にて彫り込みができない際にはリューターなどで開先加工を行ってください。



※ RL-03・RL-04は、テラスレーザープライベートブランドのマイクロワイヤーです。

RL-03 適用範囲は広く、DC金型部品に適用(手仕上げ・チョコ停時に使用)。

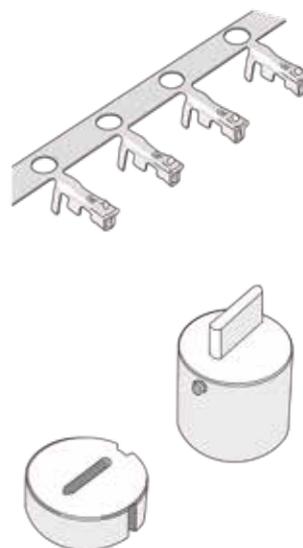
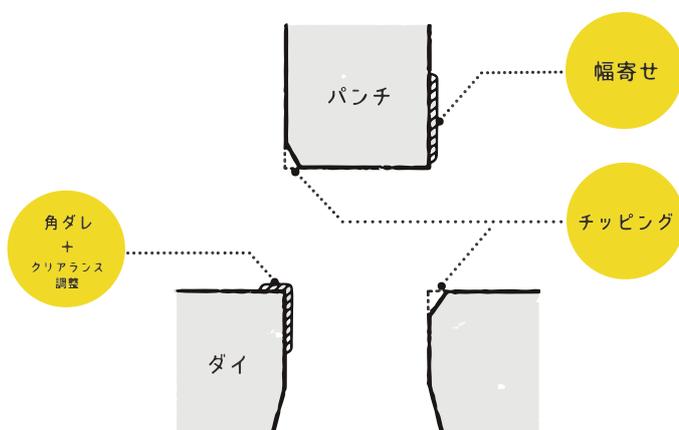
RL-04 適用範囲は広く、ダイカスト補修における万能材料です。

2. 溶接材料 – 選定ポイント

2-4. プレス用金型

○ 肉盛量から溶接工法を選択

まず、補修箇所の肉盛量に応じてレーザーを用いての溶接補修が適切かを判断する必要があります。肉盛量が多くなる状態では、TIG溶接の方が適している場面もあります。また、修理工数に応じたコスト面から判断して金型を作り直した方がよい場面も考えられます。レーザー溶接がマッチする箇所としては、パンチやダイの刃先のチップングが多いです。ここで注意しなければならないことは母材硬度と肉盛量です。前述のとおり、レーザー溶接は急熱急冷のため、母材硬度がHRC60付近になるとマイクロクラックが発生しやすく、肉盛量が多くなればなるほど割れやすくなります。この問題については、下盛りと刃先になる箇所において、溶接材料を変えることによって対処することが可能となります。



2. 溶接材料 – 選定ポイント

2-5. 溶接品質を向上させる

弊社ではあらゆる溶接材料を試験し、最良の結果が得られた材料をオリジナルワイヤー・T-LINEとしてオンラインショップにラインナップしています。オンラインショップサイト内では型種別の補修内容から最適な材料を選択することができます。専用のユーザーアカウントを登録することにより、各種技術資料がダウンロードが可能となります。溶接欠陥が発生している、耐久性を向上したいなどの課題に直面しておりましたら、ぜひともT-LINEをお試ください。

オリジナルワイヤー

 **T-LINE**



溶接欠陥
を防ぐ

高い
密着性

優れた
耐久性

プラスチック金型用 / BLシリーズ

ダイカスト金型用 / RLシリーズ

プレス金型用 / YLシリーズ

T-LINEは、レーザー溶接用のマイクロワイヤーであり、テラスレーザのプライベートブランドです。

蓄積された溶接技術をもとに補修部位の材質・状態・肉盛量などから最適なワイヤー選定とノウハウを提供いたします。

金型種類・母材材質により、最適なワイヤーを選択しやすいように分類しています。

3. 補修事例 — 放電加工後の割れ対策

3-1. 再修正は絶対に避けたい

前述より、放電加工後の割れの問題は、レーザー溶接が急熱急冷であるが故に発生します。これは、矩形波による溶接ではなく、波形制御機能を用いた溶接により改善することができます。金型の溶接補修では、肉盛溶接完了時に問題が生じていなくても、仕上げ加工後に溶接欠陥が発見されてしまうことがあります。これは、絶対に避けたいことです。このことにより、再溶接が必要となり作業工数が大幅に増え、生産計画にも影響を及ぼしかねません。下記参照。

○ 割れが肉盛表面に達している



即対応

○ 割れが肉盛表面に達していない



仕上げ後に割れがわかる場合あり



再修正

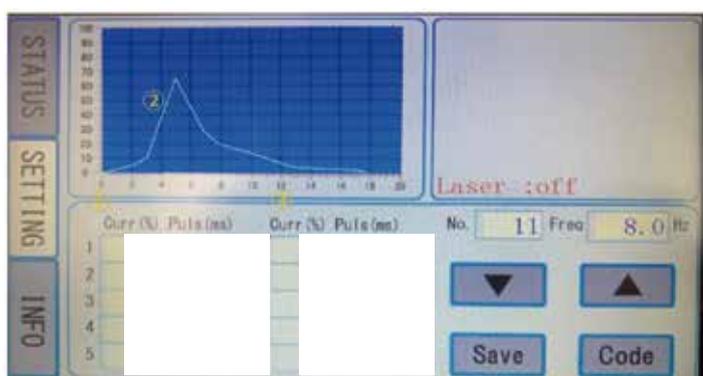
3. 補修事例 — 放電加工後の割れ対策

3-2. 波形制御機能の活用

金型補修用に使うレーザー溶接機は、熱の蓄積を抑えたいためパルス発振を採用しています。そして、レーザー光のパラメーターはパワーとパルス幅と周波数で制御しています。矩形波は、単純に温めて冷ますだけですが、波形制御機能を活用することで、ワンパルスの中に予熱や後熱などの効果を取り入れることができます。これにより急熱急冷を緩和することが可能となります。

下図は、母材と溶接材料がHPM31で肉盛後に放電加工で仕上げた場合、波形制御機能を使うことでマイクロクラックを防ぐことに成功した事例です。

肉盛溶接→放電加工後 100倍画像 (母材:HPM31/肉盛ワイヤー:HPM31)



他社製 : 割れ有り



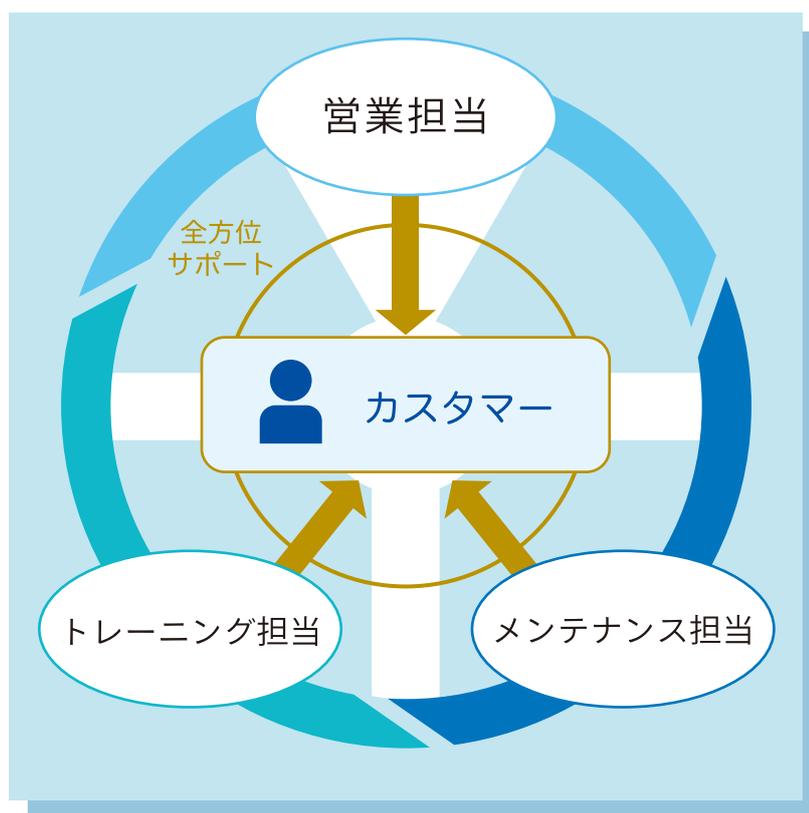
T-LASER : 割れ無し

波形制御機能は、高硬度材料の割れ対策の他に、アルミや銅の高反射材の肉盛溶接にも効果的であることがわかっています。

4. 金型の肉盛り溶接補修に関する最近の顧客ニーズ

4-1. 顧客ニーズに応える

最近、弊社に寄せられるレーザー溶接に関する技術的な質問のレベルが上がってきています。よくある内容として、前述の放電加工後の割れ対策や、窒化処理済みワークのヒケ止め、狭隘部の反射光対策、ヒートクラックへの修理における耐久性向上についてなどです。このような相談はメーカーとして大変嬉しいことです。使えば使うほど、技術者は壁にぶつかり乗り越えなければなりません。私たちはそのような技術者を全力でサポートします。レーザー溶接の技術サポートに関しては、弊社ユーザーだけでなく、他社ユーザーも歓迎しており、テラスが誇る企業文化である「カスタマーサクセスチーム」が担当します。



4. 金型の肉盛り溶接補修に関する最近の顧客ニーズ

4-2. 今後の展望

グローバル市場での激しい競争の中、金型メンテナンス現場では短納期への対応と緊急時の体制づくりが必要不可欠になっています。肉盛溶接補修においては、オペレーターのスキルに依存せず、より「高品質」と「簡単さ」が求められています。これらのニーズに対し、弊社では肉盛補修のためのティーチングシステム・T-TRACKと連携した材料供給装置など、自動化への対応を進めています。また、現場作業性にこだわった新たな溶接補修装置も研究開発しています。



弊社のサービスポリシーは、「モノは売らない 価値を提供する」です。モノの価値観が「所有から利用へ」とシフトする中、弊社では優れたハード(製品)だけでなくソフト(サービス)面も充実させていきます。そして、あらゆる変化に柔軟に対応できるメーカーとして、金型を「修理する」というフィールドにおいて金型業界に貢献していきます。