

## 表層画像に基づく超合金の切削メカニズムに関する一考察

摂南大学 ○白水和生 ◎諏訪晴彦 寒川哲夫

### 要旨

本研究では、超合金における切削加工技術の確立を目指す一環として、被削材表層の観察を行い、ダイヤモンドコートボールエンドミルによる切削特性を明らかにする。炭化タングステン粒子の大きさが異なる2つの超合金を被削材とし、さまざまな条件で切削を行った。電子顕微鏡を用いて被削材の上面および断面から表層の観察を行った結果、WC粒子のサイズによりその破壊特性が異なることがわかった。

### 1. はじめに

超合金は、高硬度かつ高剛性であり、広い温度範囲での高耐摩耗性を持ち合わせている。そのため、耐摩耗性を要する切削工具のほか、電子光学機器に用いられる非球面ガラスレンズの成形用金型などに用いられている。一方で、その特性から難削材としても知られており、実際の製造現場では、硬度などの影響を受けない放電加工や研削加工が主に使用されている。しかしながら、微小クラックや加工変質層の発生による、品質や生産性の低下が問題視されており、近年ではダイヤモンド工具による切削加工の実用化を目指す研究<sup>1)</sup>が見られるようになってきた。

本研究では超合金における切削加工技術の確立を目指す。その端緒としてダイヤモンドコートボールエンドミルによる切削加工に注目し、切削後の被削材表面に見られる炭化タングステンで構成される層の観察を通して、切削メカニズムを考察する。

### 2. 実験方法

被削材表層の観察を行う準備のため、立形マシニングセンタを用いて超合金の切削加工を行った。切削工具には、φ2mmのダイヤモンドコートボールエンドミル（以下、ダイヤモンドコート工具）を用いた。このダイヤモンドコート工具は、母材の超合金にダイヤモンドコーティングを施したものである。被削材である超合金は表1に示すように、WC（炭化タングステン）粒子の大きさとCo（コバルト）含有量が異なるC20とF15の2種類を用意した。ただし、C20は図1に示すとおり、径30mm、内径10mm、内面に角度30度のテーパ加工が施されている円筒形状をしている。F15は、図2に示すとおり、縦68mm×横68mm×厚み9mmの平板形状をしている。これらは形状が異なるものの、切削は同じ条件となるように行われた。円筒形をしているC20は、テーパ上端から下端へ斜面に沿って、同心円状にピッチ幅0.1mmで切削した。平板形状のF15は、円筒と同様の加工を行うため治具を用いて30度の角度に設置し、ピッチ幅0.1mmで縦10mm×横10mmの範囲を加工した。切削条件は、C20では主軸回転数10,000rpm、送り量300mm/minとし、F15では主軸回転数14,000rpm、送り量280mm/minとした。この切削条件は、従前研究<sup>2)</sup>において、それぞれの被削材を加工したときに最も工具寿命が長くなったときの条件と同じである。

上記の条件で切削加工を行った被削材の表層を、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した。SEMによる観察では、切削加工面と、断面から観察した。なお、断面は、被削材をダイヤモンド刃で切断し、研削加工をしたのちに、1μmのダイヤモンドで鏡面仕上げを行っている。

表1 超合金の組成

試料名	WC 粒度	Co 量 [mass%]	HRA 硬さ
C20	粗粒（平均4μm）	20	84.6
F15	微粒（平均1μm）	15	90.1

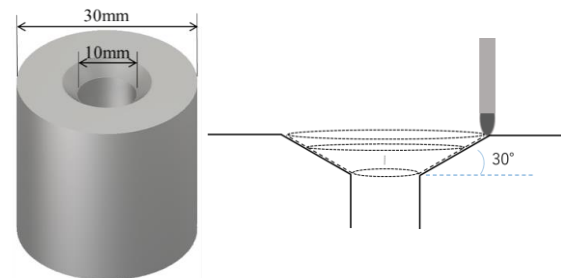


図1 C20の加工経路

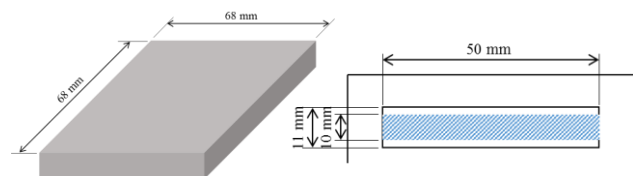


図2 F15の加工範囲

### 3. 実験方法

まず、C20の観察の結果を述べる。図3に加工面の画像を、図4に断面画像を示す。白色に映っている箇所がWC粒子であり、点在する黒色がCoである。切削加工面である図3では、図中に丸で囲んだ箇所のような、6μm程度のWC粒子の断面が確認できた。また、その周囲では、WC粒子が細かく砕かれたようなものが観察できる。加工面全体の様子から、WC粒子が押し固められるようにして、加工が行われたと考えられる。図4でも、表面付近ではWC粒子が細かく砕かれている様子が確認できる。図3(b)中に四角で囲まれた箇所では、WC粒子もCoも確認できない箇所がある。これは、WC粒子の脱落した跡と考えられる。今回の実験では、これが切削加工の影響で発生したのか、断面観察の前準備として行った研削加工や鏡面仕上げの影響によって発生したかは不明である。

次に、F15のSEM観察の結果を述べる。図5に加工面の画像を、図6に断面画像を示す。C20の画像と同じく白色がWC粒子、黒色がCoである。切削加工面である図5から、画像全体においてそのほとんどがWC粒子であることがわかる。表面を覆

う WC 粒子は、1  $\mu\text{m}$  程度の WC 粒子の断面とその間を埋める 1  $\mu\text{m}$  よりも細かい粒子である。断面画像である図 6 では、加工面で確認されたように表面付近を WC 粒子が埋め尽くし、1  $\mu\text{m}$  程度の積層が起こっていることがわかる。この層では、Co がほとんど見受けられず WC 粒子のみで構成された層といえる。

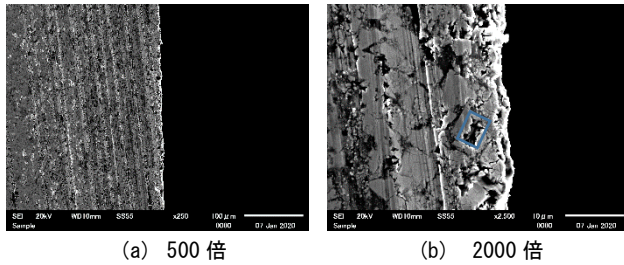


図 3 C20 加工面

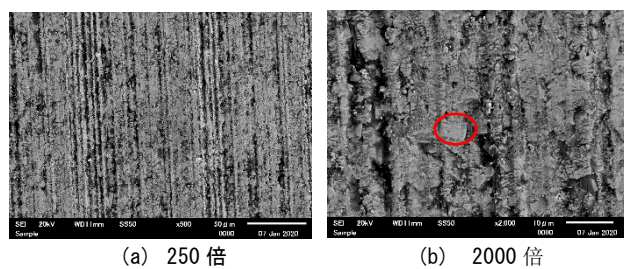


図 4 C20 断面

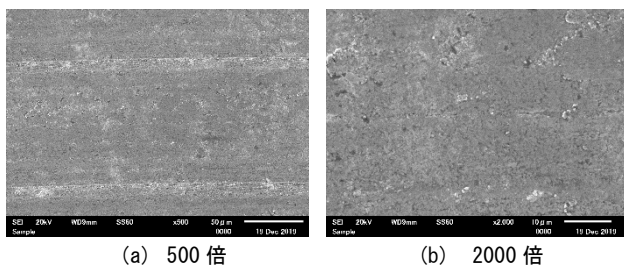


図 5 F15 加工面

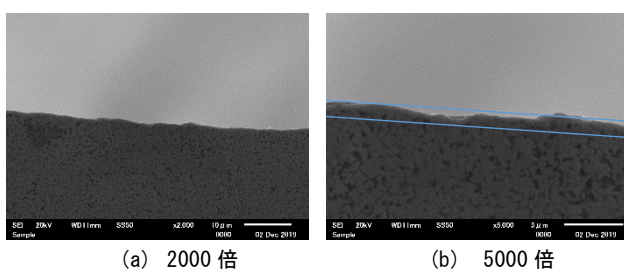


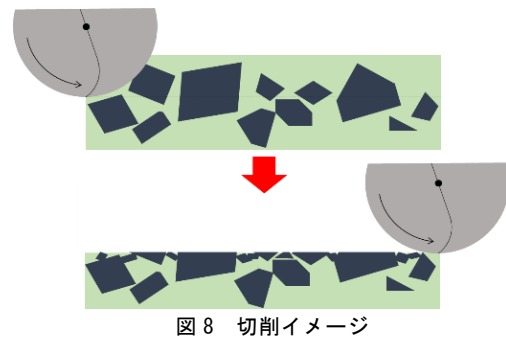
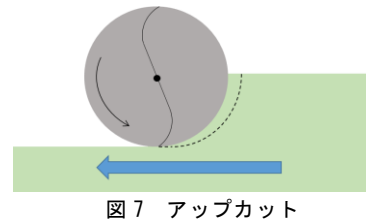
図 6 F15 断面

#### 4. 考察

SEM 観察の結果から、超硬合金の切削メカニズムに関する考察を行う。本研究では、金型用超硬合金の仕上げ加工を想定したため、切削実験はアップカットで行った。アップカットによる切削は、切削の厚さが 0 から始まる。切削はじめは、図 7 で示すように刃先が切削済みの面をこすることになる。このとき、WC 粒子の切断と粉砕が行われ、押し固められたような断面を形成したと考えられる。

C20 の SEM 画像では、6  $\mu\text{m}$  程度の WC 粒子の断面が観察された。大きな WC 粒子は、工具との衝突時に被削材内部で粒子

の一部が固定されているため、切断に近い形で粉砕されたと考えられる。F15 の加工面画像では、WC 粒子が加工面全体を覆っていた。また、断面の画像からは、表面付近で WC 粒子の積層が確認できた。これらのことから、小さな WC 粒子も大きい WC 粒子と同じように結合材の Co で保持されているが、被削材内部に埋まっている粒子が小さいため、保持力が十分でない。これにより、工具との衝突で粉砕されると同時に粒子が移動していると考えられる。また、表面付近で Co が消失したのは、粉砕された WC 粒子が移動する際により硬度の低い Co が押されるようにして、被削材内部へ移動、もしくは被削材の表面に浮上し工具表面に付着したからであると考えられる。



#### 5. まとめ

本研究では、大きさの異なる WC 粒子で構成される超硬合金を被削材とし、ダイヤモンド工具を用いた切削実験を行った。そして、その加工面と断面について SEM を用いて観察した結果、以下のことがわかった。

- ・粗粒の WC 粒子で構成された超硬合金では、大きな WC 粒子が切断に近い形で切削されている。
- ・微粒の WC 粒子で構成された超硬合金では、表面付近の層において Co が消失し、WC 粒子が積層されている。
- ・WC 粒子の大きさにより、切削メカニズムが大きく異なることが明らかになった。

以上より、超硬合金における切削加工技術の確立には、超硬合金の組成に応じた技術開発が必要であることがわかった。

#### 参考文献

- 1) M. Okada, R. Suzuki, H. Watanabe, M. Otsu, and T. Miura, Cutting Characteristics of Direct Milling of Cemented Tungsten Carbides Using Diamond-Coated Carbide End Mills with Untreated and Treated Cutting Edge, Int. J. Automation Technol., Vol.13 No.1(2019), pp. 58-66
- 2) H. Suwa, S. Sakamoto, M. Nagata, K. Tezuka, and T. Samukawa, Applicability of Diamond-Coated Tools for Ball End Milling of Sintered Tungsten Carbide, Int. J. Automation Technol., Vol.14 No.1(2020), pp.18-25