

ラスタ一切削加工の仕上げ面粗さ限界

キーワード：ラスタ一切削加工、仕上げ面粗さ、超精密切削、フライカット、切削痕

概要

近年、OA 機器や情報通信機器の性能向上に伴い、それらに内蔵される光学部品は非軸対称非球面形状のものが求められるようになってきました。この非軸対称非球面形状を高精度・高能率に加工できる方法の一つにラスタ一切削加工があります。

この加工法の模式図を図 1 に示します。単結晶ダイヤモンドの回転工具を用いて、被削材の移動軸（X 軸）と工具の切り込みを行う Z 軸の同時 2 軸制御により、ある 1 ラインを切削加工します。次に Y 軸スライドにより工具を高さ方向に一定量だけ移動し、再び X・Z の同時 2 軸制御により新たなラインを加工し、これを多数回繰り返すことにより 3 次元形状を創製します。工具の走査経路がテレビ画面における電子線の走査経路（ラスタ走査）に似ているため、ラスタ一切削加工と呼ばれます。

この加工法によると、ポリシングを行うことなく切削加工のみで非軸対称非球面を創製できるため、高能率な生産が可能になります。しかしながらこの方法における加工精度限界、とくに仕上げ面粗さの最小限界値がどの程度であるのかについてはまだほとんど明らかにされていません。そこで本シートでは、無酸素銅の平面加工実験によってラスタ一切削加工の仕上げ面粗さ限界を調べた結果を紹介します。

解説

平面ワークのラスタ一切削加工において、加工機に運動誤差等がなく理想的な加工が行われた場合、被削材表面には工具によって図 2 に示すような切削痕（カッターマーク）が形成されます。この切削痕の深さが幾何学的な理論粗さを与えます。工具の回転半径とノ

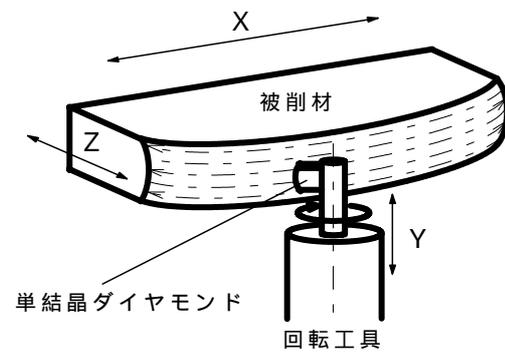


図 1 ラスタ一切削加工

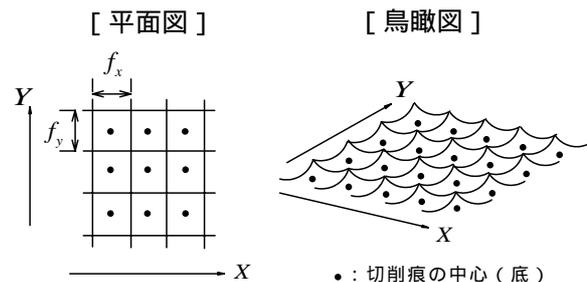


図 2 加工面上の切削痕

ーズ半径をそれぞれ r_R 、 r_n とし、X 方向の工具 1 回転あたりの送りピッチを f_x 、Y 方向の送りピッチを f_y とすると、X 方向の理論粗さ R_{thx} 、Y 方向の理論粗さ R_{thy} はそれぞれ (1)、(2) 式で求められます。これらの式からは、送りピッチを小さくすればいくらかでも理論粗さは小さくなりますが、実際の粗さはどこかに最小限界値があると考えられます。それを切削実験によって検証しました。

$$R_{thx} = \frac{f_x^2}{8 \left(r_R \pm \frac{f_x}{\pi} \right)} \quad (1)$$

(+ : アップカット、- : ダウンカット)

$$R_{thy} = \frac{f_y^2}{8r_n} \quad (2)$$

切削実験は無酸素銅の丸棒試料（直径7mm）の端面加工で行いました。加工機は豊田工機株式会社製の超精密加工機 AHN60-3D を用い、工具スピンドルは空気静圧方式です。加工条件は表1の通りです。仕上げ面粗さの限界を調べるため、送りピッチを6通りに変化させました。

表1 加工条件

工具形状	球状工具 ($r_R = r_n = 5\text{mm}$)
加工方式	アップカット、ダウンカット
工具回転数	5000rpm
切込み	5 μm
送りピッチ ($f_x = f_y$)	10、14、20、28、40、48 μm

仕上げ面粗さの測定には Zygo 社製の白色干渉型三次元表面解析装置 New View 100 を用いました。粗さの評価については加工面から 20 個の切削痕を選び出し、それらの深さの平均値を最大高さ粗さ R_z とみなす方法をとりました。

X 方向の測定結果を各送りピッチに対して示したものが図3です。ダウンカットの方がアップカットより若干切削痕深さは小さくなっています。またいずれの場合も、送りが大きい場合はほぼ理論粗さに近い値ですが、送りの減少に伴って理論値より大きな値を示すようになり、送りピッチ 14 μm においてほぼ一定値に収束しています。その収束値はアップカットで約 14nm、ダウンカットで約 12nm となっています。したがって仕上げ面粗さ（最大高さ粗さ R_z ）の最小限界値は約 12nm であることが分かりました。図4は Y 方向の測定結果ですが、X 方向とほぼ同様の結果となっています。

図5は送りが大きい場合と小さい場合における切削痕の様子の違いを示したものです。送りピッチ 28 μm の場合、加工面にはほぼ理論通りの大きさの切削痕が規則正しく並んでいます。それに対して送りピッチ 10 μm の場合、大きさの不揃いな切削痕が不規則に並んだ様相を呈しています。このことから、大きな送りピッチではほぼ理想に近い加工が行わ

れるのに対し、小さな送りピッチでは何らかの原因で加工に乱れが生じ、そのため切削痕深さの平均値が 12nm 以下にならないのだと考えられます。この加工の乱れの原因については、加工中の工具切込み深さの変動が関わっているのではないかと推測しています。

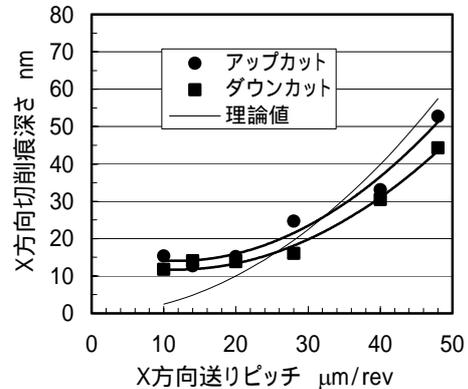


図3 X方向切削痕深さ

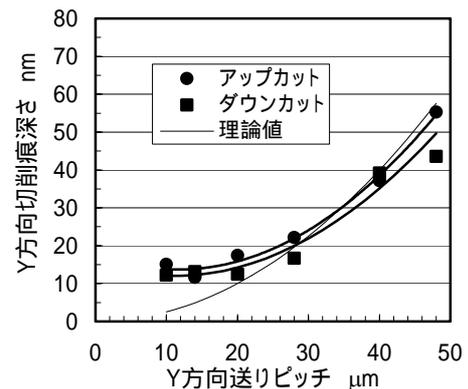
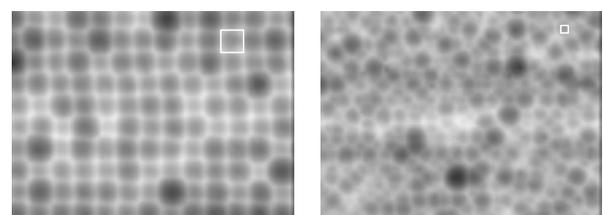


図4 Y方向切削痕深さ



送りピッチ 28 μm 送りピッチ 10 μm

図5 切削痕の様子（□：理論的切削痕形状）

まとめ

無酸素銅の平面加工実験の結果、今回用いた加工機・加工条件では、ラスタ切削加工の仕上げ面粗さ（最大高さ粗さ R_z ）の最小限界値が約 12nm であることが分かりました。