

CÔNG NGHỆ CẮT BẰNG LASER CO2

Công nghệ ứng dụng tia Laser tuy được hình thành từ khá sớm (khoảng 1965~1967) nhưng việc ứng dụng trong công nghệ chế tạo (khoan, cắt, khắc, hàn, nhiệt luyện,...), đặc biệt là trong cắt kim loại, thì chỉ phát triển và trở nên phổ biến ở những năm sau này và có thể xếp vào nhóm các công nghệ gia công đặc biệt (phi truyền thống). Ở Việt Nam, công nghệ này tuy không còn mới nhưng việc ứng dụng vẫn ở mức rất hạn chế do nhiều yếu tố. Nguyên lý của công nghệ này là sử dụng chùm tia laser có mật độ năng lượng cao và dẫn hội tụ tại một điểm tạo nên điểm tập trung năng lượng rất lớn dưới dạng nhiệt và có khả năng nung nóng thậm chí đốt cháy vật liệu tại điểm hội tụ đó. Một trong những ứng dụng Laser thường thấy trong công nghệ chế tạo là Cắt vật liệu bằng tia Laser, công nghệ gia công này có những ưu điểm vượt trội so với một số công nghệ gia công truyền thống trong cùng nhóm ứng dụng như: cho năng suất rất cao (tốc độ gia công lớn), chất lượng gia công bề mặt đẹp – vết cắt nhỏ gọn (quá trình cắt laser thường được sử dụng là nguyên công sau cùng, không cần gia công lại), gia công được nhiều loại vật liệu cả kim loại và phi kim, gốm,..., vật tư nhiên liệu tiêu hao ít. Nhược điểm của phương pháp này là hệ thống thiết bị, công nghệ phức tạp nên giá thành cao, khó làm chủ công nghệ thiết bị, không thích hợp với một số sản phẩm yêu cầu ít phát sinh nhiệt tại bề mặt gia công, ngoài ra tia laser không cắt được một số kim loại có tính chất hấp thụ laser như đồng, không cắt được vật liệu có độ dày lớn.



Một số hình ảnh sản phẩm thực tế

Phân loại và ứng dụng: trong thực tế, thường gặp 3 loại Laser sử dụng trong công nghệ cắt bằng kim loại tương ứng với các nguyên lý tạo laser khác nhau đó là: Laser Nd (neodymium (Nd)), Laser Nd-YAG (neodymium yttrium-aluminium-garnet) và Laser CO2. Với Laser Nd hoặc Nd-

YAG chủ yếu dùng trong công nghệ khoan hoặc khắc, trong khi Laser CO2 đều thích hợp cho các công nghệ Khoan, Khắc, hàn và Cắt. Vì sự phổ biến và tính ứng dụng cao trong thực tế, ở đây chúng tôi đưa ra một số đặc điểm trong nguyên lý cấu tạo và lưu ý trong sử dụng vận hành thiết bị cắt bằng laser CO2.

Các thiết bị cắt laser hiện nay thường có cấu tạo gồm các thành phần chính như sau:

- **Hệ máy chính:** cũng tương tự một số thiết bị khác như máy cắt plasma, máy cắt Gas, Máy cắt bằng tia nước áp suất cao,... hệ máy chính là một hệ kết cấu khung máy, băng máy, các cơ cấu truyền động - dịch chuyển tọa độ chính xác, hệ điều khiển CNC. Nhiệm vụ của hệ máy chính là tạo lên một hệ truyền động cơ khí chính xác, có chức năng điều khiển và di chuyển nội suy hình học 2D, 3D hoặc >3D để đưa đầu dẫn tia laser tới những vị trí tọa độ yêu cầu, ngoài ra hệ điều khiển CNC còn có chức năng điều khiển, kiểm soát và duy trì hoạt động của toàn bộ các bộ phận khác trong hệ thống như điều khiển nguồn phát Laser, hệ thống cấp phôi và lấy sản phẩm tự động, hệ thống làm mát, hệ thống hút khí bụi, hệ thống cảnh báo an toàn...

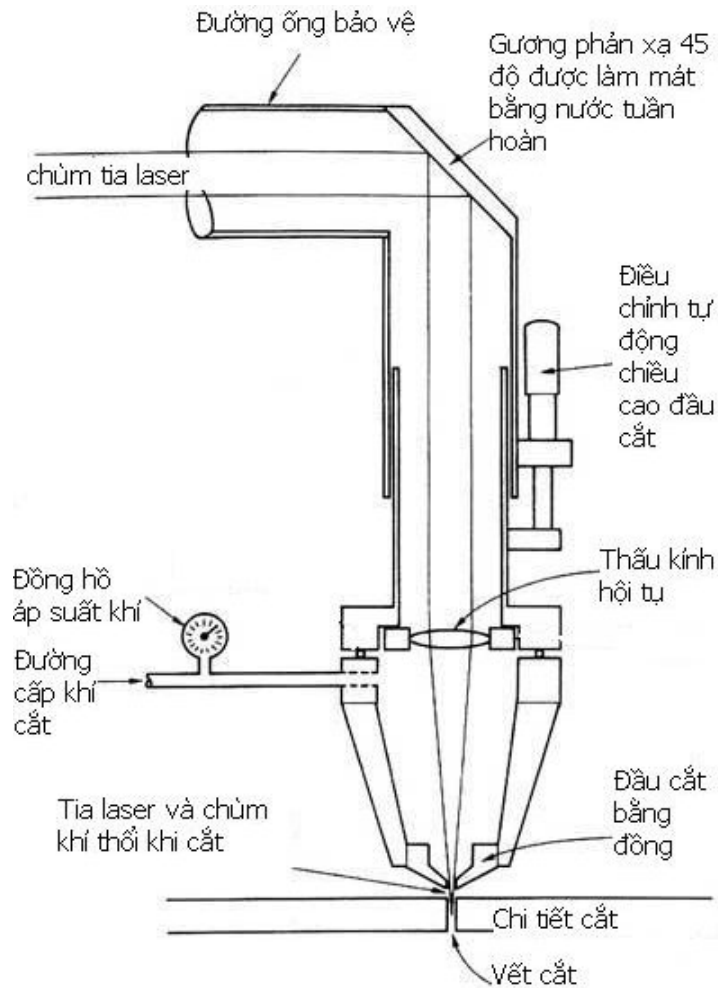
Trong thực tế, thường gặp các máy có chức năng kết hợp như máy Đốt dập + Laser, Cắt Laser + Hàn Laser,... ở các máy này, hệ máy chính có kết cấu phức tạp hơn, được trang bị đầy đủ các bộ phận cần thiết để máy có thể thực hiện nhiều chức năng gia công khác nhau trên cùng một sản phẩm.

Đối với cắt Laser, sự khác biệt và đáng lưu ý nhất trên hệ máy chính là hệ thống dẫn chùm tia Laser đi từ nguồn phát tới đầu cắt. Đó là thường là một đường ống kín có các điểm chuyển hướng theo đường đi của chùm tia Laser. Tại mỗi điểm chuyển hướng được lắp đặt một gương phản xạ có tác dụng đổi hướng chùm tia Laser. Tới gần vị trí đầu cắt, một thấu kính hội tụ được lắp đặt vuông góc với trục của chùm tia Laser, có tác dụng hội tụ chùm tia Laser tới một điểm, đó chính là điểm sẽ được cắt trên bề mặt của vật liệu. Toàn bộ các gương phản xạ và thấu kính hội tụ được được gá đặt sao cho có thể điều chỉnh góc độ để trong quá trình lắp đặt căn chỉnh, chúng ta có thể điều chỉnh hướng đi của chùm tia theo một góc độ nhất định.

Tại vị trí đầu cắt trên hệ máy chính, được lắp đặt một đường khí nén có thể điều chỉnh tự động hoặc điều chỉnh bằng tay áp suất khí. Nguồn khí nén này đi vào bên trong và đi cùng tia Laser ra khỏi miệng đầu cắt, có tác dụng xúc tác đốt cháy mạch cắt hoặc chỉ đơn thuần là thổi vật liệu đã bị nung chảy khỏi điểm cắt tạo thành mạch cắt. Nguồn khí này có thể là các loại khí khác nhau tùy thuộc vào vật liệu và chất độ cắt như : khí N2, khí O2, không khí nén.

Cũng ở gần vị trí đầu cắt, được lắp đặt một hệ thống có tác dụng nhận biết và phát tín hiệu điều chỉnh tự động chiều cao đầu cắt. Chức năng chính là duy trì ổn định khoảng cách từ đầu cắt tới bề mặt vật liệu cắt giúp cho quá trình cắt được ổn định, chính xác.

Điểm lưu ý cuối cùng là làm mát trên hệ máy chính: vì cắt bằng tia Laser là quá trình cắt sinh nhiệt nên tại các vị trí phát sinh nhiệt (đầu cắt, gương phản xạ, thấu kính) đều được trang bị những bộ phận có tác dụng làm mát, có thể là các đường ống dẫn nước làm mát tuần hoàn, hoặc các đường ống thổi khí làm mát, hoặc là kết hợp cả 2 phương pháp.



Sơ đồ nguyên lý cắt bằng tia laser

- **Nguồn Laser:** là thành phần quan trọng nhất và tạo nên đặc trưng cũng như sự khác biệt với các công nghệ cắt khác. Trước tiên cần hiểu được nguyên lý hình thành tia Laser sử dụng ở đây. [Xem thêm nguyên lý hình thành “Laser CO2”.](#)

Theo nguyên lý hình thành Laser CO₂, khi hỗn hợp khí CO₂, N₂, He bị kích thích bởi điện áp phân cực với hiệu điện thế và tần số cao sẽ xảy ra quá trình chuyển hóa giữa các trạng thái năng lượng, là nguyên nhân tạo ra các luồng hạt Photon dưới dạng sóng bức xạ với 02 bước sóng chính là 10,4 Micromet và 9,4 Micromet. Đáng chú ý nhất là bước sóng 10,4μm vừa có tính chất dao động nhiệt - mang năng lượng nhiệt cao nhưng lại mang những tính chất của ánh sáng mặc dù không thể nhìn thấy bằng mắt thường. Bức xạ này được gọi là Laser và do hình thành từ sự dao động phân tử khí CO₂ nên còn gọi là Laser CO₂.

Do 2 tính chất vật lý như nói trên, Laser CO₂ rất phù hợp trong ứng dụng cắt vật liệu. Thứ nhất, với tính chất vật lý dao động nhiệt, LaserCO₂ mang theo nguồn năng lượng lớn, tốc độ rất cao dưới dạng nhiệt nên có thể sử dụng để nung nóng hoặc thậm chí đốt cháy vật liệu tại những vị trí tác động. Thứ 2 là tính chất vật lý của ánh sáng như phản xạ (khi gặp gương phản xạ), khúc xạ khi đi qua các môi trường trong suốt có hệ số khúc xạ (chiết suất) khác nhau. Với tính chất phản xạ, khúc xạ, chúng ta có thể sử dụng các dụng cụ quang học như gương phản xạ để chuyển hướng đường đi của chùm tia, sử dụng thấu kính để hội tụ

chùm tia làm tăng lên nhiều lần mật độ năng lượng của chùm tia. Trên cơ sở đó chúng ta có được 2 yếu tố then chốt là khuếch đại năng lượng tới ngưỡng cần thiết và dẫn nguồn năng lượng đó tới vị trí cần gia công. Việc di chuyển đầu cắt trong quá trình gia công (do Hệ máy chính, hệ điều khiển CNC đảm nhiệm) luôn luôn đảm bảo đường đi của chùm tia Laser khi tới trước thấu kính hội tụ không bị suy giảm, giữ được hướng và điểm hội tụ do đó luôn là điểm tập trung mật độ năng lượng cao nhất dù ở các vị trí khác nhau trong quá trình di chuyển cắt (hình minh họa ở trên).

Nguồn LaserCO2 có cấu tạo phức tạp tùy thuộc vào công nghệ chế tạo của các hãng khác nhau nhưng có thể chia thành các nhóm bộ phận chính sau: buồng cộng hưởng dao động; Bơm nhồi để tạo vận tốc luồng hỗn hợp khí tới hơn 200m/s (720km/h), Bơm xả để xả hỗn hợp khí trong quá trình duy trì áp suất và chất lượng khí của buồng cộng hưởng; Hệ thống tạo điện cao áp RF với điện áp 3~4KW hoặc cao hơn, tần số tới 2MHz; Hệ thống các cảm biến nhiệt độ, cảm biến áp suất, cảm biến lưu lượng nước làm mát, cảm biến công suất Laser chuyên dụng,...; Hệ thống đường ống dẫn nước làm mát tuần hoàn tới các điểm phát sinh nhiệt độ.



Nguồn Laser CO2 hãng Fanuc

- **Hệ thống làm mát tuần hoàn:** thường là hệ thống bơm và làm mát cưỡng bức bằng nước sạch. Vì quá trình tạo LaserCO2 và dẫn tới vị trí cắt là quá trình phát sinh nhiệt lượng lớn nên để thiết bị có thể vận hành ổn định, sử dụng phương pháp làm mát bằng trao đổi nhiệt đối lưu thông thường sẽ không đảm bảo. Để việc trao đổi nhiệt diễn ra nhanh, sử dụng các đường dẫn nước tuần hoàn, qua hệ thống làm lạnh nước và bơm tuần hoàn. Các bộ phận nhất thiết phải làm mát bao gồm: buồng cộng hưởng, khối công suất của hệ thống điện cao áp RF, bơm nhồi, bơm xả, cảm biến công suất Laser, các gương phản xạ và thấu kính hội tụ. Ngoài ra đối với các linh kiện điện tử công suất khác có thể làm mát bằng quạt tản nhiệt.

Vì làm mát là yếu tố rất quan trọng đối với sự vận hành ổn định và tuổi thọ của thiết bị, đặc biệt là nguồn phát LaserCO2 nên quá trình làm mát thường được kết nối điều khiển và

kiểm soát tiến trình bởi hệ điều khiển CNC qua các cảm biến như cảm biến nhiệt độ, cảm biến áp suất dòng nước, cảm biến áp suất hệ thống nén trao đổi nhiệt. Khi một trong các điều kiện vận hành không đảm bảo, hệ thống sẽ báo lỗi và dừng lại không cho hoạt động.

- **Hệ thống bơm hút khói bụi:** Giống như một số thiết bị gia công trong cùng nhóm ứng dụng như Cắt Plasma, Cắt Gas,... quá trình cắt bằng LaserCO2 cũng tạo ra khói bụi, tùy vào loại vật liệu cắt mà khí thải của quá trình có thể là khí độc, ảnh hưởng tới sức khỏe. Vì lý do này, trong các thiết bị cắt LaserCO2 thường được lắp đặt thêm bộ phận hút và xử lý khí thải của quá trình cắt. Mặc dù không ảnh hưởng tới quá trình hoạt động của thiết bị nhưng là điều kiện an toàn lao động, rất cần thiết với sức khỏe người vận hành. Một số hãng sản xuất đã gắn điều khiển và giám sát tiến trình của bộ phận này bởi CNC để đảm bảo thiết bị luôn luôn được vận hành đúng.

Trên đây là những điểm chung nhất về cấu tạo của một hệ thống Máy cắt bằng LaserCO2, để vận hành và làm chủ thiết bị trước hết cần hiểu rõ về hệ thống điều khiển CNC, cấu tạo và nguyên lý làm việc của nguồn phát LaserCO2, nguyên tắc an toàn khi vận hành và các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng mạch cắt.

- **Các điểm cần lưu ý về an toàn:** ngoài các nguy cơ mất an toàn nói chung như các nhóm thiết bị gia công chế tạo khác, khi vận hành hoặc sửa chữa thiết bị cắt bằng LaserCO2 cần đặc biệt lưu ý những điểm sau:

Nguy hiểm từ điện cao áp: để tạo ra Laser, hệ thống sử dụng điện công nghiệp thông thường 3pha/220V/50Hz hoặc 3pha/380V/50Hz qua các mạch khuếch đại điện áp và điều chế xung tạo thành điện cao áp với tần số cao và công suất lớn: điện áp >2000V (có những thiết bị sử dụng tới 18.000V), tần số tới 2MHz hoặc cao hơn; công suất tới hàng chục Kw. Đây là điện áp đặc biệt nguy hiểm đối với con người. Trong nguồn LaserCO2, các điểm có điện cao áp thường được bảo vệ kín để giảm thiểu sự rò rỉ và tiếp xúc. Tuy nhiên khi làm việc tại các khu vực này, cần mang găng tay cao su, đi ủng cách điện, tránh đứng hoặc tiếp xúc với bề mặt ẩm ướt hoặc chỉ tiết dẫn điện, không mang đồ dùng trang sức trên người bằng kim loại vì có thể gây phóng điện hoặc va chạm gây cháy chập.

Nguy hiểm từ nguồn nhiệt: Có 2 dạng nguy cơ gây bỏng là do tiếp xúc với các điểm nhiệt độ cao và bỏng do tiếp xúc chùm tia Laser. Các điểm có nhiệt độ cao như: buồng cộng hưởng, đường ống dẫn khí từ buồng cộng hưởng, bơm nhồi, bơm xả, gương phản xạ, cảm biến Laser,... Ngoài ra tia LaserCO2 với bước sóng 10,4μm và 9,4μm là dạng sóng mang tính chất của sóng ánh sáng nhưng không nhìn thấy bằng mắt thường nên cần hết sức cẩn thận, tia này đặc biệt nguy hiểm đối với mắt và da. Khi phải thao tác căn chỉnh hướng phản xạ chùm tia hoặc bảo trì sửa chữa, cần chú ý chỉ cho hệ thống ở trạng thái kích hoạt laser khi đã đóng kín các tấm che bảo vệ, ngoài nên sử dụng các đồ bảo hộ hoặc các vật liệu che chắn có chất hấp thụ tia Laser như nhựa acrylic tại những khu vực có khả năng phát tán chùm tia.

- **Khả năng gia công và các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng mạch cắt:**

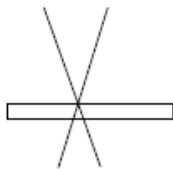
Đối với các nguồn Laser có công suất 2kw, khả năng cắt vật liệu thép các bon thấp có độ dày tới 18mm, cắt thép Inox có độ dày tới 12mm. Tốc độ và chất lượng mạch cắt tùy thuộc vào loại vật liệu được cắt, chế độ cắt. Độ nhám vết cắt đạt được tăng theo độ dày vật liệu cắt nhưng giảm tỷ lệ nghịch với công suất và tốc độ cắt. Có thể tính gần đúng độ nhám bề mặt vết cắt theo công thức sau ở điều kiện cắt tốt nhất:

$R_z = 12.528 * S^{0,542} / (P^{0,528} * V^{0,322})$; với S là độ dày vật liệu cắt (mm), P là công suất nguồn Laser (kW), V là tốc độ cắt (m/phút). Đối với những máy cắt Laser công suất lớn (tới 4kw, độ chính xác định vị cao, có thể đạt được $R_z = 0,003 \sim 0,006\text{mm}$.

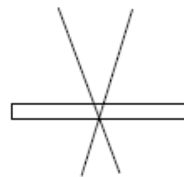
Các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng mạch cắt:

- Tốc độ cắt (S): tốc độ cắt cũng ảnh hưởng do công suất phát Laser (công suất lớn cắt nhanh, công suất nhỏ cắt chậm). Tốc độ cắt cũng khác nhau với các kiểu cắt, ví dụ cắt theo đường thẳng thì cắt nhanh, cắt theo đường biên dạng phức tạp hoặc các lỗ nhỏ thì cắt chậm.
- Công suất chùm tia Laser: ở một tốc độ cắt cố định, nếu công suất quá cao sẽ gây ra cháy bề mặt cắt, công suất quá nhỏ sẽ không đủ cắt đứt vật liệu. Ngoài ra công suất cắt cũng phụ thuộc vào chiều dày vật liệu và kiểu hình dáng đường cắt. Có thể chọn kiểu cắt với công suất liên tục hoặc kiểu xung.
- Tần số xung Laser: khi lựa chọn kiểu phát công suất chùm tia dạng xung thì tần số xung ảnh hưởng tới công suất cắt, tần số càng cao thì năng lượng phát ra càng lớn, sử dụng khi cắt nhanh, tần số càng nhỏ thì năng lượng phát ra càng nhỏ sử dụng khi cắt chậm, cắt biên dạng phức tạp hoặc cắt các lỗ nhỏ.
- Tỷ lệ độ rộng xung: trong lựa chọn công suất phát chùm tia dạng xung: độ rộng xung càng lớn thì năng lượng phát ra càng lớn và ngược lại, cũng tương tự như yếu tố tần số xung.
- Khí cắt: cắt bằng Laser CO2 thường sử dụng 3 loại khí cắt là không khí nén, khí O2 và khí N2.
 - Cắt bằng O2: thường sử dụng để cắt vật liệu mềm, tạo lớp xỉ ôxít khi cắt vật liệu dày. Cũng có thể sử dụng O2 khi cắt thép không gỉ tuy nhiên sẽ để lại một lớp ôxít mỏng ở bề mặt cắt. Áp suất khí cắt thường là 1kgf với thép cacbon thấp, 2kgf với cắt lỗ nhỏ, 3kgf với cắt thép không gỉ, 7kgf khi cắt thép dày
 - Cắt bằng N2 hay còn gọi là cắt sạch: thường được sử dụng khi cắt thép không gỉ, không tạo thành lớp ô xít tại bề mặt cắt nên vết cắt đẹp và ít bị biến cứng hơn. Áp suất khí thường sử dụng từ 7~8kgf.
 - Cắt bằng không khí nén: thường được sử dụng để nhôm, vật liệu phi kim loại hoặc thép không gỉ. Mặc dù ít để lại lớp ô xít nhiều hơn nhưng giá thành rẻ. Áp suất khí cắt khoảng 7~8kgf.
- Khe hở giữa đầu cắt và vật liệu cắt: thường sử dụng khe hở khoảng 1,5mm. Tuy nhiên khi cắt Nhôm hoặc Thép không gỉ, áp suất khí cắt lớn thì nên giảm khe hở xuống khoảng 0,3~0,5mm
- Điểm hội tụ chùm tia: là điểm có diện tích bằng không và về lý thuyết, mật độ năng lượng chùm Laser tại đó là vô cùng lớn. Tùy theo từng kiểu cắt mà điều chỉnh điểm hội tụ này như hình dưới đây:

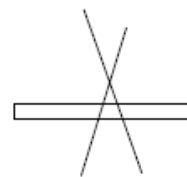
Cắt vật liệu mỏng



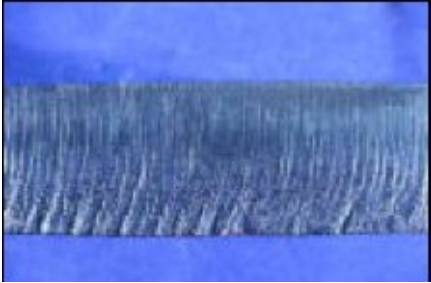
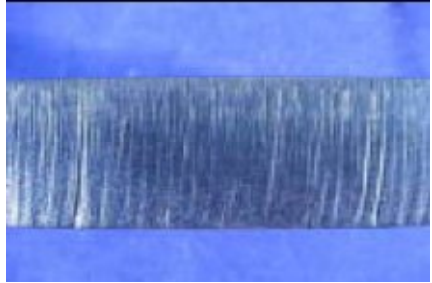
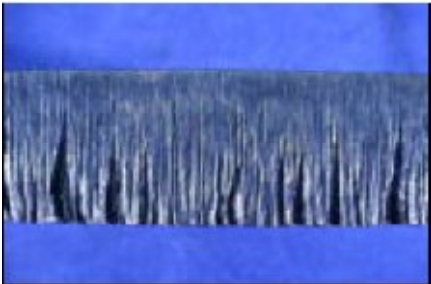
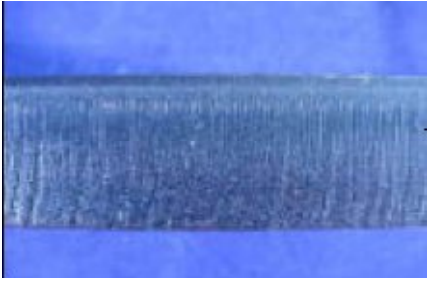
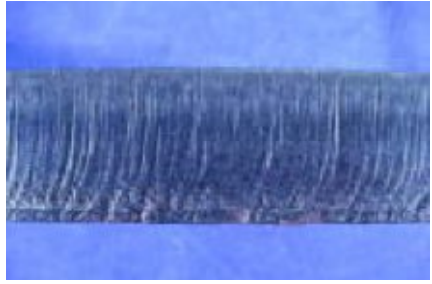
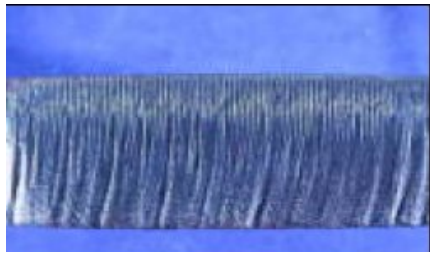
Cắt Nhôm, Inox



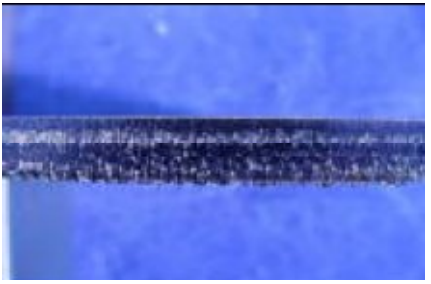
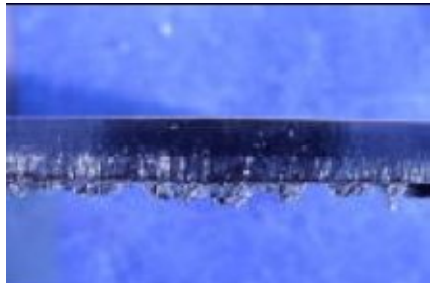
Cắt vật liệu dày

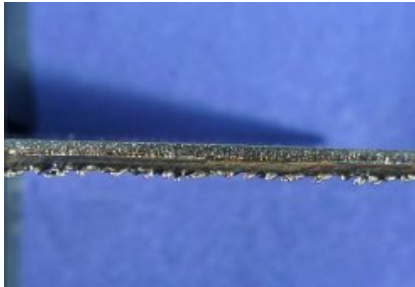
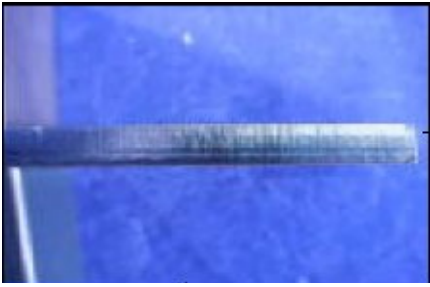
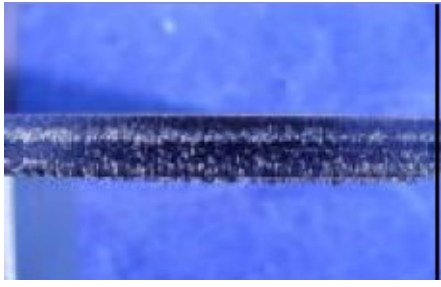
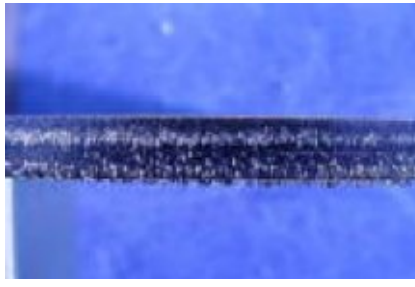
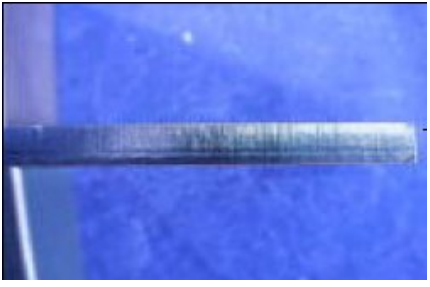


Hình ảnh chất lượng mạch cắt khi cắt thép dày

		
Công suất quá thấp	Công suất hợp lý	Công suất quá cao
		
Tốc độ cắt quá thấp	Tốc độ cắt hợp lý	Tốc độ cắt quá cao
		
Khoảng cách đầu cắt quá nhỏ	Khoảng cách hợp lý	Khoảng cách quá lớn

Hình ảnh chất lượng mạch cắt khi cắt thép mỏng

		
Công suất quá thấp	Công suất hợp lý	Công suất quá cao

		
Tốc độ cắt quá thấp	Tốc độ cắt hợp lý	Tốc độ cắt quá cao
		
Khoảng cách đầu cắt quá thấp	Khoảng cách hợp lý	Khoảng cách quá cao

Xem một số hình ảnh tư liệu thực tế trên máy LaseCO2 của hãng Muratech: