

Tại sao sản phẩm gia công CNC bị rung hoặc không đạt độ bóng bề mặt?

Trong [gia công cơ khí chính xác](#), độ bóng bề mặt (R_a , R_z) và sự ổn định của quá trình cắt là những tiêu chí tiên quyết để đánh giá chất lượng sản phẩm. Tuy nhiên, hiện tượng rung động và bề mặt không đạt độ bóng là hai bài toán hóc búa nhất mà các kỹ thuật viên thường xuyên gặp phải.

Dưới đây là phân tích chi tiết, chuyên sâu về nguyên nhân và giải pháp tối ưu cho vấn đề này.

Bản chất của hiện tượng Rung động (Chatter) trong CNC

Rung động trong gia công không chỉ đơn thuần là tiếng ồn. Đó là sự mất ổn định cơ học giữa dụng cụ cắt và phôi. Có ba loại rung động chính:

- Rung động tự do: Xảy ra do các tác động đột ngột (như lúc dao vừa chạm phôi).
- Rung động cưỡng bức: Do các bộ phận quay không cân bằng (trục chính, motor) hoặc do dao cắt có bước răng không đều.
- Rung động tự kích: Đây là loại nguy hiểm nhất, xảy ra khi lực cắt thay đổi theo chu kỳ, tạo nên sự cộng hưởng giữa hệ thống máy - dao - phôi.



Nguyên nhân từ Hệ thống Gá đặt và Độ cứng vững

Độ cứng vững (Rigidity) là "xương sống" của gia công CNC. Nếu hệ thống không đủ cứng, bất kỳ lực cắt nào cũng có thể gây ra biến dạng đàn hồi.

2.1. Phôi gá đặt không chắc chắn

- Vấn đề: Đồ gá (ê-tô, mâm cặp) không kẹp chặt hoặc điểm tựa của phôi quá xa vị trí cắt.
- Hậu quả: Phôi bị xô dịch siêu nhỏ hoặc rung theo nhịp cắt, tạo ra các vết lằn sóng trên bề mặt.

2.2. Độ vươn dao (Overhang) quá dài

- Vấn đề: Khi chiều dài dao nhô ra khỏi bầu kẹp quá lớn, độ cứng vững giảm theo lũy thừa bậc ba của chiều dài.
- Công thức tham khảo: Độ võng $\delta \approx 3EIF \cdot L^3$. Chỉ cần tăng gấp đôi chiều dài dao (L), độ kém ổn định tăng gấp 8 lần.

Nguyên nhân từ Thông số cắt gọt

Thông số cắt là yếu tố dễ điều chỉnh nhất nhưng cũng thường bị cài đặt sai nhất.

1. Tốc độ trục chính (RPM) và Vận tốc cắt (V_c)

- Quá cao: Gây nhiệt luyện cục bộ, làm mòn dao nhanh và tạo ra rung động tần số cao.
- Quá thấp: Dễ dẫn đến hiện tượng leo dao (Built-up Edge - BUE), nơi vật liệu phôi dính chặt vào lưỡi cắt, làm mất đi độ sắc bén và phá hỏng độ bóng.

2. Bước tiến dao (Feed rate - f)

- Nếu bước tiến quá thấp, dao sẽ "miết" lên bề mặt thay vì cắt, gây ra ma sát và nhiệt.
- Nếu bước tiến quá cao, các đường vân (scallop height) sẽ hiện rõ, làm tăng giá trị R_a .

3. Chiều sâu cắt (Depth of Cut - a_p)

- Chiều sâu cắt quá lớn tạo ra lực cản lớn, vượt quá khả năng chịu tải của trục chính và dao, gây ra rung giật (chatter).

Nguyên nhân từ Dụng cụ cắt (Cutting Tools)

Dụng cụ cắt đóng vai trò trực tiếp quyết định hình thái bề mặt.

1. Hình học lưỡi cắt

- Bán kính mũi dao (Corner Radius): Một bán kính mũi dao lớn giúp bề mặt mịn hơn, nhưng lại làm tăng lực cắt hướng tâm, dễ gây rung đối với các chi tiết thành mỏng.

- Góc thoát (Rake Angle): Góc thoát âm giúp dao khỏe nhưng tạo lực cản lớn; góc thoát dương cắt ngọt hơn nhưng dễ mẻ.

2. Độ mòn của dao

- Dao bị mòn không đều làm thay đổi cơ chế hình thành phoi. Lưỡi cắt cùn sẽ không "chặt" đứt vật liệu mà là "ép" vỡ, để lại bề mặt thô ráp và xám xịt.

Hiện tượng Lẹo dao (Built-up Edge - BUE)

Đây là "kẻ thù" số một của độ bóng bề mặt khi gia công các vật liệu dẻo như nhôm, thép carbon thấp hoặc inox.

- Cơ chế: Dưới nhiệt độ và áp suất cao, một phần vật liệu phôi hàn dính vào mũi dao. Phần vật liệu này đóng vai trò như một lưỡi cắt "giả" nhưng không sắc và hình dáng không ổn định.
- Kết quả: Khi cục lẹo dao này vỡ ra, nó kéo theo một phần bề mặt chi tiết, để lại các lỗ li ti hoặc vết xước thô.

Dung dịch làm mát và Bôi trơn

Dung dịch làm mát không chỉ để hạ nhiệt. Trong gia công CNC, nó có 3 nhiệm vụ:

1. Bôi trơn: Giảm ma sát giữa dao và phôi (giảm rung).
2. Làm mát: Ngăn biến dạng nhiệt cho phôi và dao.
3. Thoát phoi: Đẩy phoi ra khỏi vùng cắt. Nếu phoi không được đẩy đi, dao sẽ cắt lại phoi (recutting), gây xước bề mặt nghiêm trọng.

Giải pháp khắc phục và Tối ưu hóa

Để xử lý triệt để, bạn cần thực hiện theo quy trình loại trừ sau:

Chiến lược xử lý Rung động (Chatter):

- Giảm độ vươn dao: Luôn giữ dao ngắn nhất có thể. Sử dụng bầu kẹp chịu lực cao (Shrink fit hoặc Hydraulic chuck).
- Thay đổi tốc độ: Sử dụng tính năng *Spindle Speed Variation* (thay đổi RPM liên tục) để phá vỡ tần số cộng hưởng.
- Sử dụng dao có bước răng không đều (Variable Helix/Pitch): Thiết kế này giúp triệt tiêu các sóng rung động lặp lại.

Chiến lược tăng Độ bóng bề mặt:

- Chọn đúng R_{ϵ} (Bán kính mũi dao): Áp dụng công thức tính độ bóng lý thuyết $R_a \approx 32 \cdot r_f^2$. Muốn R_a nhỏ, hãy giảm f hoặc tăng r .
- Tăng vận tốc cắt (V_c): Thông thường, tăng tốc độ cắt sẽ giúp tránh vùng hình thành lẹo dao (BUE), giúp bề mặt sáng gương hơn.
- Kiểm tra độ đảo (Run-out): Đảm bảo độ đảo trục chính và bầu kẹp $< 0.005\text{mm}$.

Kết luận

Độ bóng bề mặt và độ rung trong gia công CNC là kết quả tổng hòa của Máy - Dao - Gá - Thông số. Để đạt được chất lượng hoàn hảo, người thợ không chỉ cần kiến thức về lập trình mà còn phải cảm nhận được "tiếng nói" của máy qua âm thanh và hình thái phoi.

Việc đầu tư vào các hệ thống bầu kẹp chất lượng cao và các dòng dao cắt chuyên dụng có thiết kế chống rung là giải pháp bền vững nhất để nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm.

Xem thêm:

- [Gia công kim loại tấm là gì?](#)
- [Các phương pháp gia công phay phổ biến](#)