

## 表面テクスチャを有するロータリ工具の摩耗への影響

河田圭一<sup>\*1</sup>、牧俊一<sup>\*2</sup>、石川和昌<sup>\*1</sup>

## Tool Wear of Rotary Cutting Tool with Surface Texture

Keiichi KAWATA<sup>\*1</sup>, Shunichi MAKI<sup>\*2</sup> and Kazumasa ISHIKAWA<sup>\*1</sup>Research and Development Division, AITEC<sup>\*1\*2</sup>

耐熱合金などの難削材の切削加工では、低い切削速度や短い工具寿命が生産性の問題となっている。そこで本研究では、ロータリ工具のすくい面にレーザで加工したテクスチャの効果により摩擦を小さくすることで、難削材加工における工具の長寿命化を目指している。本報では、炭素鋼を対象に複合加工機を用いた駆動型ロータリ切削実験を行い、工具寿命について調べた。その結果、工具回転方向によって工具摩耗の状態が大きく異なり、適正な回転方向が存在することが分かった。しかし、昨年度の研究で得られた有意なテクスチャの効果は、本実験では認められなかった。工具温度の上昇が油膜形成に大きく影響しており、今後難削材へ適用するためには、油剤やテクスチャ形状などの検討が重要である。

## 1. はじめに

耐熱合金やステンレスなどの難削材の切削加工では、鋼材や非鉄金属の加工に比べ、切削速度が上げられないことや工具寿命が異常に短いことが問題となっている。このため、一般の加工に比べると加工時間が長くなり、生産コストに占める工具費の割合も高くなる。グローバル化したものづくりの国際的競争力を高めるためにも低コスト化が望まれており、そのためには難削材の高効率加工が必須となっている。そこで、本研究では、複合加工機を用いた駆動型ロータリ切削により、切削点への効果的な油剤供給および工具すくい面に設けたテクスチャの効果により低摩擦化することで、難削材の切削加工における工具の長寿命化を目指している。

これまで、アルミニウム合金を対象とした駆動型ロータリ切削を実施し、ロータリ工具の回転方向が切りくずとすくい面間の潤滑に大きく影響すること<sup>1)</sup>や、ロータリ工具のすくい面にテクスチャを設けることにより油剤の保持能力が向上し、高い潤滑効果が得られること<sup>2)</sup>を示してきた。本報では、炭素鋼を対象に駆動型ロータリ切削を実施し、工具摩耗について調べた結果を報告する。

## 2. 実験方法

実験は、複合加工機を用いた駆動型ロータリ切削により行った。加工実験の概略図を図1に示す。ロータリ工具の傾斜軸は複合加工機のB軸を使用して割り出した。これまでの実験結果<sup>1)</sup>より、図1に示す工具回転方向において、すくい面への油剤引き込み効果が大きいことが

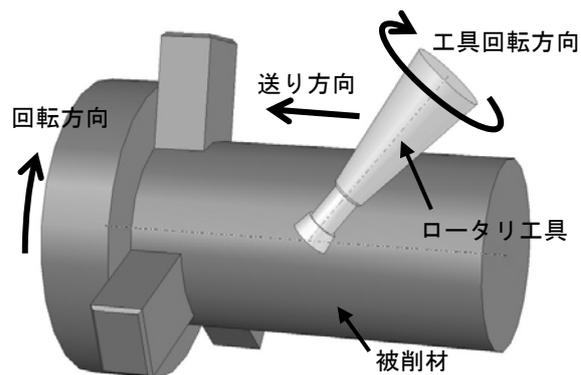


図1 加工実験の概略図

表1 ロータリ切削の加工条件

被削材	炭素鋼 (JIS S45C)
工具	工具材種: 超硬合金 工具直径: 10mm
工具回転速度	120m/min
切削速度	120m/min
送り	0.4mm/rev
径方向切り込み	0.5mm
傾斜角	30度
オフセット角	8度
切削油剤	MQL (植物油 30mL/h) OoW (植物油 30mL/h 水 1L/h) Dry

示されているので、本実験では図1に示す回転方向を正回転とした。なお、この状態で、工具回転軸をフリーに

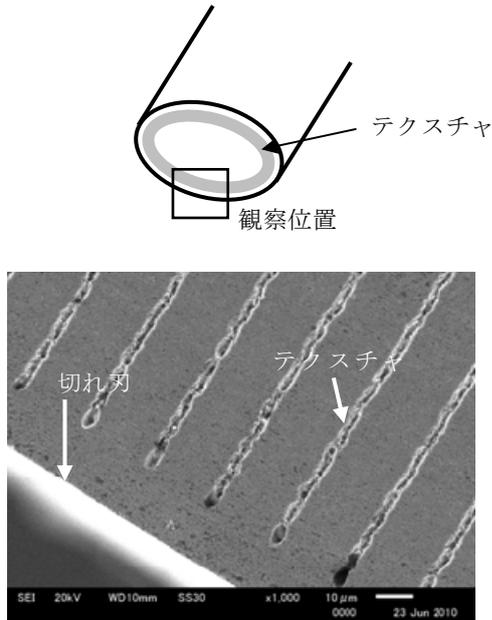


図2 すくい面上に作製したテクスチャのSEM像

して従動型ロータリ切削を行うと、切りくずとの摩擦により工具は図1に示す方向とは逆向きに回転する。工具摩耗について調べるため、被削材は炭素鋼 S45C とした。加工条件を表1に示す。本実験では、工具回転速度と切削速度の比が1になるように設定した。

ロータリ工具は、製作を簡便にするため超合金製の丸棒を使用した。すくい面となる丸棒の端面は、平面研削後、ダイヤモンドペーストにより鏡面に仕上げた。丸棒をそのまま工具として利用しているため、工具には逃げ面がない。このため、8度だけ加工点を上方にオフセットすることにより、逃げ角を設けた。これにより、すくい角は-8度となる。

図2に、すくい面（工具端面）に加工したテクスチャのSEM像および観察位置を示す。テクスチャは波長349nmのナノ秒レーザーを用いて加工した。テクスチャ形状は幅約2μm、深さ約2μmの溝形状とし、放射状（端面径方向）にピッチ20μmで加工した。切れ刃の欠けを防ぐため、テクスチャは刃先から約20μmの位置から中心方向に0.8mm加工した。レーザー加工後、溝形状のエッジ部が1μm程度盛り上がったため、ダイヤモンドペーストで再度磨いて盛り上がりを取り除いた。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 切削油剤が逃げ面摩耗に及ぼす影響

一般に、切削加工では潤滑を得るために切削油が用いられる。そこで、油剤の供給方法が逃げ面摩耗に及ぼす影響について調べるため、極微量潤滑法（以下、MQL）、油膜付水滴加工（以下、OoW）、ドライ加工（以下、Dry）

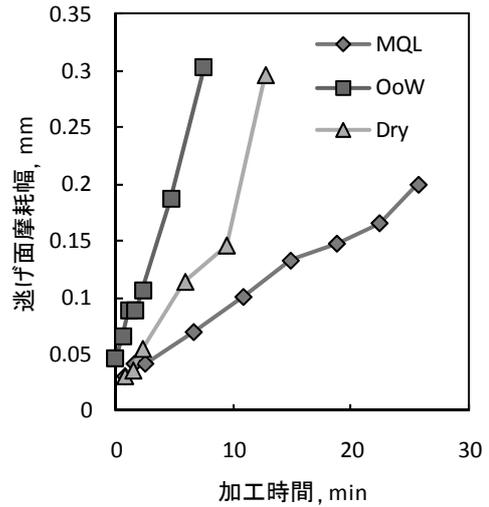


図3 逃げ面摩耗に及ぼす油剤の影響

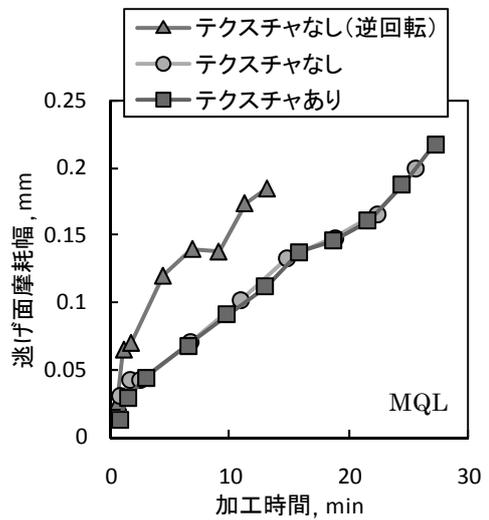


図4 逃げ面摩耗幅の変化

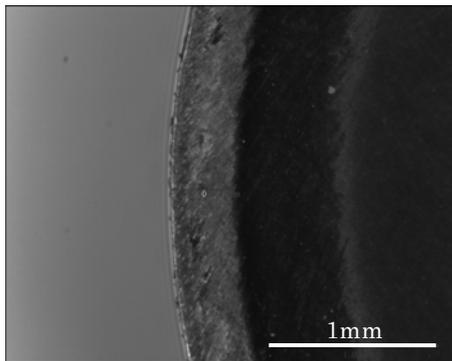
の3つの加工方法について実験を行った。なお、MQLは、1時間に30mLの植物油を圧縮空気により加工点に噴霧する加工方法である。OoWは、MQLの条件に加え、1時間に1Lの水を混ぜて噴霧する加工方法であり、本実験では最も冷却能力が高い。Dryは、油剤を全く使用しない加工方法である。工具の回転方向は正回転とし、すくい面にテクスチャのない工具を用いた。

図3に、加工時間に対する逃げ面摩耗幅の変化について調べた結果を示す。摩耗幅の増加割合は、冷却効果の高いOoWの場合に最も大きく、MQLの場合に最も少なくなった。すくい面を観察すると、OoWの場合、他の加工方法に比べ刃先の欠損が多く見られ、その結果、逃げ面摩耗の進行も速くなっていることが分かった。ロータリ切削は工具が回転しているため、通常の切削加工に比べ工具への加工熱の流入が多く、工具の温度は非常に高くなる。このため、冷却能の高いOoWでは熱衝撃が大

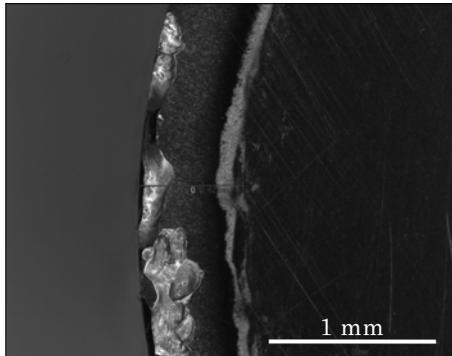
きくなり、刃が欠損しやすくなったと推測される。MQLの方がDryに比べ摩耗の進行は遅いことから、工具温度が上昇しても微量の油剤により、ある一定の潤滑効果は得られると考えられる。

### 3.2 工具の回転方向およびテクスチャの影響

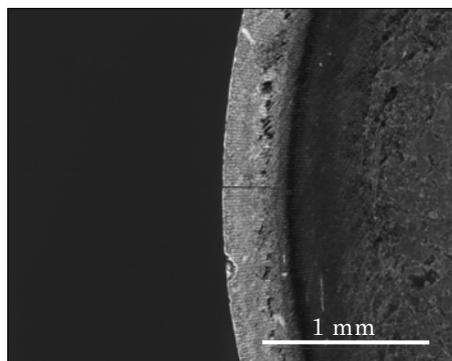
テクスチャを有する工具を用いてMQLにより加工した時の逃げ面摩耗幅の変化を測定した結果について図4に示す。これまでの実験から、ロータリ工具の回転方向が潤滑性に大きく影響し、正回転させた場合に切りくずとすくい面の間に油剤が引き込まれやすく、潤滑効果の高いことが分かっている。しかし、一般には本実験の



(a) テクスチャなし (MQL、正回転)



(b) テクスチャなし (MQL、逆回転)

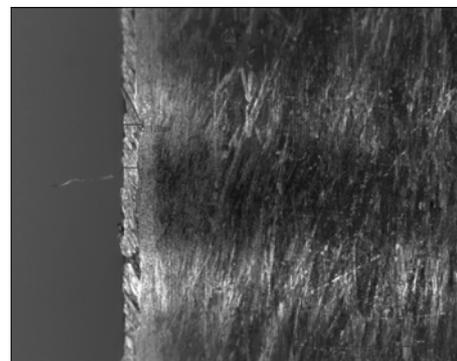


(c) テクスチャあり (MQL、正回転)

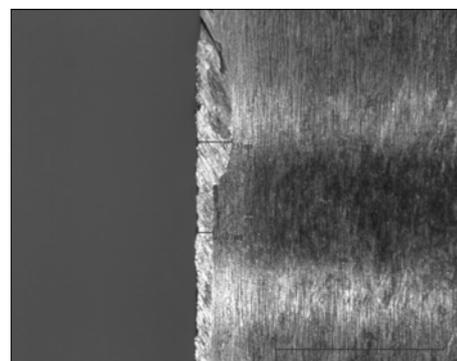
図5 ロータリ工具すくい面の観察結果  
(加工距離約90m)

逆回転でロータリ切削が行われることが多いため、比較のため工具を逆回転させたときの実験も行った。逆回転の実験にはテクスチャのない工具を使用した。

まず、ロータリ工具の回転方向の影響について考察する。逃げ面摩耗幅が200 $\mu\text{m}$ に達する時点をもとに工具寿命に達したと判定すると、正回転では逆回転に比べ2倍以上、工具寿命が長くなった。これは、これまでに行ったアルミニウム合金を対象とした実験結果と同様、正回転の方が切りくずとすくい面の間に油剤が引き込まれやすいためと考えられる。このことを確認するため、顕微鏡により、すくい面の状態を観察した。切削距離がおよそ90mのときの状態を図5に示す。(a)が正回転、(b)が逆回転した場合である。逆回転の場合、切りくずが溶着してすくい表面を引き剥がしたような大きな欠損が、工具全周にわたり観察された。一方、正回転の場合には、被削材の付着は観察されるものの、大きな欠損は見られなかった。また、切りくずの接触幅は、正回転では約380 $\mu\text{m}$ であるのに対し、逆回転では約620 $\mu\text{m}$ と大きくなった。すくい表面に付着している被削材の流出方向は、工具の回転方向で異なっており、これにより切りくずの接触長さは逆回転の方が長くなり、工具の温度上昇も高いと思われる。以上のことから、工具への被削材の溶着状態が変わり、逆回転時の工具摩耗が大きくなったと推



(a) テクスチャあり



(b) テクスチャなし

図6 10min経過した時の逃げ面の様子

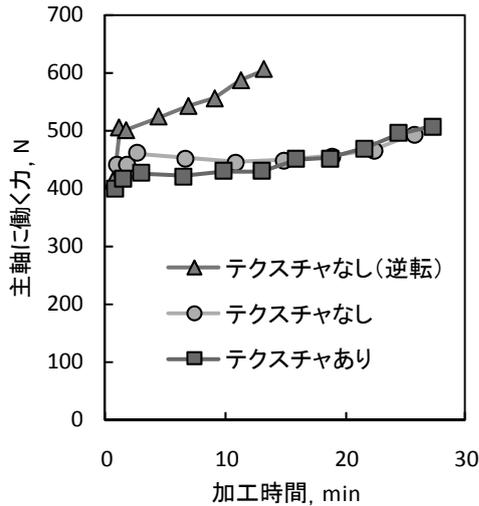


図7 主軸に働く力の比較

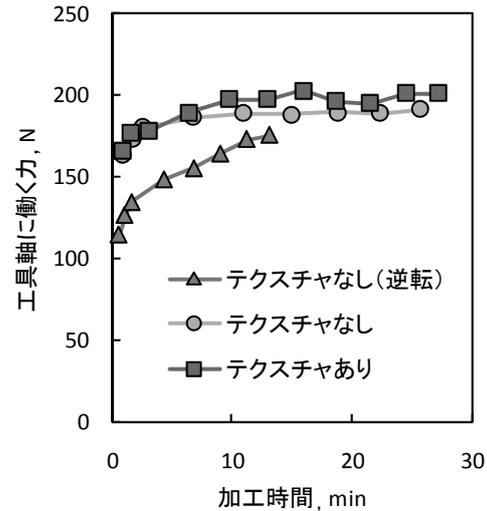


図8 工具軸に働く力の比較

測される。

次に、テクスチャの効果について考察する。図4に示したように、テクスチャの有無に関係なく工具摩耗の進行は全く同じであり、昨年度までの研究で見られたテクスチャの効果はほとんどなかった。しかし、図6に示すように、経過時間がおおよそ10minの逃げ面を観察すると、テクスチャを有する工具では比較的工具的欠けや異常摩耗は少なかった。

図5(c)に示したように、切削距離が90mの時点では、すくい面に加工したテクスチャ形状は明瞭に確認できる。しかし、加工の進行とともに、テクスチャの溝に被削材が入り込んで埋められていくとともに、刃先近傍では摩耗してテクスチャは消失した。これらの問題を解決するため、切りくずの詰まらない溝形状の検討やテクスチャの摩耗を防ぐため、コーティングなどの硬化処理が必要と考えられる。

### 3.3 切削力の測定結果

図7に、複合加工機の主軸に働く力、図8に、ロータリ工具を保持している工具軸に働く力を測定した結果を示す。

主軸に働く力は、加工初期では工具の回転方向に関係なく同程度であったが、逆回転では正回転に比べ増加の割合は大きくなった。

工具軸に働く力は、加工初期では、正回転に比べ逆回転の方が3割ほど小さくなった。これは、本実験では工具軸を30度傾斜させて傾斜切削しており、逆回転ではこれを助長する方向に切削するのに対し、正回転では打ち消す方向に切削しているためである。しかし、逆回転の方が逃げ面摩耗幅の増加が大きいため、抵抗の上昇割

合も大きくなった。

主軸や工具軸に働く力は、テクスチャの有無に関係なく同程度の値で推移しており、テクスチャの効果はほとんど認められなかった。この原因として、実験中の工具温度上昇は150℃以上と非常に高く、油剤に使用した植物油では、切りくずとすくい面の間で油膜を維持することができなかったことが考えられる。このことから、今後、温度の高い状態でも油膜を維持できる油剤の検討が必要となる。

## 4. 結び

本研究では、炭素鋼を対象に複合加工機を用いた駆動型ロータリ切削実験を行い、工具寿命について調べた。その結果、工具回転方向によって工具摩耗の状態が大きく異なり、正回転の場合に工具摩耗は小さくなった。しかし、昨年度の研究で見られた有意なテクスチャの効果は本実験では得られなかった。その原因として、工具温度の上昇が大きく影響しており、今後難削材へ適用するためには、油剤やテクスチャ形状などのさらなる検討が必要と分かった。

## 文献

- 1) 河田、糸魚川、則久、石川：日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集，4，263(2010)
- 2) 河田、糸魚川、則久、石川：2010 年度精密工学秋季大会講演論文集，185(2010)