

RYOKO

製缶板金加工業・鋼材溶断業の
経営者・生産技術・保全担当者の皆様必見！

レーザー加工における 加エトラブル の 原因と対策

熱影響による反り

ドロス

バリ

ピアッシングにおける“ひげ”

切断時のバーニング

レーザー加工における
加エトラブルの原因と対策を
まるっと解説！

1 レーザ加工においてよくある加エトラブル

レーザ加工においてよくある加エトラブル

板金加工業や製缶加工業、鋼材溶断業、セラミックス加工業において使用されているレーザ加工機。

タレパンや、旋盤・マシニングセンタをはじめとする機械加工設備と同様に、レーザ加工機を用いて高精度・高品質を実現するためには、

- ・ 材料特性
- ・ 製品形状
- ・ レーザ加工機のスペック
- ・ レーザ加工の特徴

を考慮した、**適切な加工条件の設定**が非常に重要になります。

加工条件の設定が適切でない場合、以下に示すような加エトラブルを招く可能性があります。

- ・ **ドロス**
- ・ **バリ**
- ・ **ピアッシングにおける“ひげ”**
- ・ **熱影響による反り**
- ・ **切断時のバーニング**

このハンドブックを手にとっていただいた方は、一度はこうしたトラブルに遭ったことがあるのではないのでしょうか？

本資料では、上に挙げたような加エトラブルが起こってしまう原因とその対策について、レーザ加工・レーザ加工機のプロフェッショナルである当社ができるだけかみ砕いて解説いたします。

新人教育や社内研修用の資料として、ぜひご活用ください！

2 ドロスの原因と対策

ドロスとは？



ドロスとは、レーザ切断においてワークの加工部裏面に付着し、玉状ないし氷柱状に付着した溶融金属のことです。亜鉛メッキ鋼板やステンレス鋼（※酸素ガスを使用した場合）は特にドロスが発生しやすいため、溶融金属が切断溝内からスムーズに排出されるようにする必要があります。

次ページより、ドロスが発生する原因とその対策について、材質別、そして溶融金属の排出性（湯流れ）に焦点を当てて詳しく解説していきます。

【材質別】ドロスが発生する場合とその対策

①軟鋼の厚板

通常、酸素ガスによる軟鋼の切断ではドロスの発生はほとんどありません。しかし、厚板切断では、加工部の酸素ガス純度やエネルギー密度が適正值から外れるとドロスが発生することがあるため、注意が必要です。

②亜鉛メッキ鋼板

軟鋼材料と比較して亜鉛メッキ鋼板は、ドロスが発生しやすく、メッキの付着量が多いほど、また板厚が大きいほどドロス量は増加する傾向にあります。

SECC や SGCC などの切断では、パルス発振を用いて長焦点レンジでカーフ幅を広げ、アシストガス圧力を高めにしてドロスを吹き飛ばすようにして切断を行います。

高出力レーザーではアシストガスに窒素かエアを使って、アシストガス圧力を高圧にして加工することにより、ドロス量を減少させることも試みがされています。

③ステンレス鋼

酸素ガスを使用したステンレス切断ではドロスが付着しやすい一方、窒素ガスを使用した無酸化切断ではドロスは付着しにくくなります。

溶解金属を切断溝内からスムーズに排出することがドロスを発生させない加工原理であるため、板厚が大きくなるほどガス圧を低下させないようする必要があります。

④アルミニウム

アルミニウムについても、板厚が大きくなるほどドロス量は増加します。ドロス量減少のためには高圧ガスの使用が重要です。しかし、高圧のアシストガスを使用するとガスの使用量が非常に多く、実用上はランニングコストにおいて大きな問題となります。

2 ドロスの原因と対策

溶融金属の排出性から考える原因と対策(1)

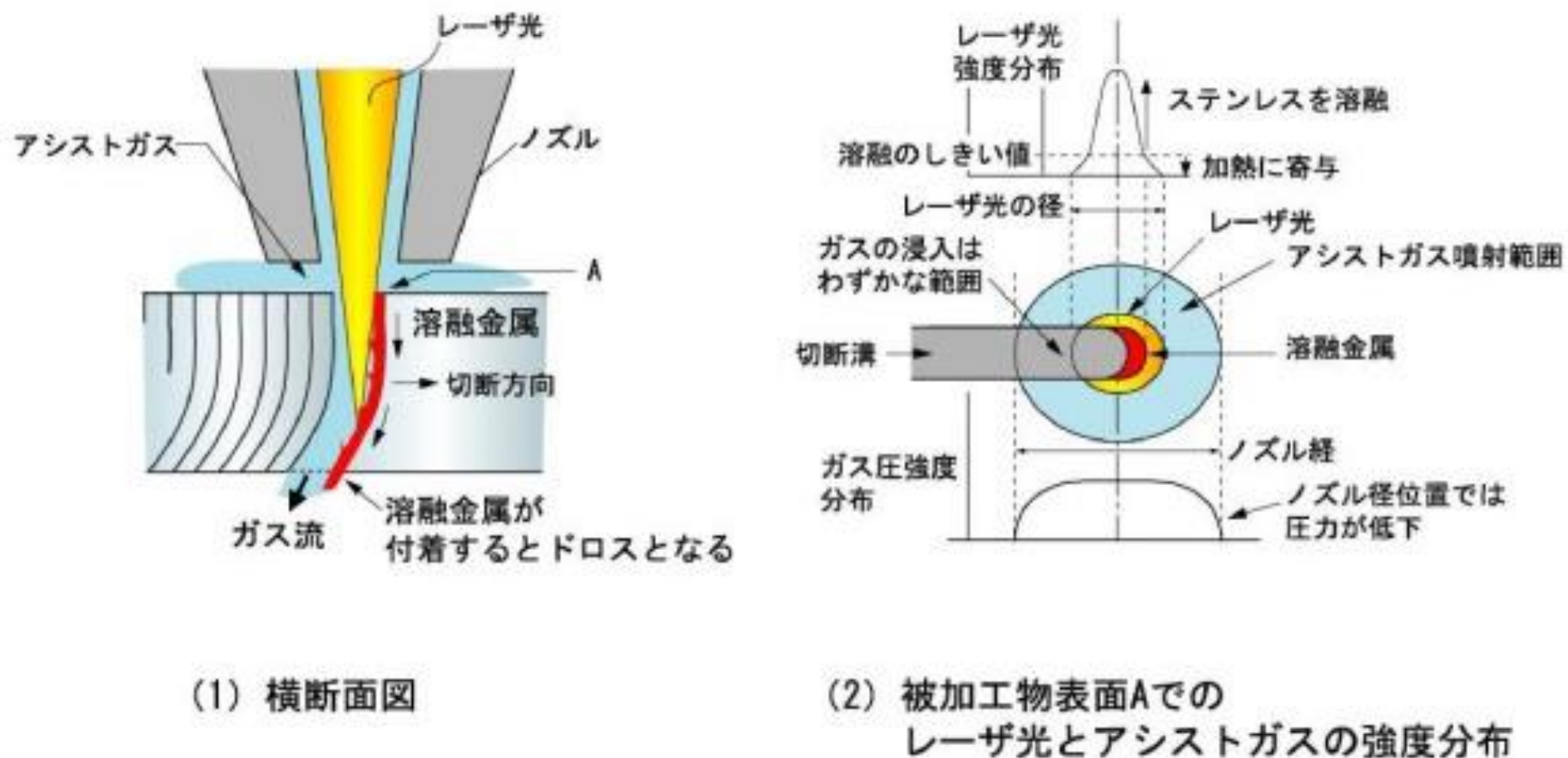


図1 ドロス発生の原因

①切断溝幅の寸法が適正でない場合

溶融金属を切断溝内から良好に排出させるためには、図1(1)に示すようにノズルから噴射したアシストガスによる溶融金属の押し下げと、溶融金属の湯流れを連続して行うことがポイントになります。

しかし、図1(2)に示すように、

- ・ノズルから噴射したアシストガスの一部しか切断溝内に侵入しないこと
 - ・レーザー光の強度分布によって切断溝形状が変化すること
- がドロスの発生原理を複雑にしています。切断溝幅が狭くなるほどアシストガスの通過する量が減り、溶融金属を押し下げる能力が低下します。

レーザー光のスポット径や材料への入射角度は、焦点位置の設定によって変化します。スポット径が小さいほど、エネルギー密度が大きくなり溶融金属を高温にしますが、逆にスポット径が大きいと溶融金属の量が増えて溶融温度を低下させます。

2 ドロスの原因と対策

溶融金属の排出性から考える原因と対策(2)

②氷柱状のドロスと玉状のドロス

ステンレスの無酸化切断では、**追い込み不足の焦点位置になると氷柱状のドロスが、追い込み過ぎの焦点位置になると玉状のドロスがそれぞれ発生します。**

氷柱状のドロス

氷柱状のドロスは、流動性の高い溶融金属を切断溝内から排出する作用において、アシストガス圧力の不足が支配的な要因になります。切断溝上部でのスポット径は小さく、高エネルギー密度のため溶融金属は高温になりますが、切断溝幅が狭すぎて十分なアシストガスを切断溝内に取り込むことができません。一方で、溶融金属の流動性は高いため、ドロスは切断溝から下に大きく伸びて氷柱状になります。焦点位置の追い込み量を増やし切断溝幅を広くするというのが対策になります。

玉状のドロス

焦点位置を追い込み過ぎた場合は、切断溝上部の幅が広がることで、切断溝内のアシストガス圧力はある程度高く維持されています。しかし、切断溝上部でのスポット径が大きくなると、切断溝の断面積が増加し溶融金属の量も増えるため、溶融金属温度は低下します。そのため、溶融金属の流動性は低下し、ドロスは切断溝下部から排出された位置で固まり、玉状になります。対策には、焦点位置の追い込み量を減らし切断溝幅を狭くする必要があります。

ステンレスの無酸化切断では、このようなドロスの形状を観察し、適正な焦点位置を見つけ出す必要があります。加工の進行とともに徐々にドロスの発生量が増える場合は、焦点位置が徐々に変化しています。レーザー光の照射によって汚れた光学部品の温度が上昇し、熱レンズ効果の発生することが原因です。対策は、透過型光学部品である加工レンズや保護ガラスの使用、特に炭酸ガスレーザーについてはPRミラーのクリーニングを行う必要があります。それでもドロス発生が改善しない場合は、これらの光学部品の交換をおすすめします。

2 ドロスの原因と対策

溶融金属の排出性から考える原因と対策(3)

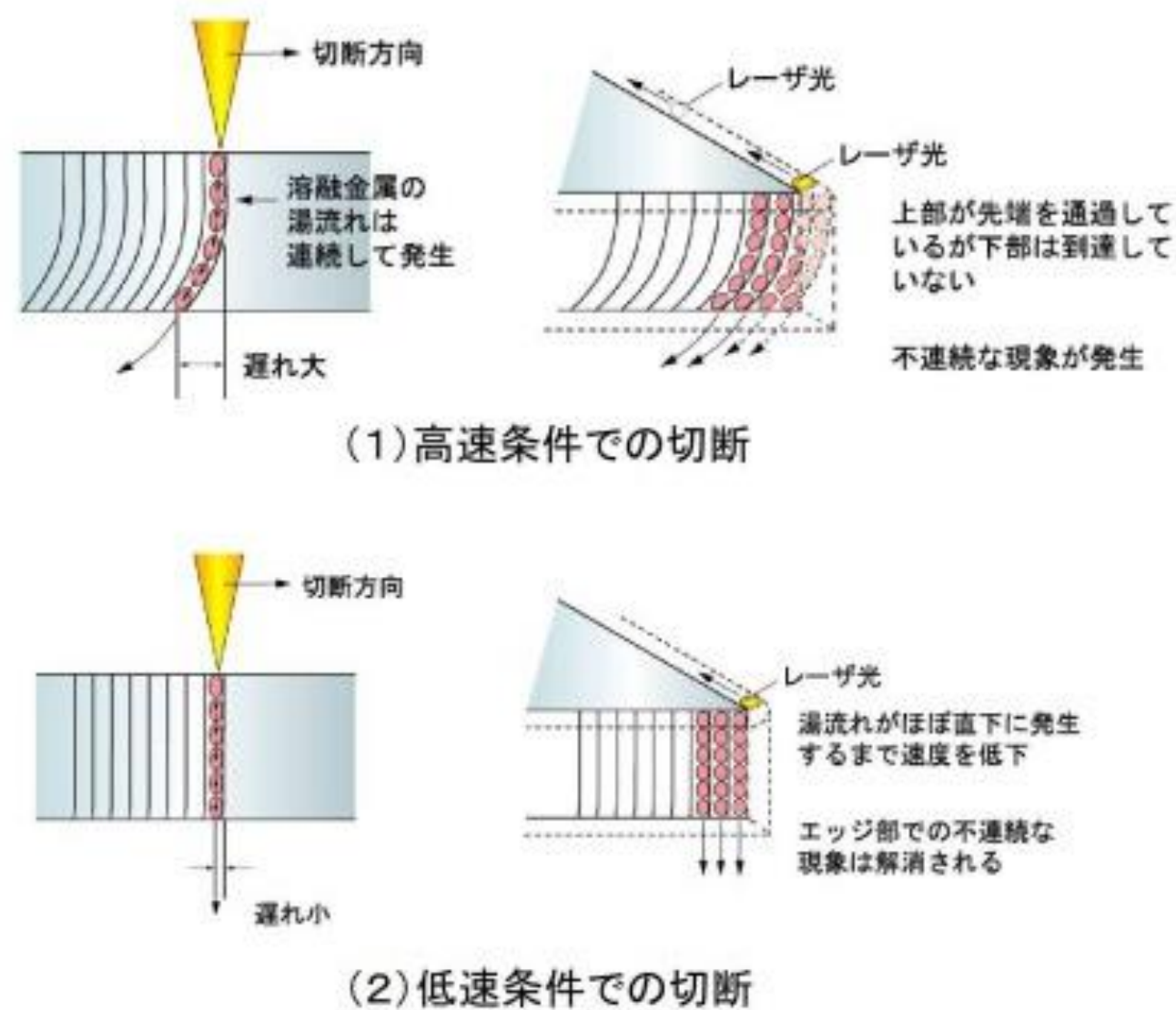


図2 エッジ部の加工現象

③切断形状によって湯流れが不連続になる場合

高速切断条件では、板厚方向の加工遅れが大きくなり、図2(1)に示すようにレーザー光がエッジ先端部を通過した直後は、上部の溶融は開始しているが下部の溶融は遅れているという現象が起こります。

その結果、上部から下部にかけての溶融金属の湯流れが不連続になり、エッジ先端部にドロスが発生します。

対策としては、図2(2)に示すように加工速度を低下させて板厚方向の加工遅れを減少させる条件設定にし、エッジの切断を行います。加工エッジの角度が小さくなるほど、この低速条件設定が有効です。

さらに、低速条件による切断後に高速条件へ切り換える際には、段階的に速度を増加させることも必要です。

3 バリの原因と対策

バリの原因とは？

納品後の製品にバリが残っていると、使用者が擦り傷や切り傷を負うことも多々あり、製造物責任法に該当する例の1つとなります。**バリは、製品の安全性や精度にも影響を及ぼすため、加工後のバリ取り作業やバリが発生しにくい加工条件の設定を行う必要があります。**

バリが発生する原因として、金属の特徴である延性が挙げられます。延性とは、金属に力を加えた時に素材が伸びる性質です。これにより、加工時に力が加わった際に部分的な変形が起きてしまいます。この変形がバリの発生を誘発する原因となります。

一般に、**硬度が低い材質は延性が高くバリが発生しやすい傾向にあるため、特に注意が必要です。**

4種類のバリ対策

①バリ取り機もしくはグラインダーの使用

バリ取り機・グラインダーは、砥石を回転させることで研磨や切削、研削を行う電動工具になります。手作業に比べ約10倍以上の生産性向上になります。

②バレル研磨

バレル研磨は、バレルと呼ばれる樽の中に研磨剤と加工対象物を入れてバレルを回転・上下運動させることにより、加工対象物と研磨剤に生じる摩擦によりバリを取り除く方法になります。

③電解研磨

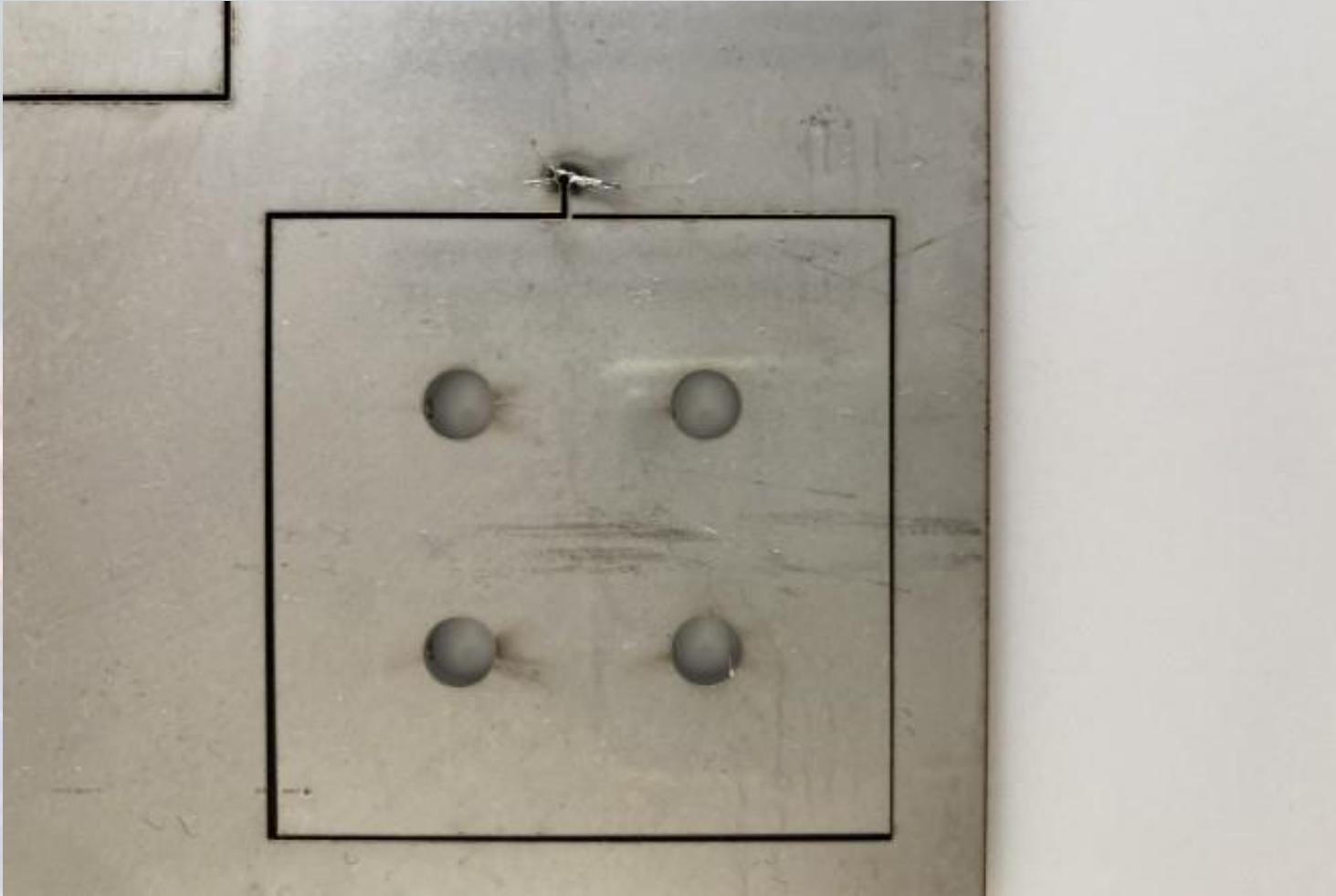
電解研磨とは、バリが付着している工作物を陽極に、対向する電極を陰極として、両極間に電解液を流し通電することでバリを溶解する方法です。

④薬品・超音波によるバリ取り

薬品でバリを溶かす化学加工方法です。特に微小部品や薄板の製品において使用され、例えばステンレスの場合は、塩酸と硝酸の混合溶液による王水系の薬品が用いられます。また、超音波を用いてバリ取りを行う方法もあります。

4 ピアッシングにおける“ひげ”の原因と対策

ピアッシングにおける“ひげ”とは？



ステンレス鋼板にピアッシングを行うと加工面に星形のようにできるスパッタのことを、“ひげ”と呼びます。

“ひげ”は百害あって一利なしです。何故か？

“ひげ”があるとノズルが“ひげ”の上に来ることで本来のワーク板厚より厚みが増すため、加工不良になる確率が高くなるからです。

ステンレスは食品・医薬品向けなど安全性・サニタリー性が要求される部品に使用されることが多く、加工面にドロスやスパッタの付着は厳禁です。

製品形状から離れたところからピアッシングすることである程度防げるものの、 $\phi 5$ 以下の小穴加工の場合は、“ひげ”が穴径以上に広がり不良を出してしまう事例も多く、回避は簡単ではありません。

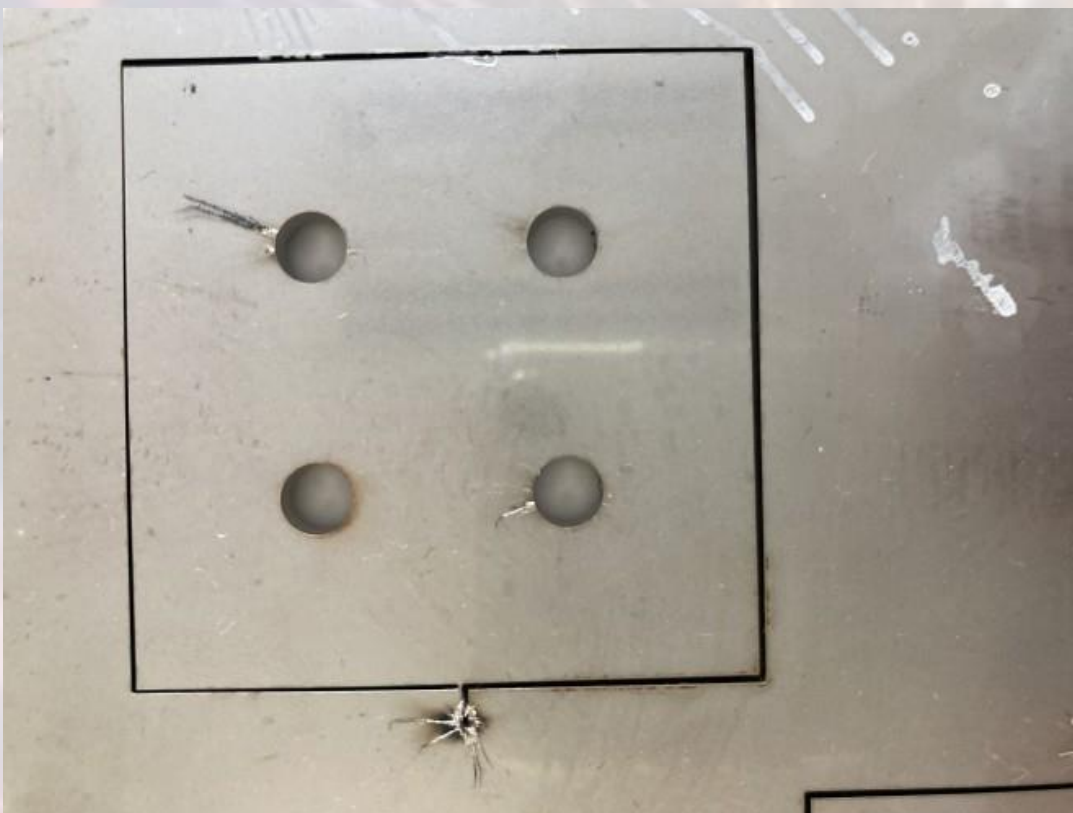
4 ピアッシングにおける“ひげ”の原因と対策

ピアッシングにおける“ひげ”の対策

“ひげ”対策としては、加工面に界面活性剤を刷毛等で塗るとするのが基本になります。しかし完全に“ひげ”レスにするのは難しいです。

「極力“ひげ”レスにしたい、、」という場合は、少し費用がかかりますが、溶接でも仕様する**スパッタ防止剤の使用**をオススメします。

ただ、溶液を加工面に塗ることが禁じられている製品については、この方法が使えません。その場合は、加工時間が長くなってしまいますが、特別な加工条件を設定するしかありません(当社にご一報いただければ、ピアッシング時の“ひげ”がなるべく小さくなる特殊な加工条件をご提供できる場合もございます)。



何も対策せずにピアッシングを行った場合

“ひげ”が目立ちます。特に左上の穴の“ひげ”がすごく、外周の“ひげ”も加工不良を起こす可能性があります。

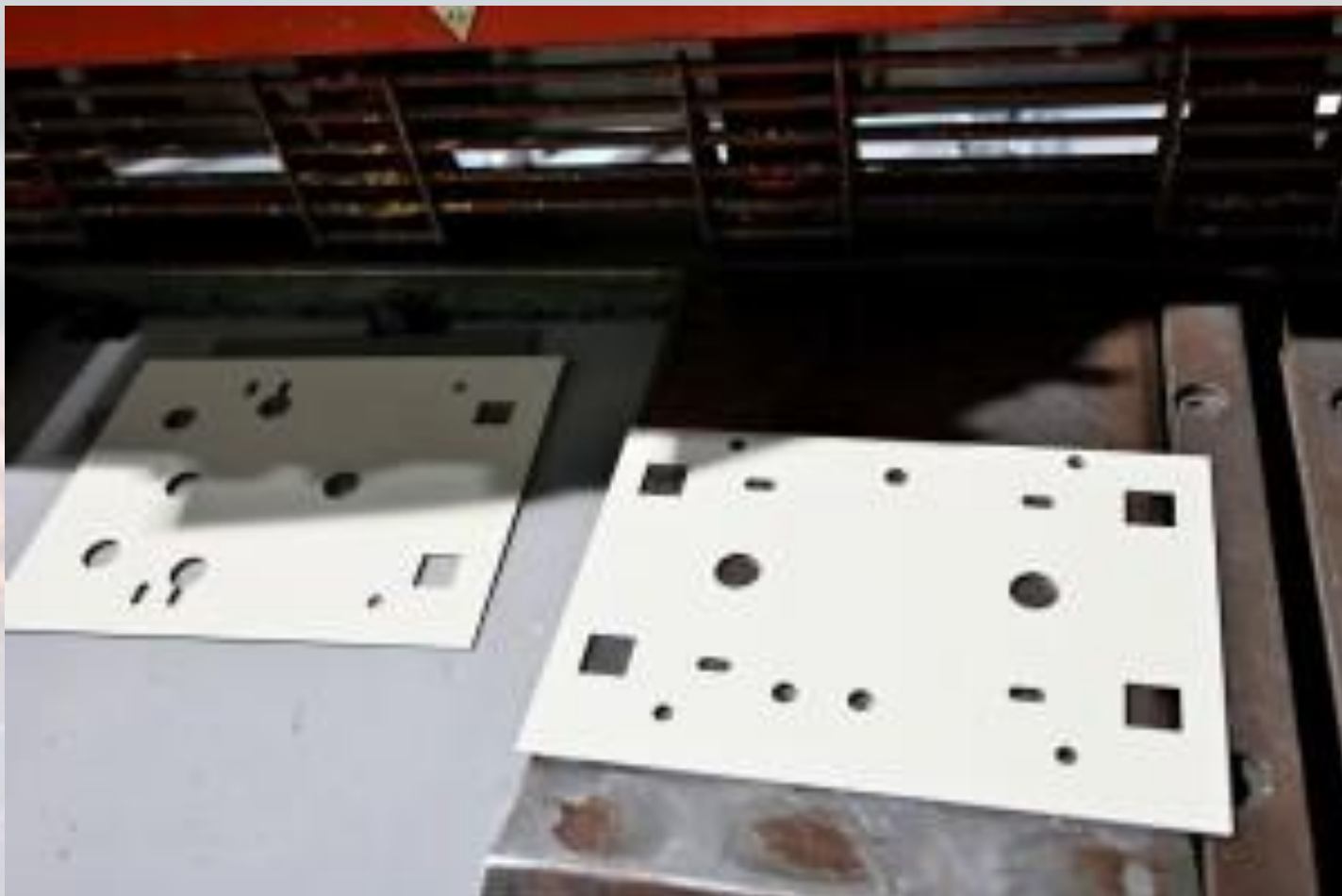


スパッタ防止材を塗った場合

写真の通り、小穴や外周にも“ひげ”の痕跡がありません。

5 熱影響による反りの原因と対策

熱影響による反りの原因と対策



鋼板のレーザー加工後、ワーク内部の残留応力により”反り”が発生してしまうことがあります。

溶接と同様に、焼鈍（焼きなまし）により歪み（熱歪み）を取り除くという方法もありますが、その分リードタイムも長くなりコストアップしてしまいます。

反りを防ぐ方法としては、

- レーザ加工の加工速度の調整
 - ワークの端点から切断していく
- といったものがあります。

ワークの材質によって、反りやすいもの・反りにくいものがありますので、予め反りの程度を予測したうえでの対策がポイントになります。

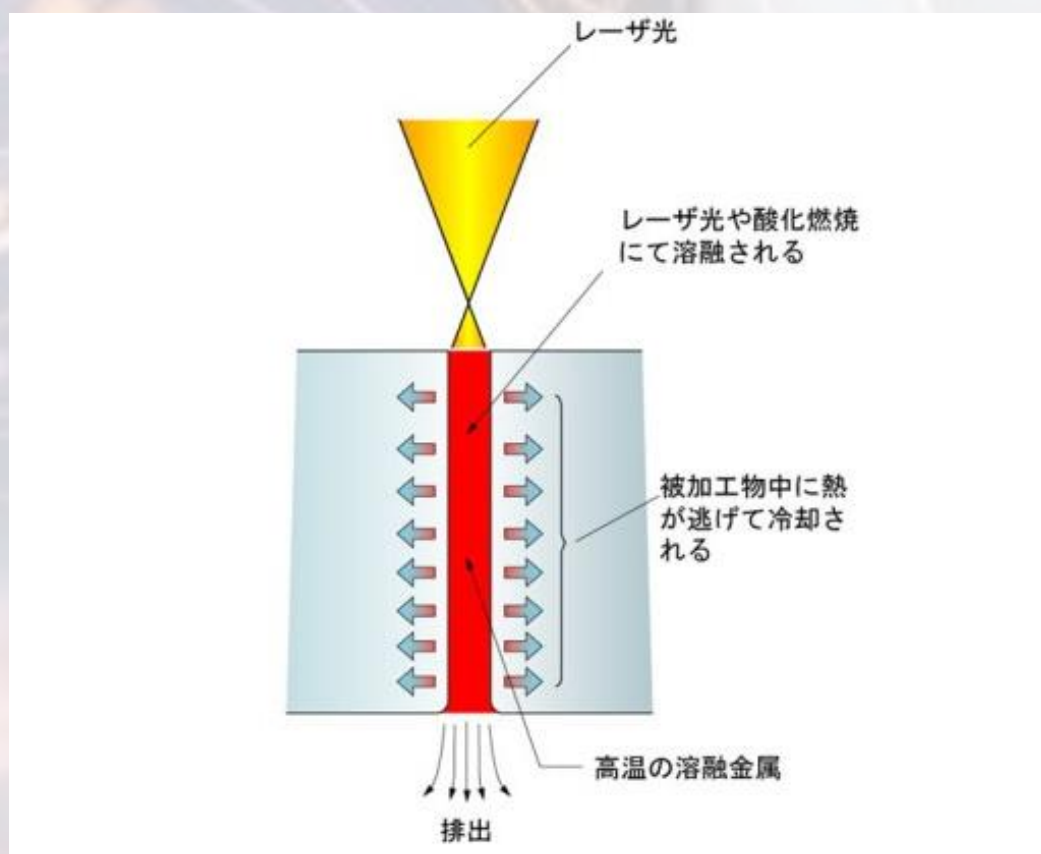
6 切断時のバーニングの原因と対策

レーザ切断時のバーニングとは？

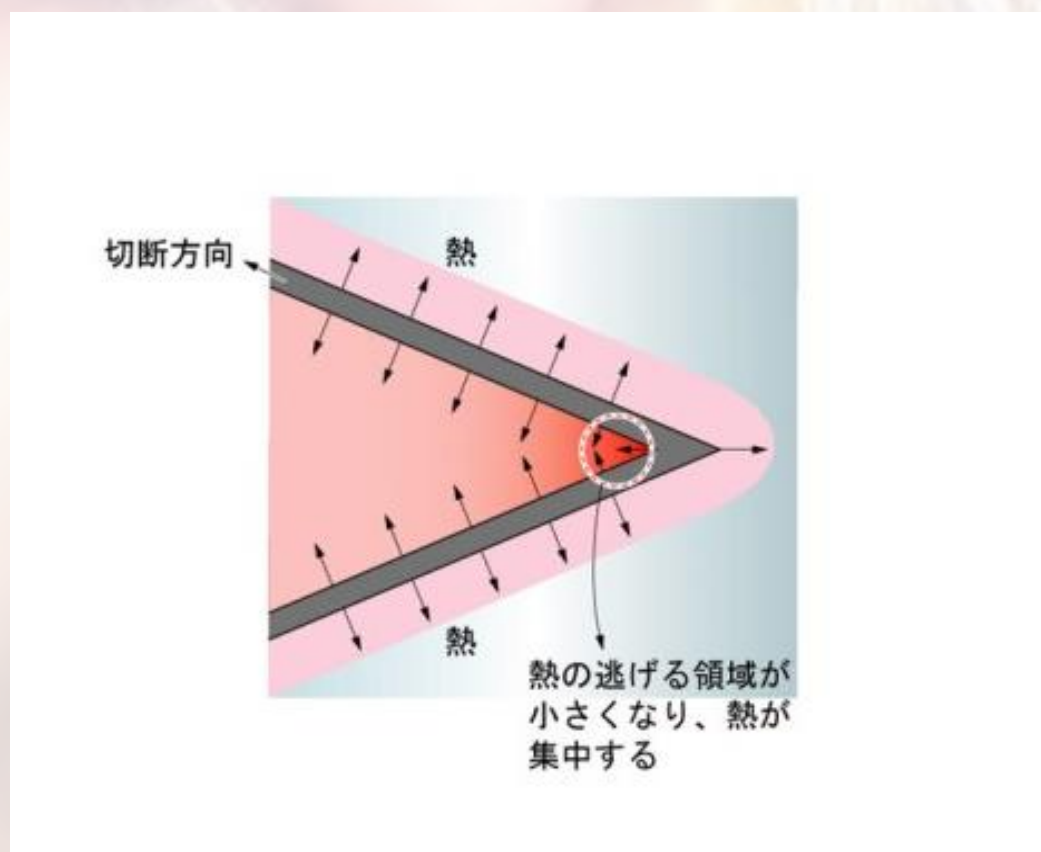
軟鋼の酸素切断では、酸化鉄が生じ、酸化鉄1gあたり約1.5kcalの熱が発生します。これは軟鋼を熔融させるのに必要な熱量の約5倍に相当する膨大な熱量のため、僅かな不安定要因があると熱の流れが暴走し異常燃焼であるバーニングを引き起こします。

このバーニングは、切断面品質の劣化や寸法精度の悪化などの原因となります。

バーニングの原因(1)



良好な軟鋼切断では、左図に示すように、レーザ光の照射部で発生する熱や酸化反応熱は、被加工物中に逃げて冷却されます。

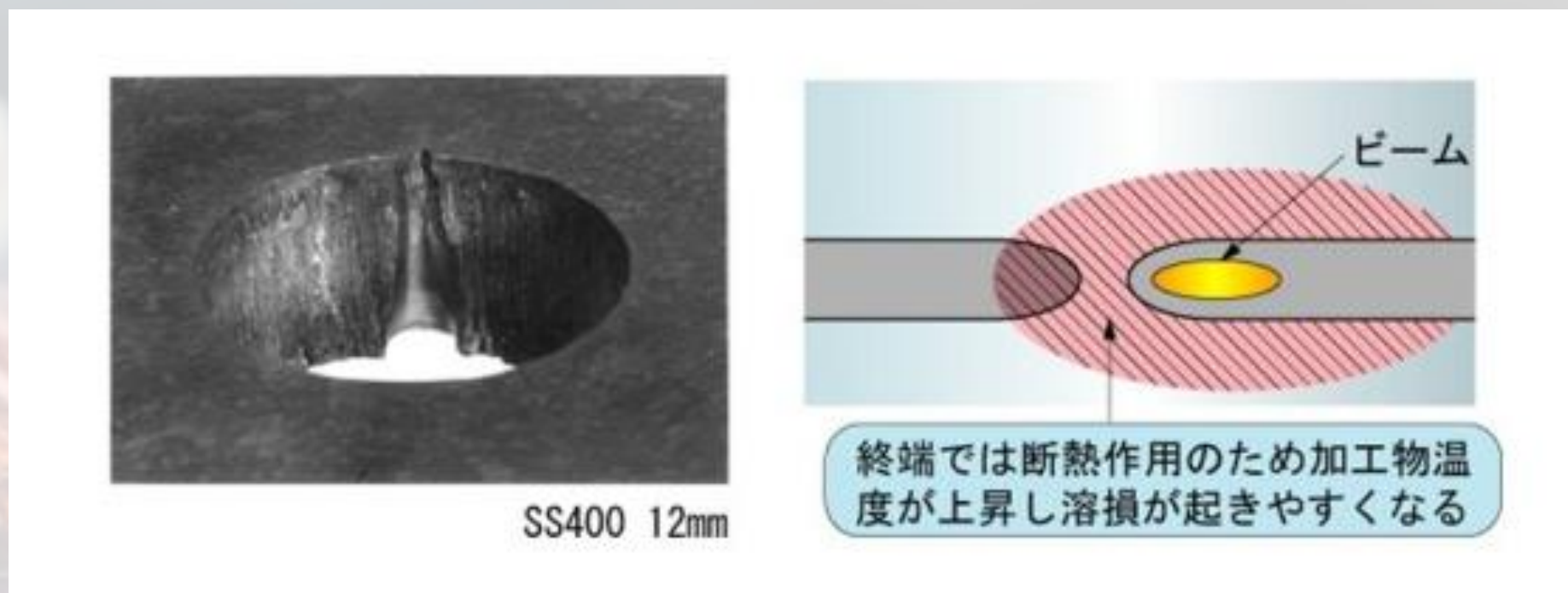


上記の冷却作用が不十分になるとバーニングが発生します。

例えば、加工形状にエッジ部がある場合は、左図に示すように、体積が小さくなる側で熱の逃げる領域が狭くなり、材料が温度上昇してバーニングが発生しやすくなります。

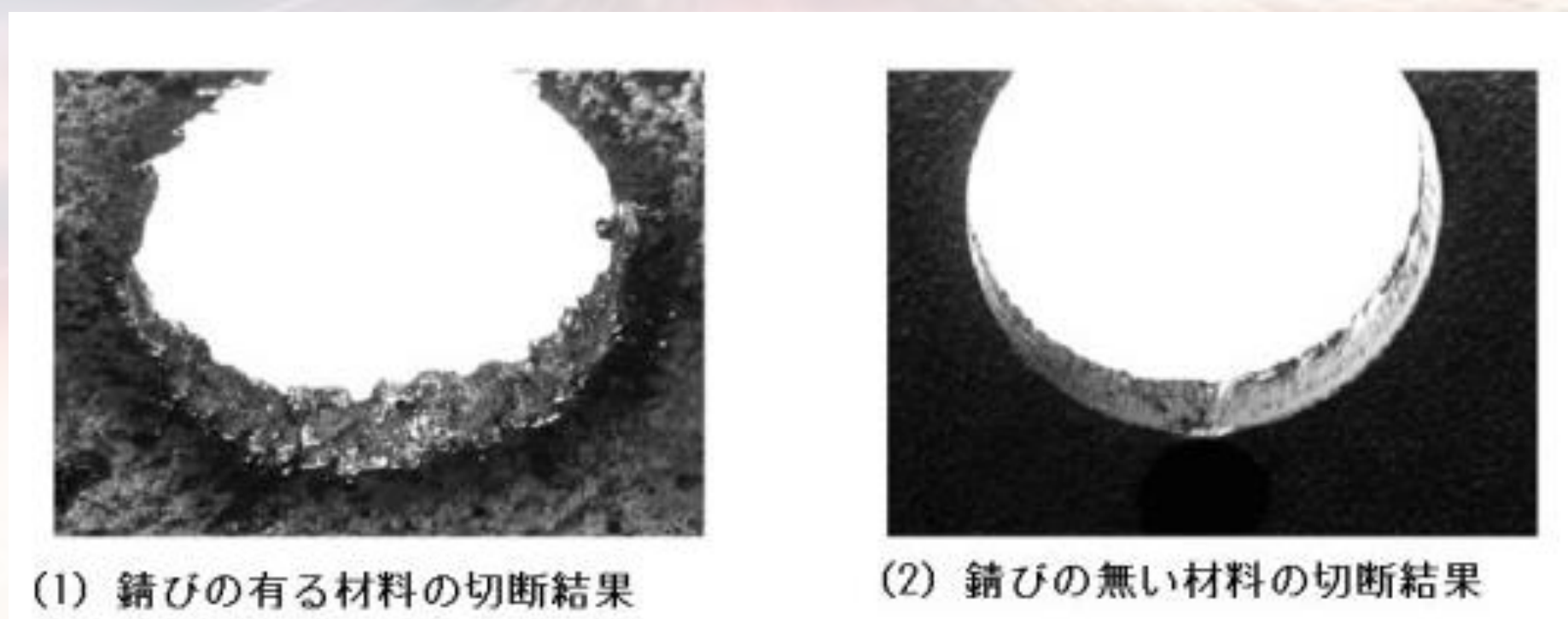
6 切断時のバーニングの原因と対策

バーニングの原因(2)



タップの下穴加工へのレーザ切断では、加工終端部に溶け落ちが発生しやすいため、要求品質によっては溶け落ち部分の補修が必要になります。

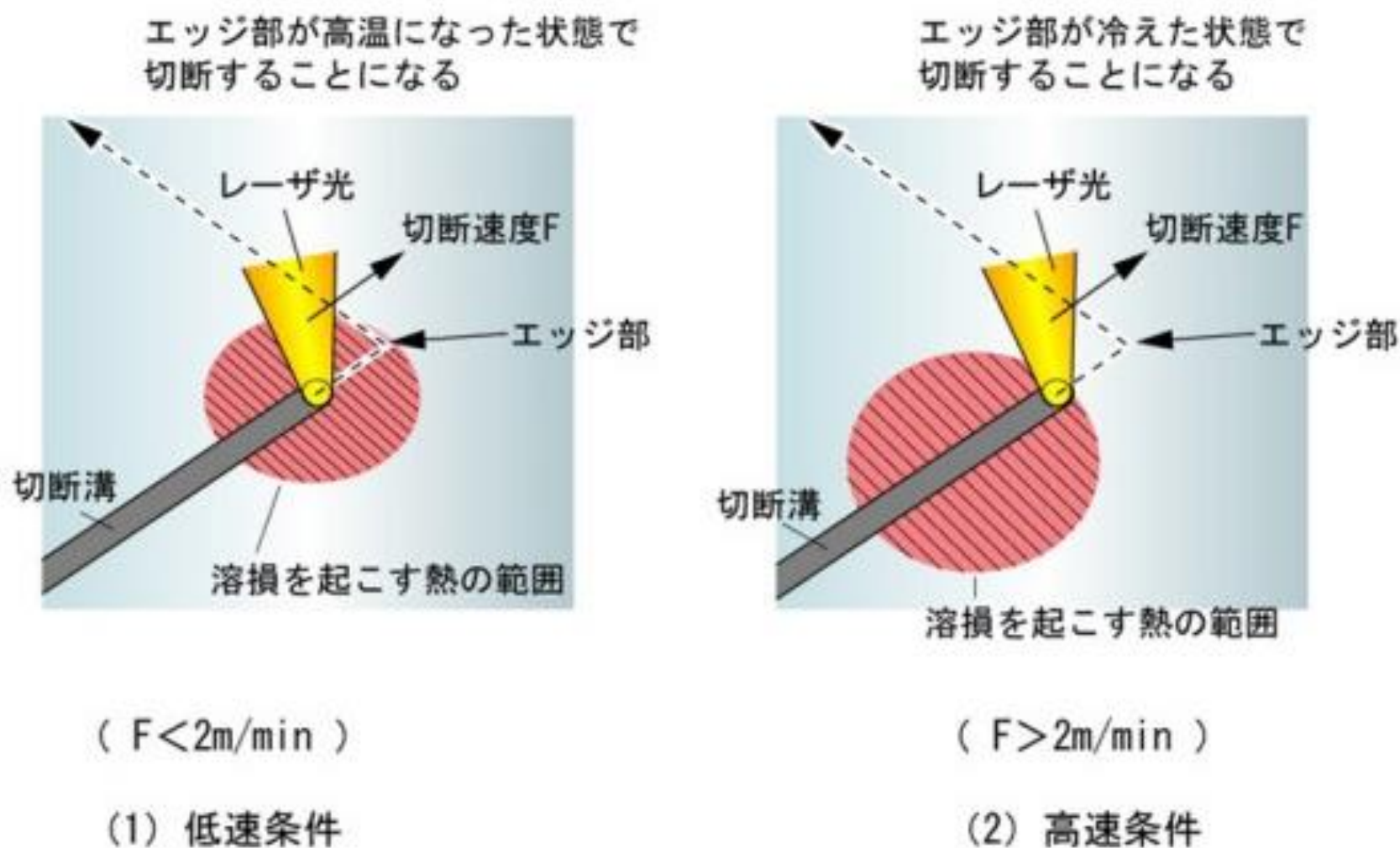
これは、上図に示すように、**加工部で発生する熱の進行速度が切断速度よりも速いことにより**ます。レーザ光が加工の終端部に近づくと、熱伝導による熱の進行が遮断される終端部は高温状態になり、そこにアシストガスの酸素ガスが供給されてバーニング状態の溶け落ちが発生します。



良好に切断されていても、表面に錆びが発生している領域をレーザ光が通過すると、切断面粗さを悪化させたり、バーニングを発生させたりすることがあります。**錆びの有りと無し**の表面状態では、**このレーザ光の吸収率が異なるため熱の発生状態も大きくバラツキます**。また、錆びが酸化膜(ミルスケール)下部へ生じてもミルスケールと母材の密着度合を低下させるため、熱の伝導にバラツキが起きてしまい、バーニングを発生させます。

6 切断時のバーニングの原因と対策

バーニングの対策(1)



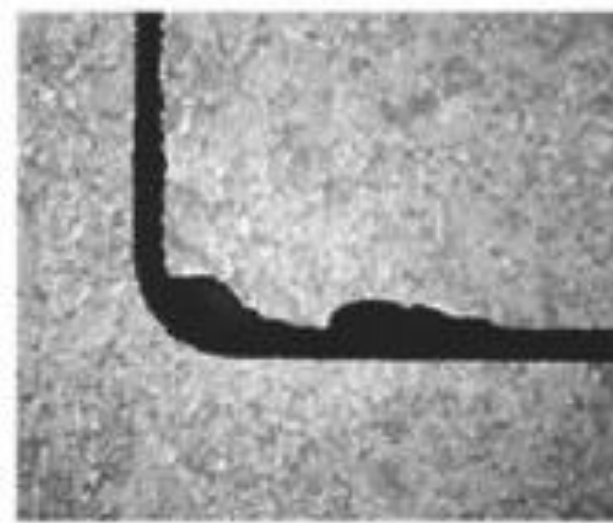
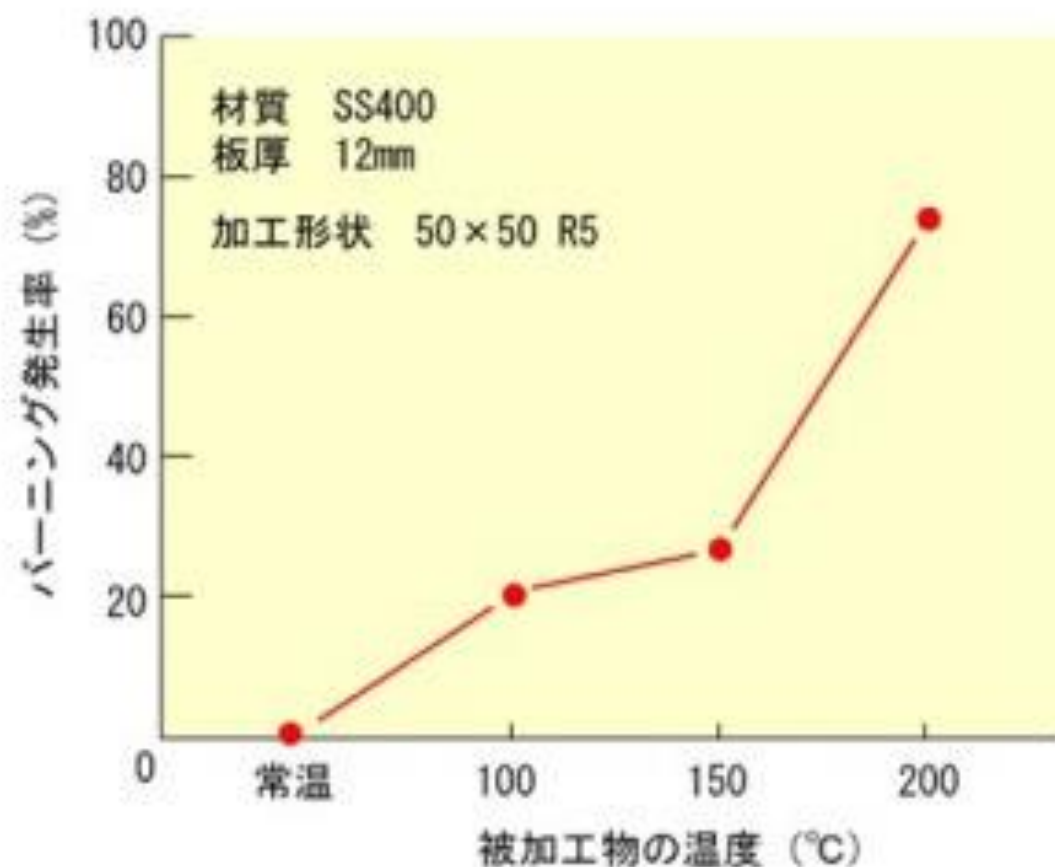
①エッジ加工にてバーニングが発生する場合

エッジ部での溶損の発生は、上図(1)のようにエッジ部をレーザー光が通過する際に、既にエッジ部が高温状態のためその部分で異常燃焼が起きるためです。この対策には、上図(2)のように熱の進行速度である 2m/min 以上の切断速度に設定しエッジ部が冷えた状態で加工できるようにします。

しかし、この条件設定には高出力発振器を必要とするため、低出力発振器で加工する場合はパルス条件の設定で溶損を防止します。平均出力を同じとした場合、パルスピーク出力を大きく設定し、パルス周波数を低く設定するほど、1パルス時間当たりのビームオフ時間の割合が増えて冷却時間が長くなることから、エッジ先端の溶損は減少します。切断速度とのバランスをとりながら、パルスピーク出力とパルス周波数の最適値を設定します。

6 切断時のバーニングの原因と対策

バーニングの対策(2)



コーナーR部でバーニング

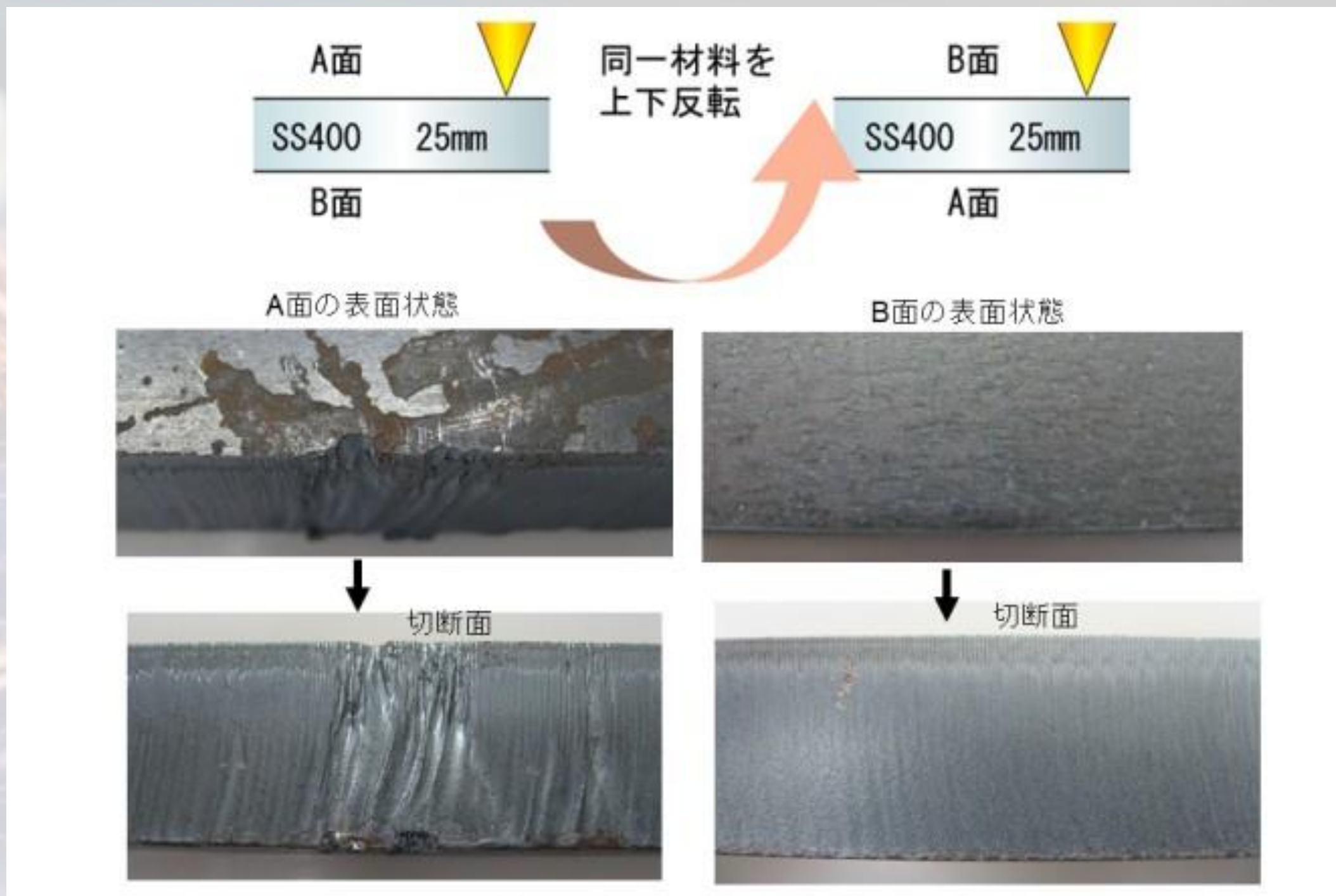
②多数個取り加工にてバーニングが発生する場合

加工の進行とともに徐々にバーニングの発生頻度が増加するのは、加工中の熱が被加工物に蓄積され、材料温度の上昇することが原因として考えられます。

上図には、板厚12mmのSS400に対して、材料温度を常温から200°Cに50°C間隔で変化させて切断し、バーニング発生頻度を調査した結果を示しています。温度が高いほどバーニングの発生が増加するため、**加工部品が密に並ぶ多数個取りやネスティングでは、加工中に発生する熱が集中せずに拡散するような加工経路の工夫が必要です。**

6 切断時のバーニングの原因と対策

バーニングの対策(3)



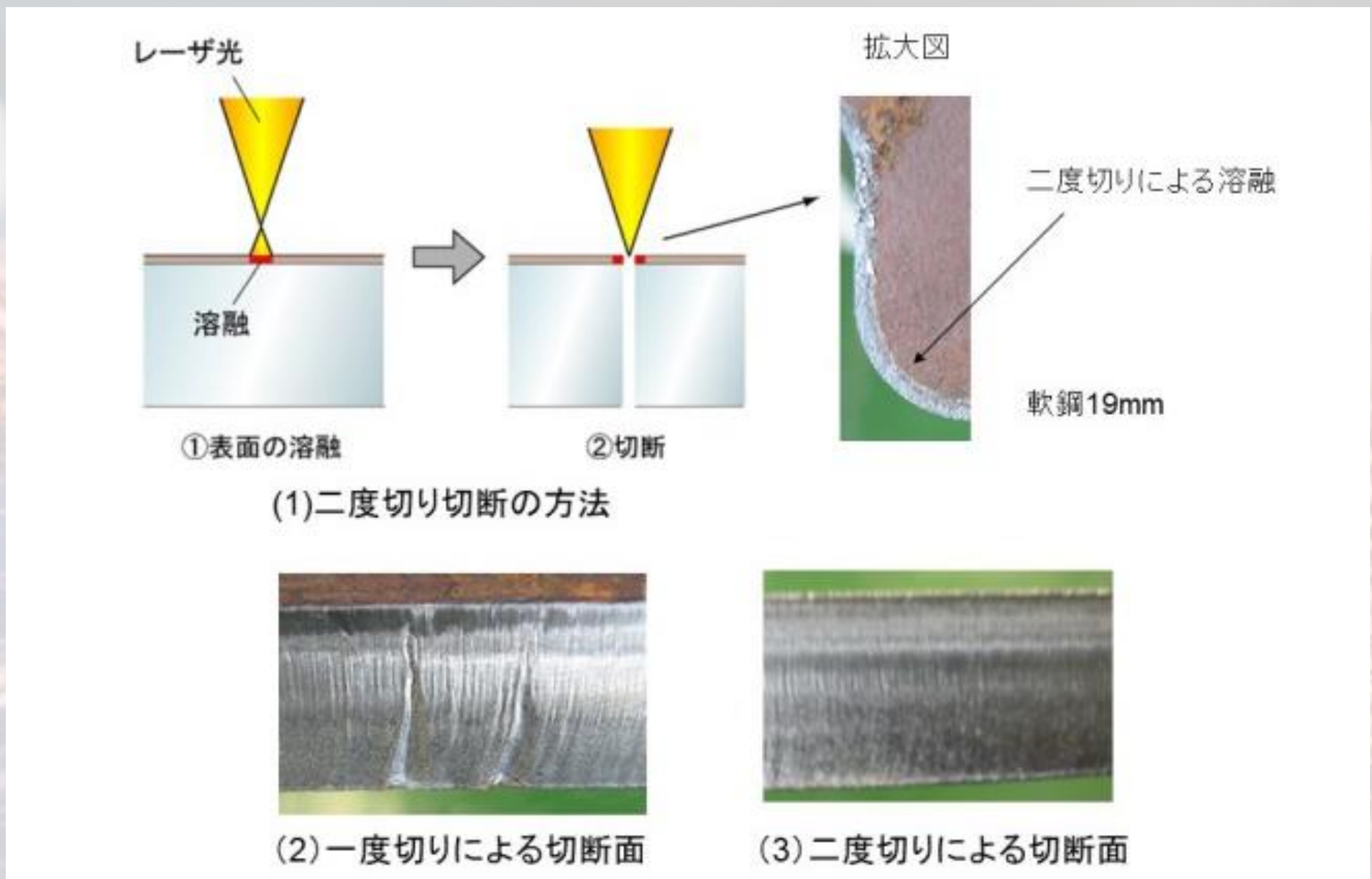
③被加工物の表面状態に応じてバーニングが発生する場合

材料表面にあるミルスケールの母材との密着性が低下したり、ミルスケールの膜厚にバラツキがあったりすると、表面でのレーザー光の吸収が一定にならず、バーニングが発生します。

上図は、同一材料でありながら、レーザー光の照射面を上下反転させて加工し切断面を比較した結果です。材料表面のミルスケールの状態が切断面品質に影響しているのがわかります。**材料の表面状態を切断前に確認し、ミルスケール状態の良好な面を表側として加工機に搭載する必要があります。**
(次ページにつづく)

6 切断時のバーニングの原因と対策

バーニングの対策(4)



また、上面が錆びた状態の材料を上下の反転ができずに加工する場合は、錆びの有無による不均一な材料表面をレーザー光のエネルギーを用いて均一にし、その後に切断の本加工を行う**二度切り法**を使います。

具体的には、第一ステップでは、レーザー光を表面溶融させるエネルギー密度に低下させ、かつ切断溝幅よりもやや広い幅寸法に設定し、切断形状と同じ軌跡を表面溶融させます。

第二ステップでは、切断条件に切り替えて切断を行います。上図には錆びがある材料にて一度切りと二度切りの切断面比較を示しており、二度切りでの切断面は材料表面が良好な材料と同じ品質が得られていることが分かります。

7 菱光商事株式会社について

菱光商事が提供するサービス

菱光商事株式会社では、三菱電機の主要代理店としてレーザー加工機に関する様々なサービスを行っております。

ファイバレーザー加工機・CO2レーザー加工機の加工技術相談から修理・メンテナンス相談、加工機の導入～導入後のサポート、レーザー加工の加工依頼までワンストップで対応可能です。

「レーザー加工機の加工で分からないことがある」「レーザー加工機の更新を検討しており相談に乗ってほしい」「レーザー加工機の周辺部品・消耗品を購入したい」「補助金に関する情報を聞きたい」といったお困りごとがありましたら、ぜひお気軽にご相談ください。

会社概要

会社名	菱光商事株式会社
本社	富山県富山市金屋1634-11 Tel:076-432-1141
設立	1958年12月23日
資本金	3,000万円
従業員	41名

レーザー加工機の導入・更新、修理・メンテナンス、周辺部品・消耗品の購入、加工依頼・加工相談、その他レーザー加工機・レーザー加工に関するお困りごとがありましたら、菱光商事にお任せください！

