

納
得

図で解説!

レーザー溶接機メーカーが教える!

レーザー溶接の

課題解決方法

レーザー溶接ならではの様々な課題と対処方法について、現場で参考になる情報をわかりやすくまとめて掲載しています。金型補修におけるレーザー溶接の優位性と導入後も安心できる内容をご紹介します、納得の一冊です。

金型補修における レーザー溶接の課題と解決方法

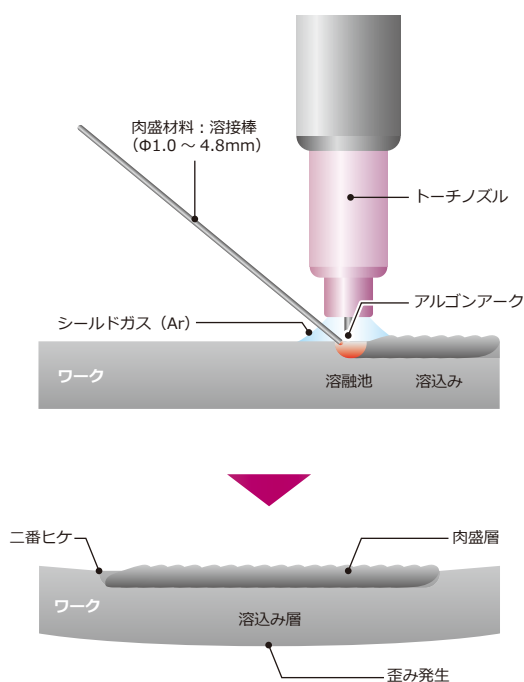
1. レーザー溶接の課題
2. 放電加工後の割れ対策
3. 窒化処理済みワークのヒケ止め
4. 超微細溶接
5. クラックの補修
6. 3次元複雑形状へのアプローチ
7. 狭隘部の反射光対策
8. カスタマーサクセスチームのご案内



1. レーザー溶接の課題

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。

① アルゴン溶接 (TIG)



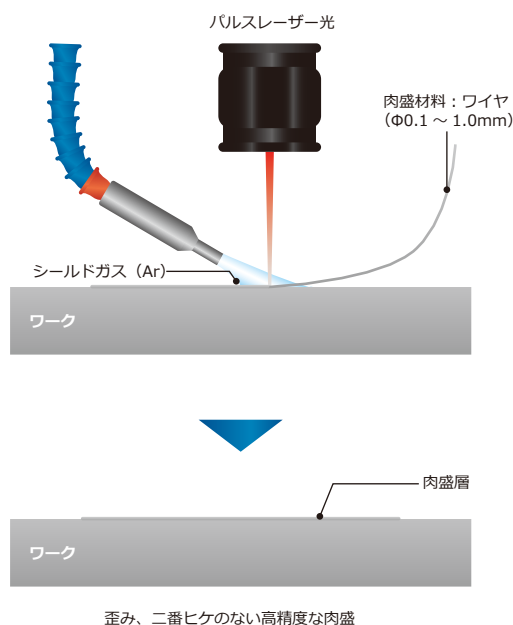
アルゴン溶接の長所

- 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
- 熱入力が多い (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

② 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

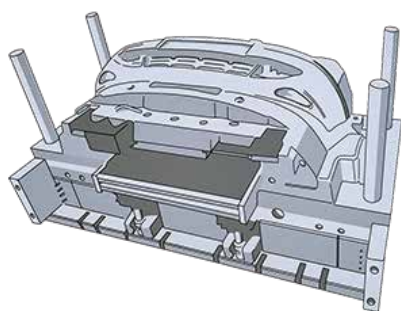
レーザー溶接の短所

- 大量な肉盛が必要な場合には時間を要する

Fig.1 レーザー溶接とTIG溶接の比較

1. レーザー溶接の課題

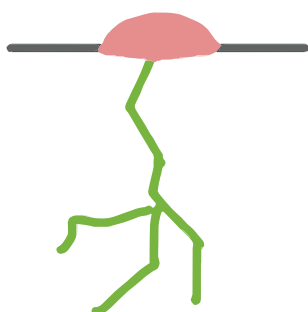
大前提として、レーザー溶接は熱の影響が少ないため、アルゴン溶接などに比べて簡単に溶接が可能です。しかし、対象とするワークが精密金型の場合には様々な課題が発生します。まず、精密金型は単純形状ではないため、3次元複雑形状によって補修箇所へのアプローチが難しくなります(図①)。また、局所的に極短時間のみ溶融するため低熱入力になりますが、その反面で急熱急冷による溶接方法ともいえます。そのため、高硬度材料を溶接した際にビード内にマイクロクラックが発生しやすいというリスクがあります(図②)。そして、溶け込みが浅いため、補修部位の状態によっては適切な前処理をしておかなければ、ピンホールや密着不良といった溶接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。



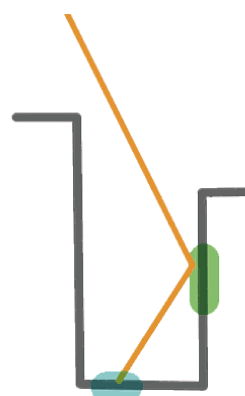
① 3次元複雑形状の精密金型



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

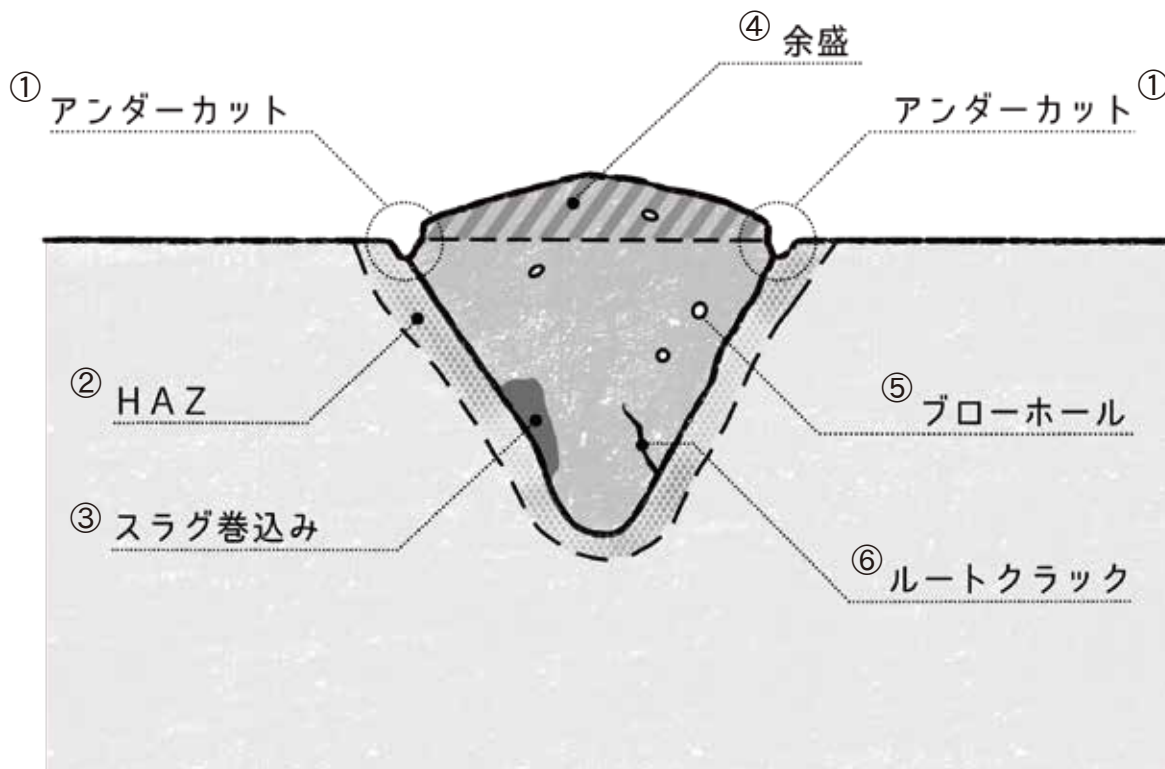


④ 反射光が母材を溶かしてしまうケース

Fig.2 レーザー溶接ならではの課題

1. レーザー溶接の課題

以下に代表的な溶接欠陥の種類を記載します。



① アンダーカット

溶接ビード端部の母材が溶けすぎて加工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。

Fig.3 溶接欠陥の種類

本書を通じてレーザー溶接の特徴を理解することで、これらの課題に対処することができます。溶接欠陥を未然に防ぎ、金型メンテナンスの工数削減と品質向上に役立てていただけたら幸いです。

2. 放電加工後の割れ対策

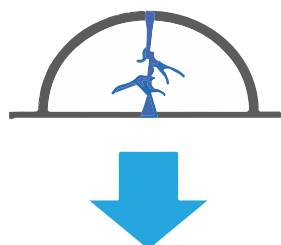
○ はじめに

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ことがあります。母材硬度が高い上に、急熱急冷という状態変化が大きな要因になりますが、型彫り放電加工機特有の加工プロセスも起因しています。

再修正は絶対に避けたい

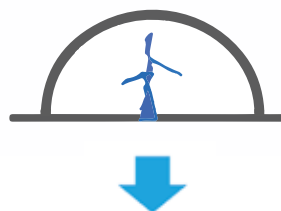
まず、金型の溶接補修では、肉盛溶接完了時に問題が生じていなくても、仕上げ加工後に溶接欠陥が発見されてしまうことがあります。これは、絶対に避けたいことです。これにより、再溶接が必要となり作業工数が大幅に増え、生産計画にも影響を及ぼしかねません(下記参照)。

割れが肉盛表面に達している

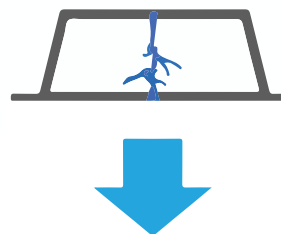


即対応

割れが肉盛表面に達していない



仕上げで割れがわかる場合あり



再修正

Fig.4 割れ修正が必要になってしまうパターン

2. 放電加工後の割れ対策

○ 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、ワンパルスの中に余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できるため、高硬度材料のマイクロクラックを防ぐことが可能となります。

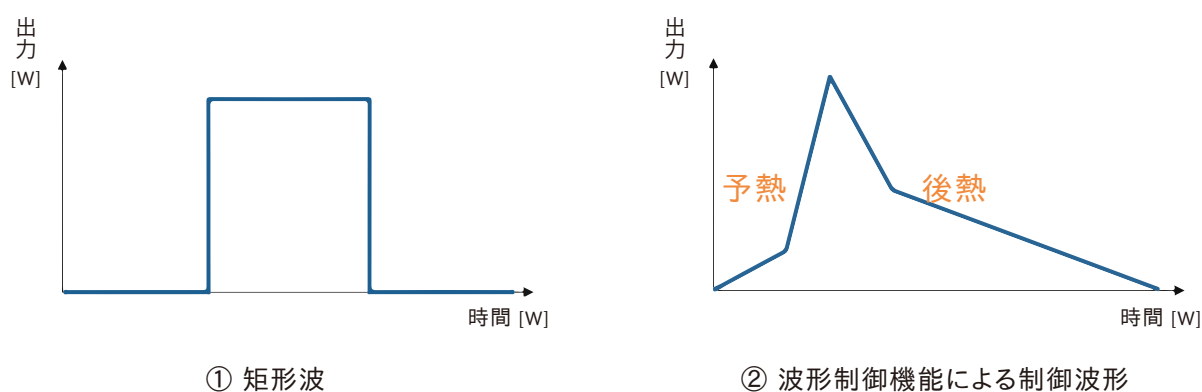


Fig.5 矩形波と波形制御による制御波形の違い

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。

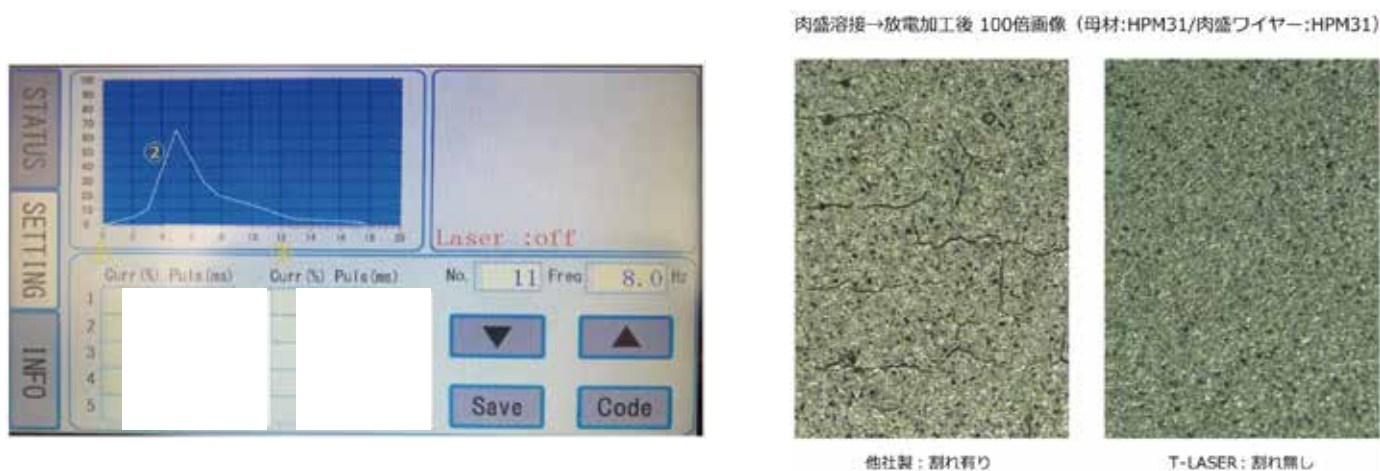


Fig.6 波形制御機能を活用した割れ対策の結果

3. 窒化処理済みワークのヒケ止め

○はじめに

金型には様々な表面処理や熱処理が施され、硬度や機能を向上させることにより、生産性を向上しています。その中で、窒化処理は多くの金型で採用されています。窒化層は溶接においてとても邪魔な存在です。母材を溶融させると同時に窒化層(ガス)がブクブクと噴いてきます。これにより、巣などの内部欠陥が発生してしまいます。また、密着不良も発生しやすく、最悪の場合は肉盛層が剥離してしまいます。そして、一番悩ましい点は、肉盛層との境目にヒケが発生してしまうということです。レーザーを理解し、ポイントを抑えて適した溶接手順を踏むことによりヒケ止めも可能となります。

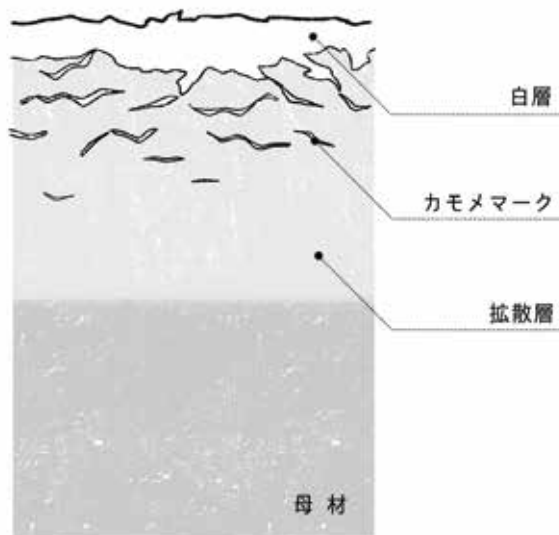


Fig.7 窒化層

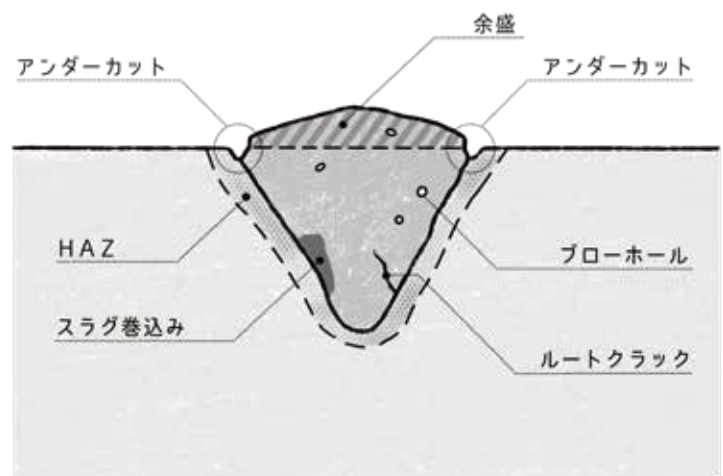


Fig.8 発生しやすい溶接不良

3. 窒化処理済みワークのヒケ止め

○ ビーム品質の重要性

パワー分布が均等かつ良好なビーム品質でなければ、窒化処理済みワークにおけるヒケ止めは難しくなります。窒化処理済みワークは、通常ワークと同様に綺麗なスポット痕にならず、際(きわ)が食われる様に溶けていきます(Fig.9)。この箇所に肉盛層を被せなければ、ヒケとして残ってしまいます。

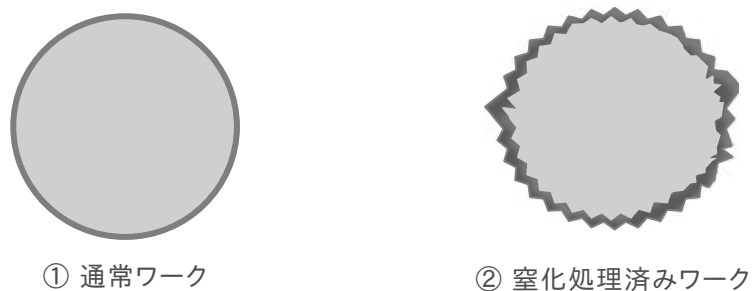


Fig.9 放射痕のイメージ図

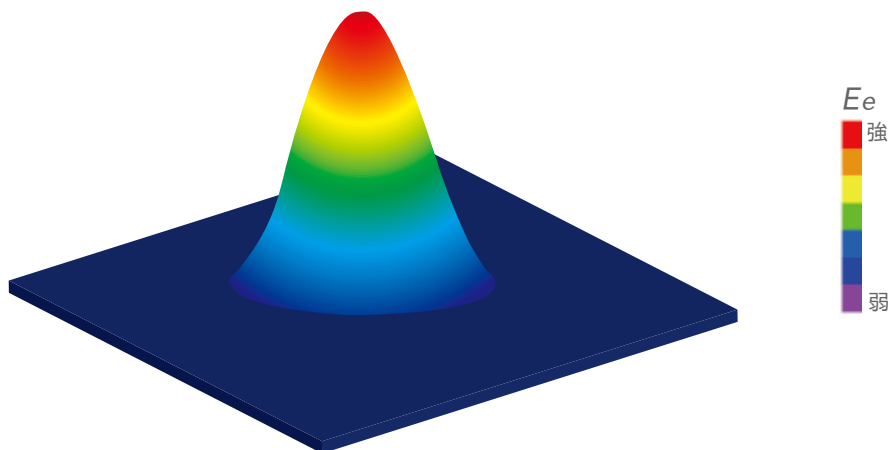


Fig.10 照射照度分布における良好なビーム品質 (ガウス型)

3. 窒化処理済みワークのヒケ止め

○ 溶接手順の重要性

まず、とても邪魔な存在である窒化層(ガス)をレーザー光で除去します。際(きわ)に対しては、通常よりもパワーと速度を上げ、彫り込むように除去していくことがポイントです。次に十分にガスを噴き出させ、ワーク表面をならしてからワイヤーを使い肉盛りを行います。この時、母材と肉盛層の境目にヒケが生じてしまうことを認識してください。このことを踏まえ、ワイヤーの挿す角度や押し方、レーザー光のスポット径を調整し、ヒケ止め対策することがポイントです。

STEP
01

レーザー光(空打ち)で彫り込み、窒化層を確実に除去する

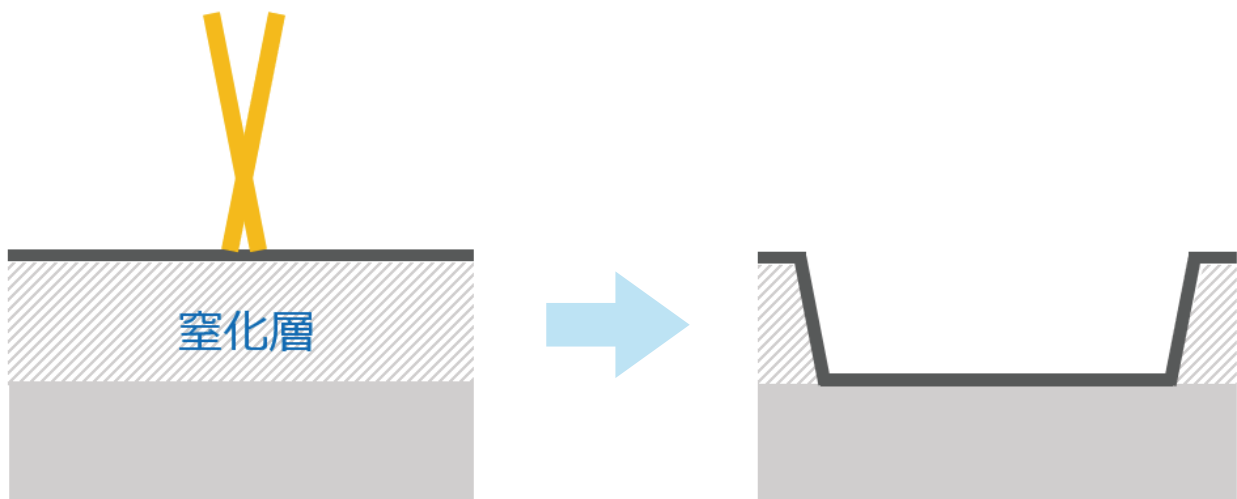


Fig.11 窒化層除去

3. 窒化処理済みワークのヒケ止め

STEP
02

母材と肉盛層の境目にはヒケが発生してしまう

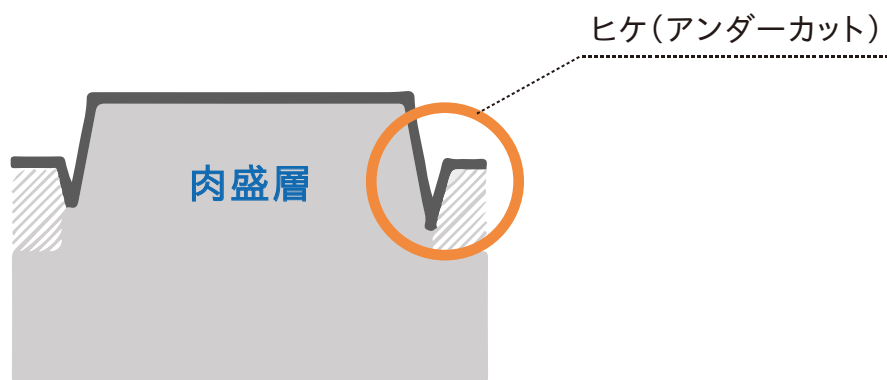


Fig.12 母材と肉盛層

STEP
03

ワイヤーを挿す角度・押し方・レーザー光のスポット径を調整する

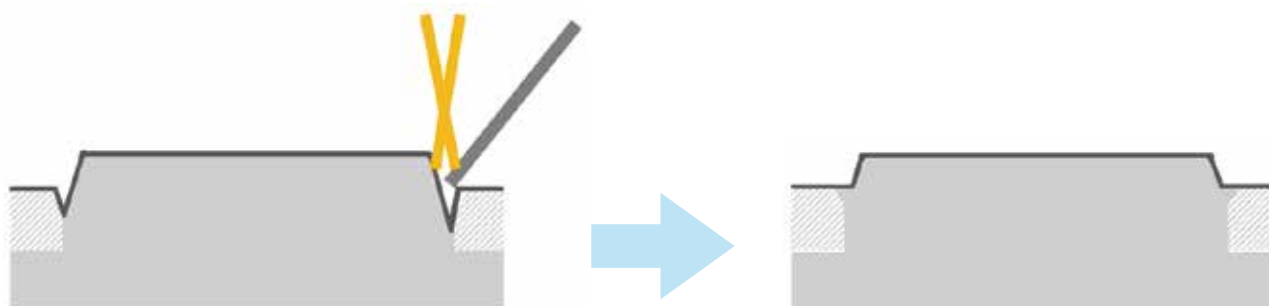


Fig.13 ヒケ対策成功イメージ図

4. 超微細溶接

○ 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。

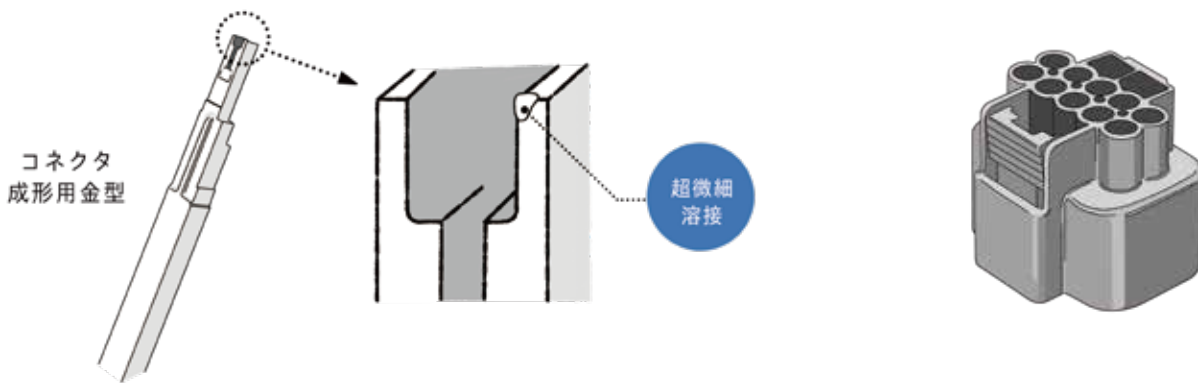


Fig.14 コネクタ成形用金型への超微細溶接

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。

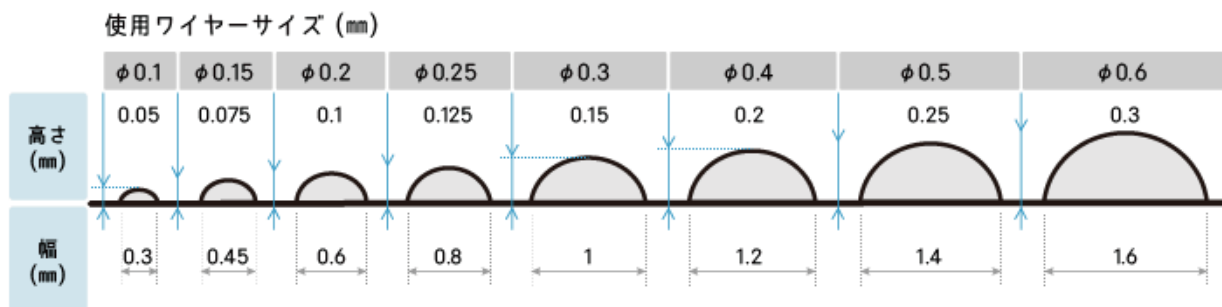


Fig.15 ワイヤー選定基準

4. 超微細溶接

○ 低出力帯ではビーム品質の差が大きい

ワイヤーサイズと肉盛量の関係性を把握できたところで、実際にφ0.1mmのワイヤーを溶接してみます。φ0.1mmに適した低出力帯では、ワイヤーを挿す難しさだけでなくビーム品質に大きな差が生じてしまいます。低出力帯でビームが安定しない場合、綺麗なスポット痕とはならず、ヒケなどの溶接欠陥の原因になってしまいます。



ビームが不安定: 汚いビード(溶接欠陥のおそれ)



ビームが安定: 綺麗なビード

Fig.16 低出力帯におけるビームの安定性とビードの様子

低出力帯においてもビームが安定していることとφ0.1mmという細さの扱いに慣れることによって、レーザー溶接の強みを発揮したピンポイントでの超微細溶接が可能となります。下記は、肉眼では確認することができない三頂角の角ダレ(C=0.1mm)の補修事例です。

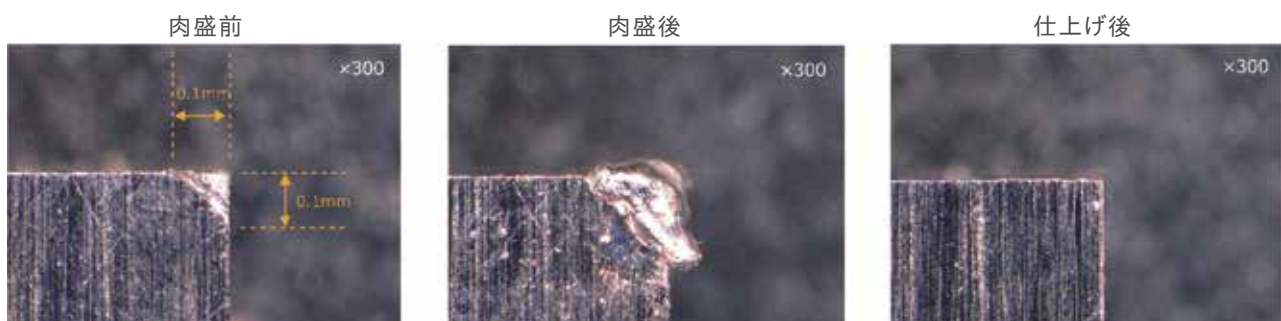


Fig.17 三頂角への超微細溶接

5. アルミダイカスト用金型 – ヒートクラックの肉盛補修

○ 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化るとともに、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。

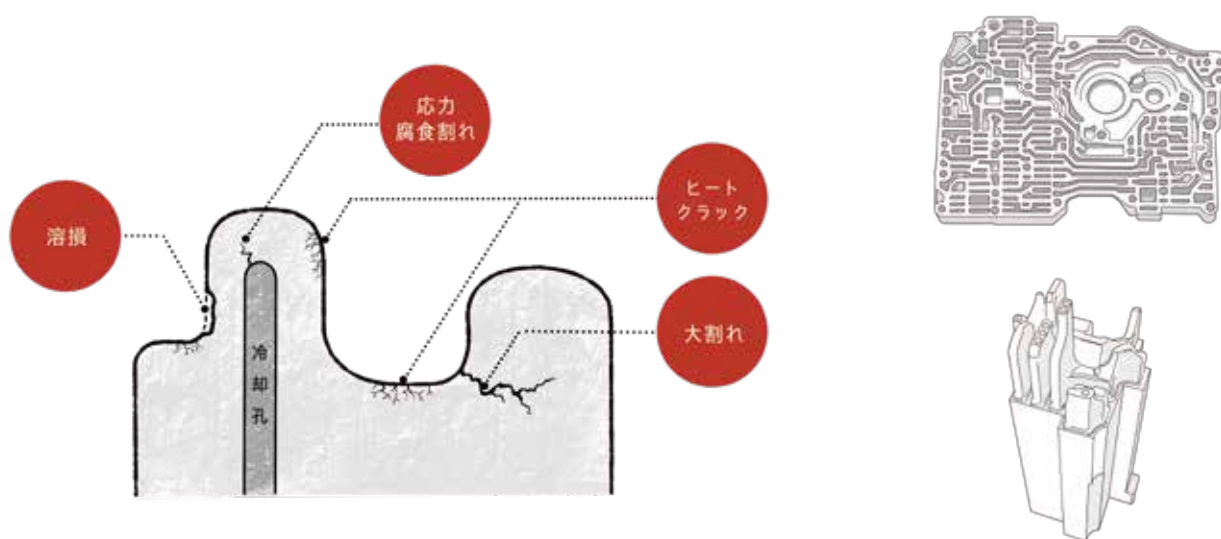
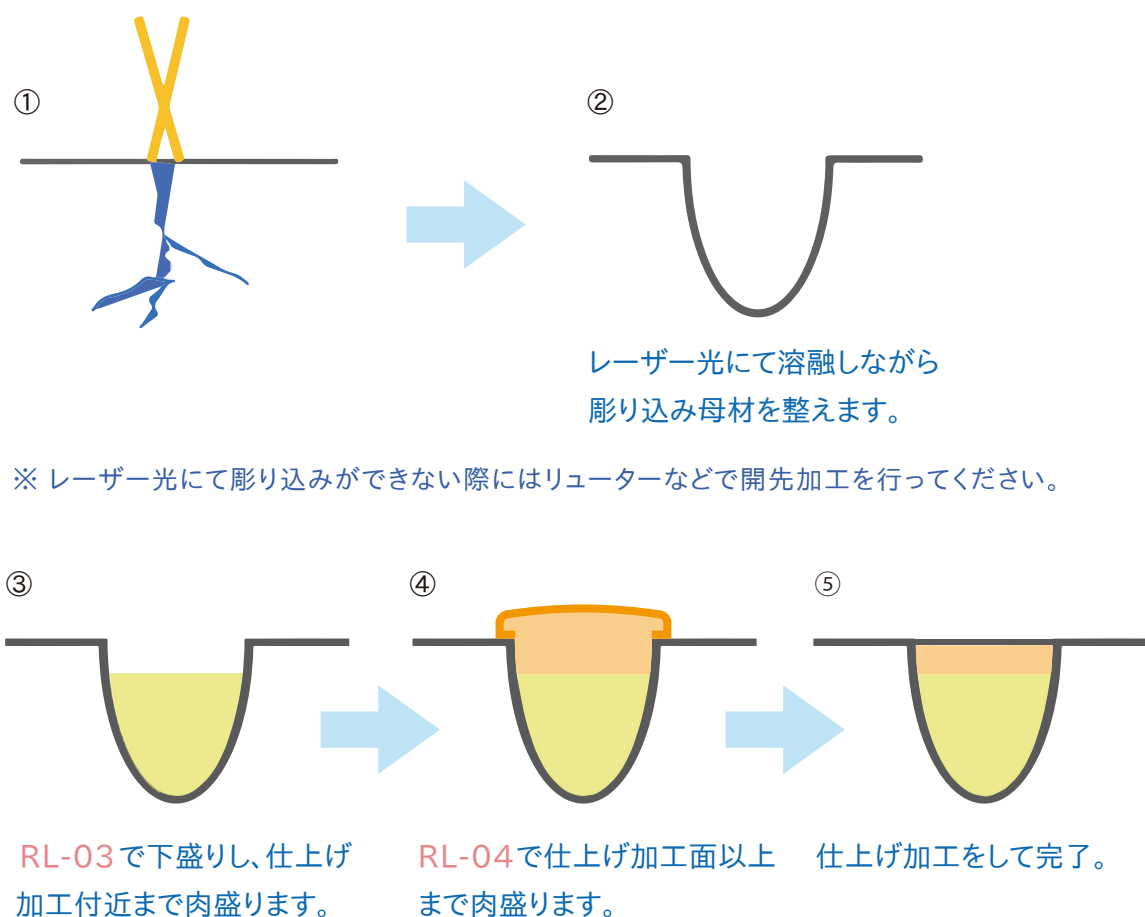


Fig.18 ダイカスト用金型の補修内容一例

5. アルミダイカスト用金型 – ヒートクラックの肉盛補修

○ 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、リユ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)。



※ 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。

Fig.19 クラック補修の推奨手順

5. アルミダイカスト用金型 – ヒートクラックの肉盛補修

○ クラック補修におけるレーザー溶接とTIG溶接の違い

レーザー溶接は溶け込みが浅いためクラック補修に向かないと思われています。「溶込み深さ=密着強度」とはならないため、適切な手順を踏むことによりレーザー溶接での高品質な補修が可能となります。クラック補修において耐久性を左右するのは、内部の割れをしっかりと除去することと、材料の選定がポイントになります。レーザー溶接とTIG溶接の各工程と補修～鑄造後の状態について説明します。

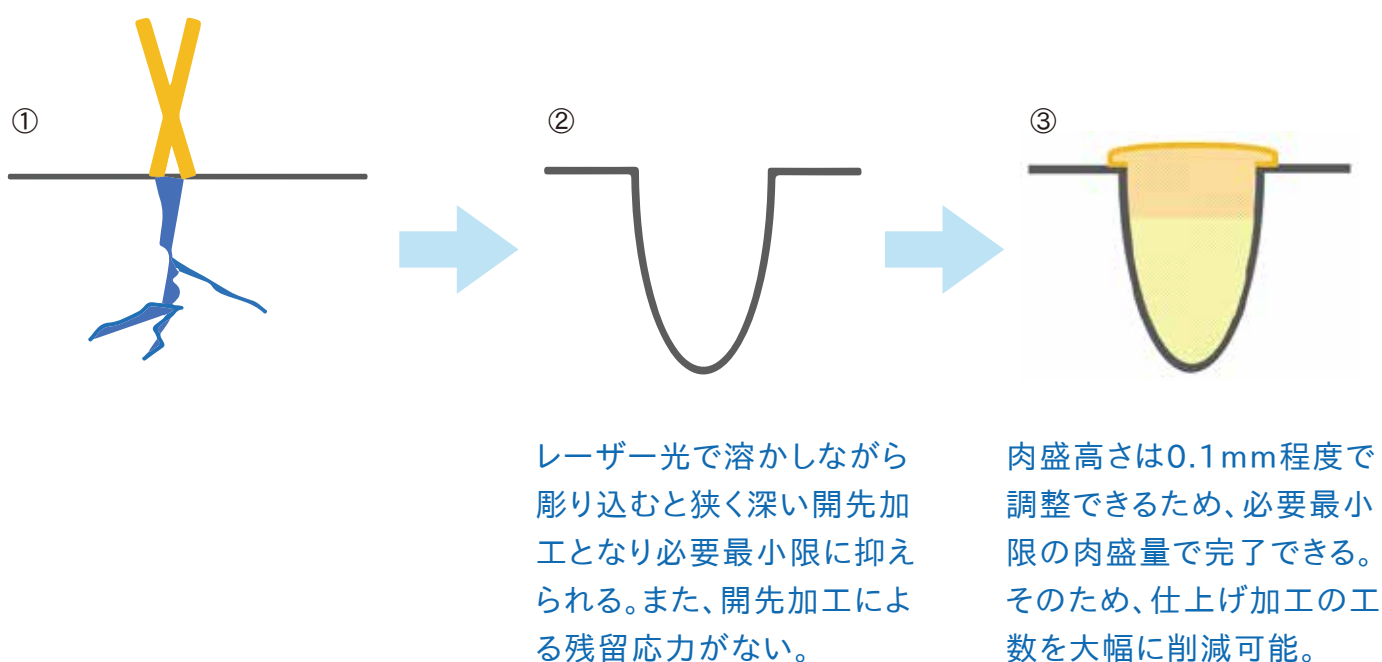
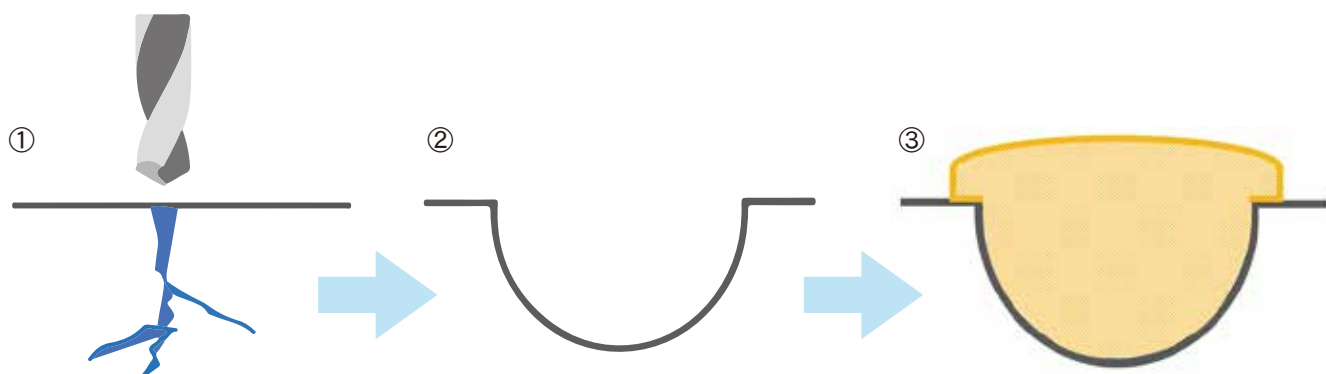


Fig.20 レーザー溶接におけるクラック補修の工程

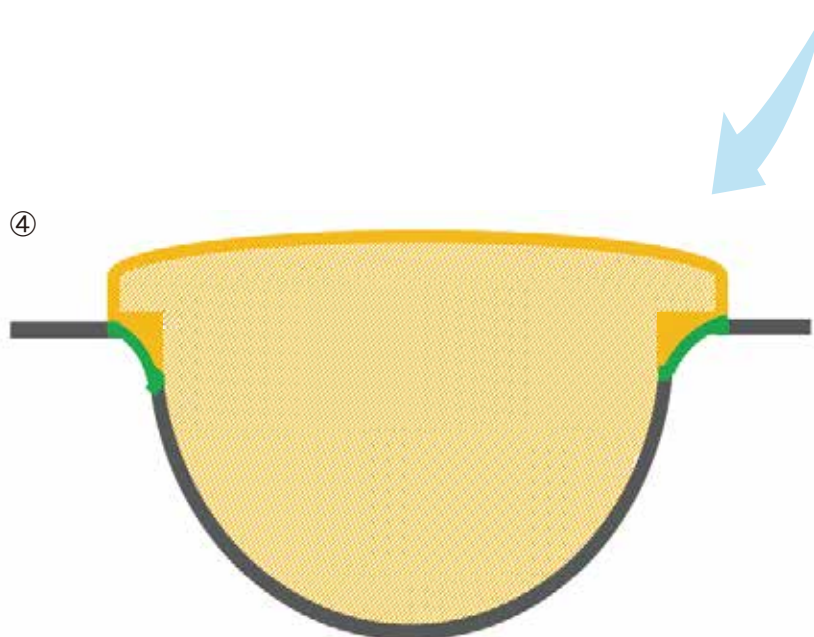
5. アルミダイカスト用金型 — ヒートクラックの肉盛補修



① ② ③

① 工具で開先加工を行うと加工での残留応力が蓄積してしまう。また、広く深く除去されてしまう。

TIG溶接は入熱が大きいいため残留応力が蓄積される。また、肉盛量が多くなるため、仕上げ加工の工数が多くなる。



④

ワークはクラックが発生している時点で相当な金属疲労となり、組成も変化しています。その様な状態において、工具での開先加工や入熱の大きなTIG溶接を行うと、残留応力がより蓄積されてしまいます。これらの要因から母材とビードの馴染みが著しく悪くなり、その境目からマイクロクラックが発生し、ビードが剥離してしまうという結末が多く見受けられます。

Fig.21 TIG溶接におけるクラック補修の工程

6. 3次元複雑形状へのアプローチ

○ 作業性からの難しさ

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。また、TIG溶接のようにハンドトーチを用いるのではなく、マイクロスコープを覗きながらの溶接となり、フレキシブルな作業性ではありません。特に大きなワークの場合には、補修箇所によっては多大な時間がかかってしまいます。

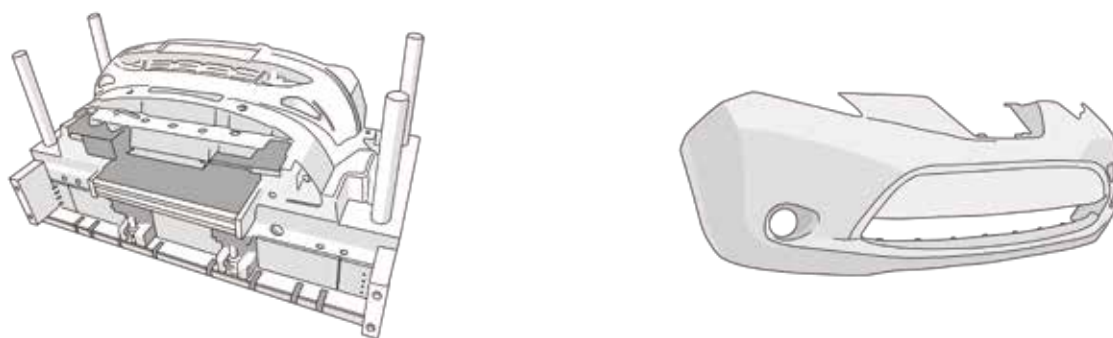


Fig.22 大物プラスチック成型用金型

これらの問題は、「肉盛補修のためのティーチングシステム・T-TRACK」が解決します。溶接運行軌跡を予め設定することができ、現場にて誰でも簡単に短時間でティーチングをすることが可能となります。ヘッドの移動はジョグダイヤルを用い、直感的な動きを実現し、肉盛溶接補修に必要なオフセット機能も完備しています。

6. 3次元複雑形状へのアプローチ

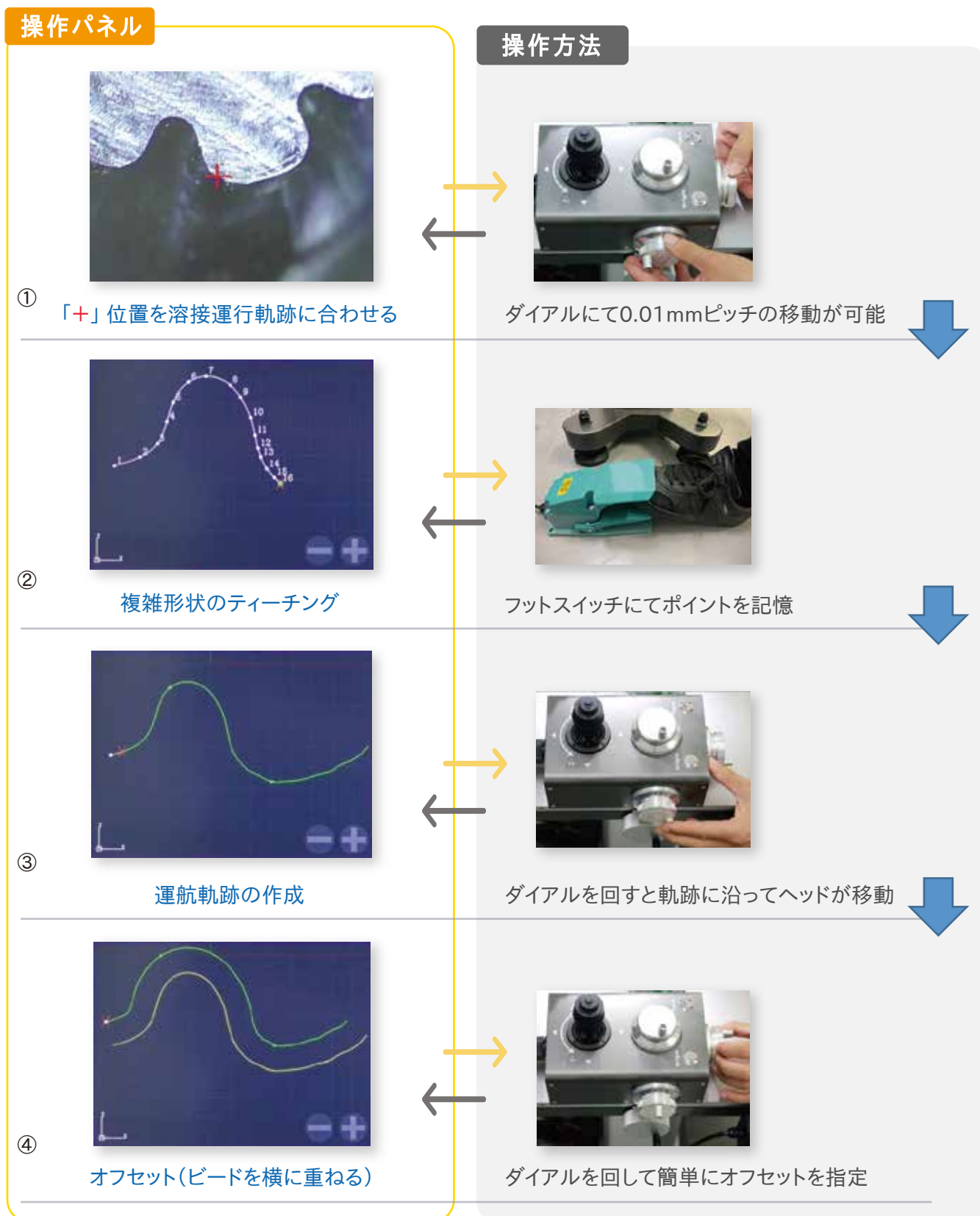


Fig.23 ティーチング作成手順

6. 3次元複雑形状へのアプローチ



Fig.24 T-LASER ティーチングタイプ

7. 狭隘部の反射光対策

○ 反射光には要注意

補修箇所に対して垂直に照射することが理想ですが、金型は複雑形状のため面直で照射できることは、ほぼありません。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。反射するリスクがある場合は、溶かしてはいけない箇所に予め銅テープでマスキングを行きましょう。

反射光が溶かしてしまうケース

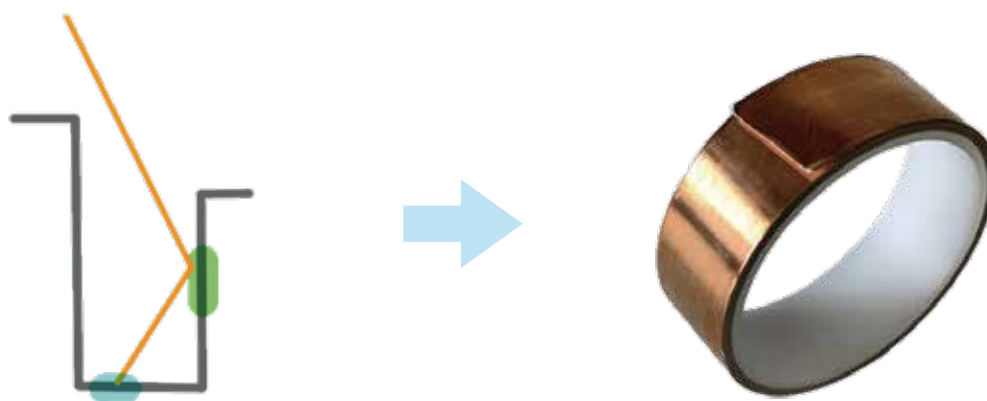
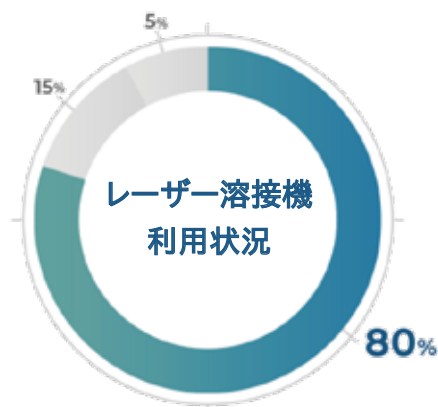


Fig.25 銅テープによる反射光対策

8. カスタマーサクセスチームのご案内

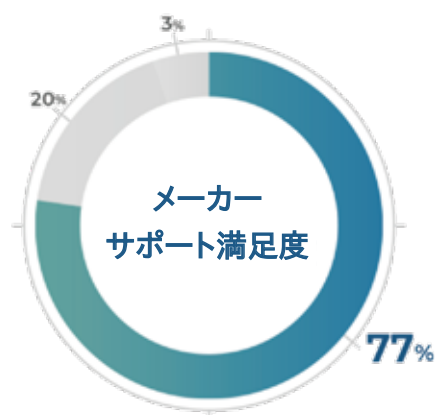
○モノは売らない 価値を提供する

私たちがレーザー溶接機の販売を開始する以前に他社製レーザー溶接機導入企業200社にアンケートを実施しました。そのアンケートにおける一部の内容と結果を下記に掲載します。



レーザー溶接機を使いこなせていますか？

1. 簡単な加工だけ社内・ほとんど外注: 80%
2. ほとんど社内・難しい加工は外注: 15%
3. すべて社内: 5%



メーカーのサポートには満足していますか？

1. 満足していない: 77%
2. どちらでもない: 20%
3. 満足している: 3%

Fig.26 レーザー溶接機導入企業へのアンケート

アンケート結果より、既存メーカーは売り切りというスタンスであることがわかりました。私たちはこの結果に注目し、新しいサポート体制を構築しました。私たち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」へとシフトしています。お客様は機械が欲しいのではなく、機械を使って得られる「成功」を求めています。その成功を提供するため、弊社では社員一丸となって「カスタマーサクセスチーム」を結成しており万全なサポートをお約束します。

Service Policy

モノは売らない 価値を提供する

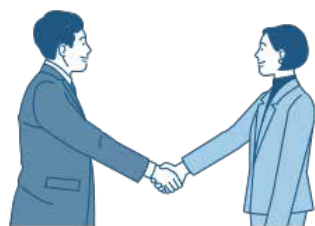
8. カスタマーサクセスチームのご案内

○ 一貫したフォロー体制構築

営業・トレーニング・メンテナンス担当と一貫したフォロー体制を構築しています。熟練の営業スタッフが丁寧にヒアリングを行い、導入後のアンマッチがおきない最適な提案をしています。リアル・オンラインでの技術指導が可能な体制を整えており、レベルに合わせたトレーニングプログラムを揃えています。緊急時にも迅速に対応できるよう土日祝日対応の緊急窓口も設置しています。



トレーニングプログラム



能動的なフォローアプローチ



迅速なメンテナンス体制

Fig.27 フォロー体制



安全講習

レーザーの仕組み レーザーの危険性 JIS推奨安全対策 T-LASERの安全対策 健康診断について など



溶接講習・基礎

機器操作説明 溶接準備～ワーク設置 平面肉盛 二頂角、三頂角 条件出し など



溶接講座・応用

金型種類別注意点 実際のワーク など

Fig.28 スタンダードコース・トレーニング内容

8. カスタマーサクセスチームのご案内



動画



オンライン



スクール

カスタマーサクセス担当が定期的に継続サポート

専用の動画・資料を用いて、電話・オンラインにて充実サポート

レベル・熟練度に応じてご来社・訪問してのサポート

Fig.29 柔軟なトレーニング体制

レーザー溶接機の導入後は、テラスが誇る企業文化「カスタマーサクセス」を支えるカスタマーサクセスチームが、責任あるサポートを行います。そのため運用面における心配は一切ございません。トレーニングにおきましては、自社製ユーザー様だけではなく、他社製ユーザー様にも実施しており、大変ご好評をいただいています。今回、ご紹介させていただいた「レーザー溶接の課題」などでお困り際には、「トレーニングサービス」をぜひご利用ください。

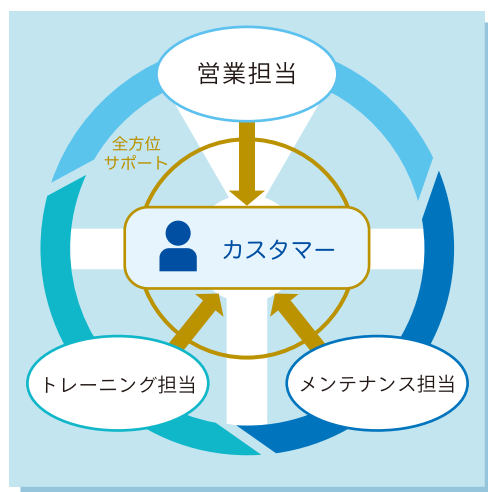


Fig.30 お客様をサポートする体制「カスタマーサクセスチーム」