

研究論文

パルスレーザーで刃先成形したダイヤモンドコーティング工具による 超硬合金の高能率加工

児玉英也*¹、河田圭一*¹、石川和昌*¹

High-efficiency Cutting of Cemented Carbide Using a Diamond Coated Tool Sharpened by Pulse Laser

Hideya KODAMA*¹, Keiichi KAWATA*¹ and Kazumasa ISHIKAWA*¹

Industrial Research Center*¹

ダイヤモンドコーティング工具による超硬合金の切削加工は、切削初期にすくい面のコーティングが剥離するため送り量に制限があり加工能率が他の被削材に比べ低い。本研究では短パルスレーザー加工機を用いて、市販工具のコーティングを加工し、刃先を鋭利にした工具を試作した。この試作工具は市販工具と比較して送り量 5 倍の高能率加工を可能にし、さらに除去体積や加工面の表面粗さも改善することを確認した。

1. はじめに

ものづくりの高付加価値化の流れの中で、従来よりも強度や耐熱性に優れた材料の金型成形が求められている。それにより、金型への負荷が増加し、耐衝撃性や耐摩耗性に優れた超硬合金製金型のニーズが高まっている。超硬合金の加工法は放電加工や研削加工が一般的であるが、加工時間が長い、金型亀裂の起点となるクラックが発生する¹⁾、形状に制限がある等の問題がある。これらの問題を解決する加工技術として切削加工が挙げられる。近年、低価格の超硬合金切削用のダイヤモンドコーティング工具が登場し、超硬合金の切削加工技術は注目を集めている。しかし、本加工は加工能率が他の被削材に比べ低いことや工具寿命が短いことなどが課題であり、加工技術のさらなる向上が求められている。

そこで本研究では加工能率の向上を目標とし、始めに市販工具を用いた超硬合金の切削実験を行い、加工能率の低下要因について検討した。その後短パルスレーザー加工機で市販工具の刃先を鋭利にした工具を試作し、送り量を増加したときの影響について調べた。

2. 実験方法

2.1 工具の切削性能評価

市販工具および後述する試作工具を用いた切削実験の加工模式図を図 1 に示す。加工機は立形マシニングセンタ（オークマ(株)MU-400VA）を使用した。加工条件を表 1 に示す。被削材の側面をダウンカットで加工

し、切削抵抗と工具摩耗、表面粗さを評価した。切削抵抗の測定はキスラー製 3 分力切削動力計を用いた。

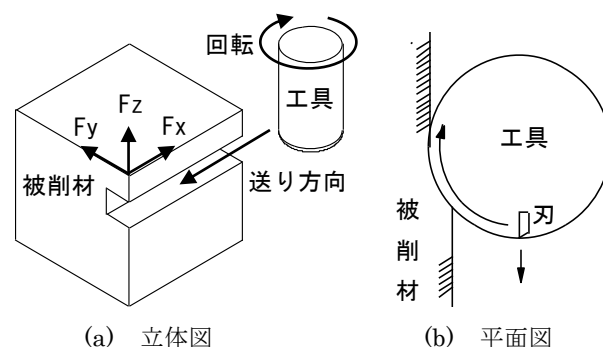


図 1 加工模式図

表 1 加工条件

| 被削材 | 超硬合金 (VM-40) |
|------|--|
| 工具 | 形状：φ2mm-R0.1mm ラジアスエンドミル コーティング：CVD ダイヤモンド 母材：超硬合金 ねじれ角：0° 刃数：1 枚 |
| 回転数 | 12000min ⁻¹ |
| 切込み | 軸方向：0.5mm 径方向：0.01mm |
| 送り量 | 市販工具：18、90 μm/刃 試作工具：90 μm/刃 |
| 切削方式 | ダウンカット |
| 切削油剤 | なし（エアブロー） |

*¹産業技術センター 自動車・機械技術室

2.2 短パルスレーザー加工による刃先成形

図2にレーザー加工の模式図を示す。本加工法は PLG (Pulse Laser Grinding) と呼ばれ²⁾、パルスレーザーを比較的緩い角度で集光することで、光軸方向に長い円筒状の加工可能領域を生成し、これを加工面と平行に繰り返し走査して加工する方法である。市販工具の外周刃のすくい面側のコーティング部を加工面として、工具刃先の鋭利化を試みた。

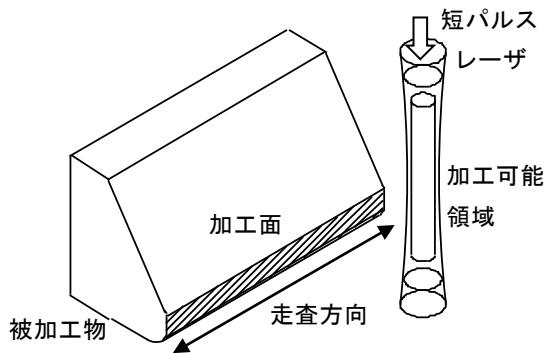


図2 レーザ加工模式図

3. 実験結果及び考察

3.1 市販工具の性能評価

図3に送り量 $18\mu\text{m}/\text{刃}$ で切削したときの切削抵抗、図4に工具すくい面、逃げ面の観察結果を示す。図3より切削初期の F_y (送り方向に垂直な力成分、背分力に相当) は F_x (送り方向に平行な力成分、主分力に相当) の3倍以上高く、切削距離 1m で大きく減少した。このときの工具の状態を図4(a)に示す。すくい面のコーティングが大きく剥離し、工具母材の超硬合金が露出した。しかし、逃げ面のコーティングが刃先として機能し、剥離後も切削を継続することができた。その後、コーティングの摩耗の進行に伴い F_y は増加し、切削距離 60m で再び大きく減少した。このときの工具の状態を図4(b)に示す。工具母材が欠損し、切れ刃稜線が後退していた。また、逃げ面のコーティングが剥離していた。ここで切削不能と判断し実験を中止した。

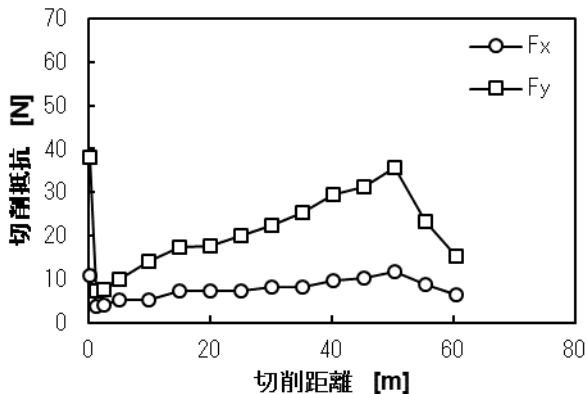


図3 市販工具の切削抵抗 ($18\mu\text{m}/\text{刃}$)

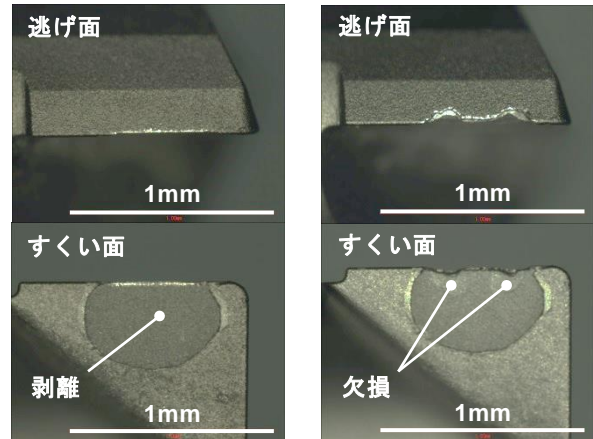


図4 工具観察結果 (送り量 $18\mu\text{m}/\text{刃}$)

図5に送り量 $90\mu\text{m}/\text{刃}$ で切削したときの切削抵抗の結果を示す。切削距離 1m ですくい面のコーティングが剥離して F_y は大きく減少し、切削距離 3m で刃先が欠損して切削不能となった。

実験結果について考察する。図6に加工前の工具を示す。加工前の工具はコーティングの厚みのため刃先が丸くなっている。刃先丸みの半径を輪郭形状測定機で評価した結果、約 $20\mu\text{m}$ であった。図7に二次元切削模式図を示す。図7(a)のようにコーティング剥離前では、刃先丸み部で切削が行われる。このためすくい角は大きく負角になり、切削初期の背分力が大きくなったと考えられる。また、すくい面接線方向に働く大きな背分力により、コーティングが剥離したと推測される。剥離直後の刃先丸みの半径は約 $5\mu\text{m}$ で、図7(b)のように刃先が鋭利になる。これによりすくい角が増加し、図3のように F_y は減少したと考えられる。剥離後の切削では、すくい面と切りくずの接触長さがコーティング膜厚 (約 $20\mu\text{m}$) 以上になると、すくい面で露出している工具母材と被削材が接触する。送り量を増加すると接触長さは長くなるため、図5のように工具は早期に欠損したと考えられる。実験結果よりすくい面のコーティングが剥離

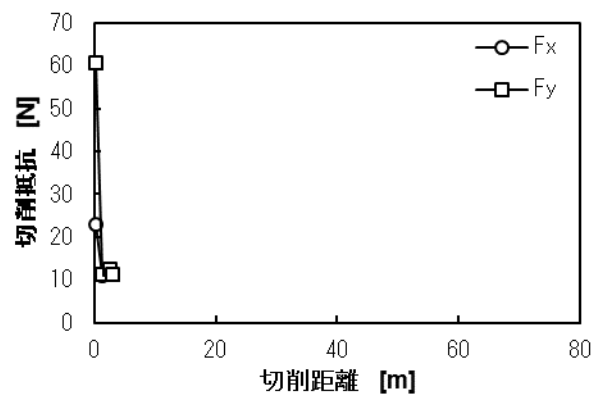


図5 市販工具の切削抵抗 ($90\mu\text{m}/\text{刃}$)

すると送り量が制限されるため、加工能率を上げられないことが分かった。

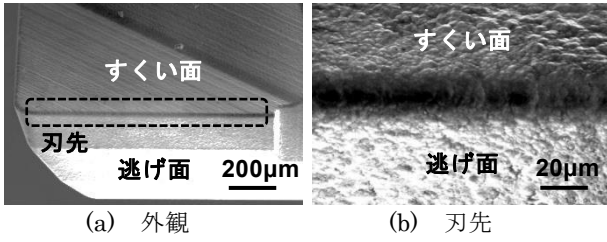


図6 加工前の工具

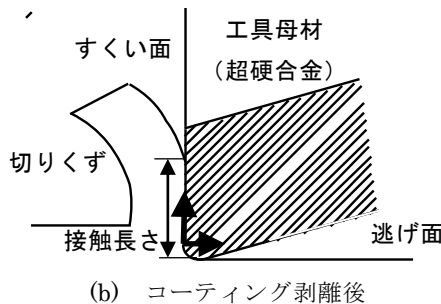
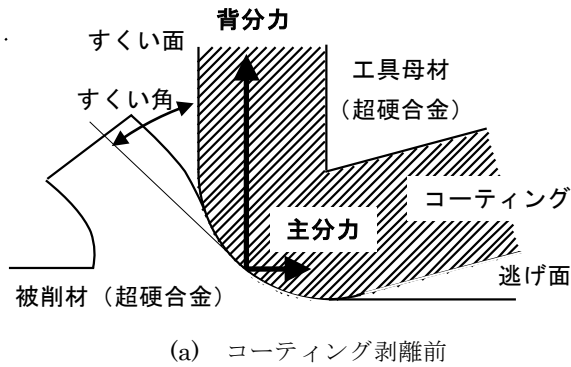


図7 二次元切削模式図

3.2 短パルスレーザ加工による刃先成形

すくい面のコーティングを保持したまま刃先を鋭利にするためレーザによる刃先成形を試みた。図8にレーザ加工後の工具を示す。EDS分析の結果、工具母材である超硬合金の露出はなかった。図9に輪郭形状測定機で評価した刃先形状を示す。試作工具の刃先丸みの半径は約5µmとなった。

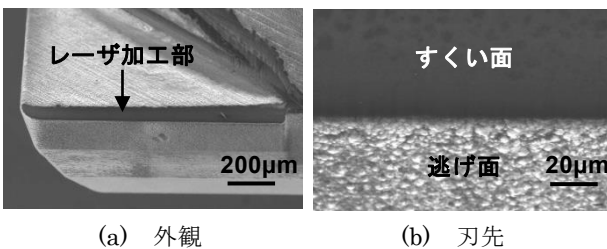


図8 レーザ加工後の工具

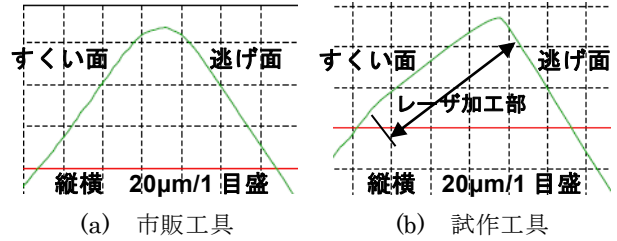


図9 刃先形状

3.3 試作工具の性能評価

前節で試作した工具を用いて切削実験を行った。図10に切削抵抗の結果を示す。切削開始時のFyは市販工具と比べて低くなり、切削初期の大きな減少も見られなかった。その後、切削距離の増加に伴いFyは増加し、切削距離45mでコーティングの剥離により大きく減少した。剥離するまでの切削距離は、市販工具と比較すると45倍となった。

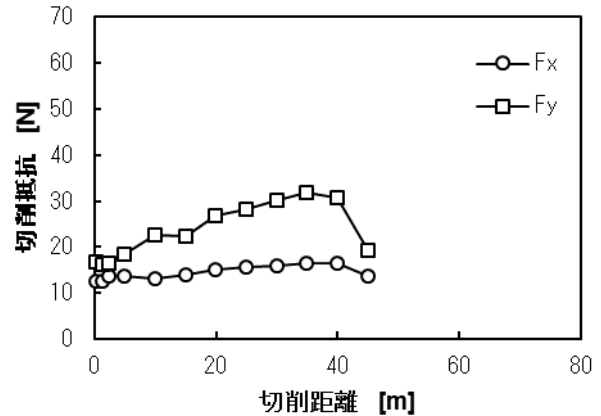


図10 試作工具の切削抵抗 (90µm/刃)

図11に試作工具の二次元切削模式図を示す。試作工具は刃先を鋭利化したことで実質のすくい角は小さくなり背分力が低減し、切削初期のコーティング剥離を抑制できたと考えられる。また、すくい面がコーティングされていることで、市販工具では欠損してしまうような送り量でも加工が可能になったと考えられる。実験結果より、すくい面にコーティングを残したまま刃先を鋭利にすることで送り量を増加した高能率加工が可能であることが分かった。

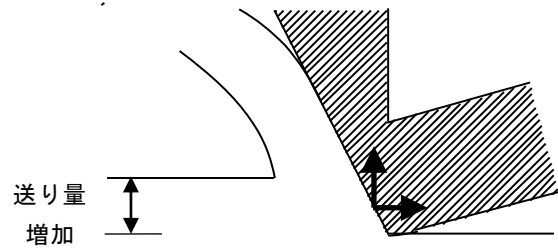


図11 試作工具の二次元切削模式図

図12に工具寿命に至ったときの被削材の除去体積の比較を示す。試作工具の除去体積は 108mm^3 となり、市販工具 ($90\mu\text{m}/\text{刃}$) の 15 倍、市販工具 ($18\mu\text{m}/\text{刃}$) の 3 倍となった。一般に除去体積は送り量、切削距離および切込み量により決定される。試作工具は送り量が大きく、切削距離も大幅に延長したため、除去体積は大幅に向上した。

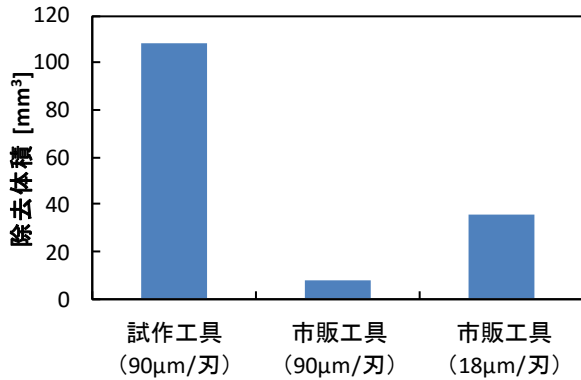
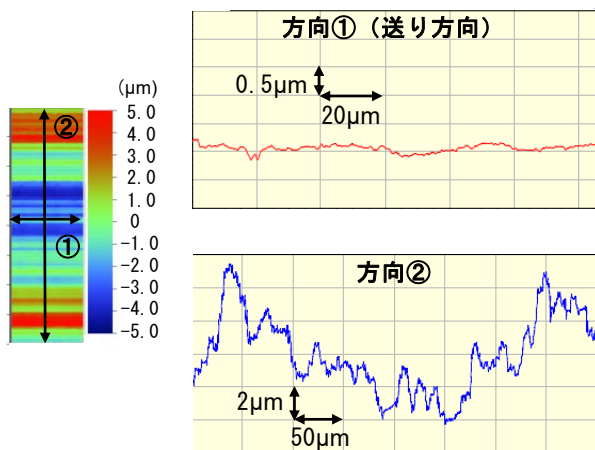
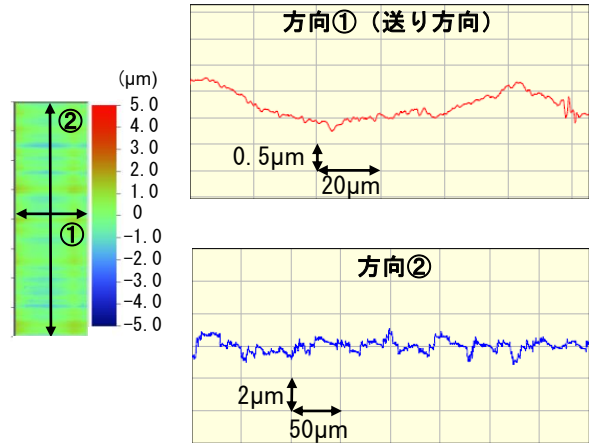


図12 被削材の除去体積の比較

図13に切削距離 20m 付近の加工面の表面粗さの結果を示す。市販工具 ($18\mu\text{m}/\text{刃}$) の表面粗さ (算術平均粗さ R_a) は $1.90\mu\text{m}$ 、試作工具 ($90\mu\text{m}/\text{刃}$) は $0.37\mu\text{m}$ となった。送り方向 (方向①) と送り方向に対して垂直方向 (方向②) の粗さ曲線进行评估し、市販工具と試作工具の結果を比較すると、方向①よりも方向②に大きな差異が見られた。一般に送り量を増加すると送り方向の表面粗さは増加するが、本加工では送り量よりも切れ刃稜線の凹凸が表面粗さに大きく影響したと考えられる。図14に工具の様子を示す。市販工具のすくい面のコーティングは剥離し、逃げ面のコーティングは一部脱落して、切れ刃稜線の凹凸が大きくなった。試作工具はすくい面のコーティングの剥離がなく、逃げ面の摩耗は進行しているが良好な切れ刃稜線を維持していた。

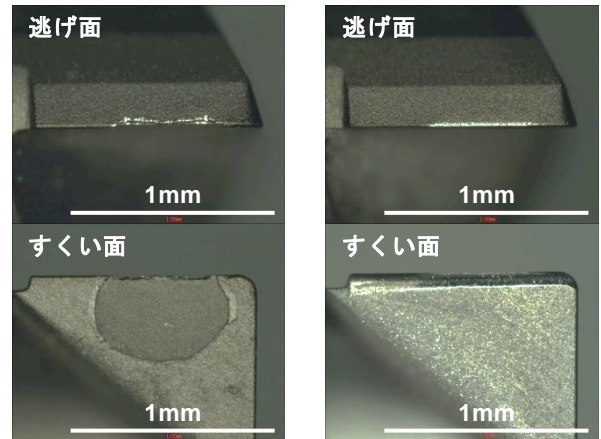


(a) 市販工具 ($18\mu\text{m}/\text{刃}$)



(b) 試作工具 ($90\mu\text{m}/\text{刃}$)

図13 加工面の表面粗さ



(a) 市販工具 ($18\mu\text{m}/\text{刃}$) (b) 試作工具 ($90\mu\text{m}/\text{刃}$)

図14 工具の様子 (切削距離 20m)

4. 結び

ダイヤモンドコーティング工具を用いて超硬合金の切削実験を実施した結果、市販工具は刃先丸みの影響で背分力が大きく、切削初期ですくい面のコーティングが剥離した。また送り量は逃げ面のコーティングの膜厚で制限され、加工能率を下げる要因の一つであることが分かった。そこで短パルスレーザを用いて工具刃先を加工することで、すくい面のコーティングを残した刃先丸みの鋭利化を試みた。鋭利化した工具は、市販工具と比較して送り量 5 倍の切削が可能となり、高能率加工を実現することができた。さらに除去体積や加工面の表面粗さも改善することを確認した。

文献

- 1) 筒井忠夫, 神谷昌志, 山田隆一: 電気加工学会誌, 9(18), 8-18 (1975-1976)
- 2) D.Suzuki et al.: *Int.J.of Automation Technology*, 7(3), 337-344 (2013)