

2023 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	刃先位置制御した切削による超硬合金へのマイクロテクスチャ創成
キーワード	①マイクロテクスチャ、②切削加工、③超硬合金

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	サムカワ テツオ 寒川 哲夫
配付時の所属先・職位等 (令和5年4月1日現在)	摂南大学理工学部機械工学科・特任助教
現在の所属先・職位等	摂南大学理工学部機械工学科・特任助教
プロフィール	最終学歴：2014年3月 摂南大学大学院 工学研究科 機械・システム工学専攻 修士課程 修了 学位：2018年3月 博士（工学）（摂南大学） 職歴：2017年4月～ 摂南大学 理工学部付 特任技師 2021年4月～現在に至る 摂南大学 理工学部 機械工学科 特任助教 研究テーマ：ものづくり現場の省エネ・低環境負荷を目指し、生産システムの運用管理から具体的な加工方法まで、幅広い視点で研究開発を進めています。

1. 研究の概要

製造業における省エネの深化や環境負荷の低減は喫緊の課題である。本研究では、最先端のものづくりで多数活用されている超硬合金製金型の製造段階における省エネ化に着目する。超硬合金金型の製造には、所望する形状への加工で時間とエネルギーを消費するだけでなく、金型としての機能性の向上を目的とした表面処理工程でも、同様に多大な時間とエネルギーを消費する。これに対し本申請課題では、超硬合金を所望する寸法へ加工すると同時に、加工面に離型性の付与が可能な加工技術を確立することによって、工程集約を目指す。具体的には、超硬合金特有の材料特性を考慮して最適化された切削加工条件と、刃先位置を従来よりも詳細に管理することによって、金属表面にマイクロテクスチャを創成する。このマイクロテクスチャによって、金型への離型性付与を図る。本成果で工程集約が可能になれば、生産性の向上や、消費エネルギーの低減に繋がる。

2. 研究の動機、目的

■ 動機

化石燃料などの資源不足と環境変動を目の当たりにしている今、製造業における省エネの深化や環境負荷の低減は喫緊の課題である。本研究課題では、最先端のものづくりで多数活用されている精密金型の製造段階における省エネ化に着目する。

高い耐熱性と硬度を持つ WC-Co（炭化タングステン-コバルト）系超硬合金は、金型材料としての利用が広がっている。ただしその特性から超硬合金を、短時間かつ高機能に加工することは難しい。一般には、放電、研削、切削加工によって所望する寸法に加工し、（場合によっては

研磨工程で加工面を平滑にしたうえで、) ショットピーニングやエッチング、コーティングなどによる表面処理工程で離型性や耐久性といった機能性を付加・向上する、というように複数の工程が必要となる。各工程では、電気エネルギーを大量に消費するだけでなく、化学薬品を使用することもあるなど、多大な環境負荷が排出されている。省エネを図るのであれば、所望する寸法への加工工程および表面処理工程を、工程集約可能な加工技術の開発が肝要である。

■ 本研究の目的

本研究では、超硬合金を所望する寸法へ高効率に加工できる切削加工に着目し、形状への加工と同時に離型性の付与・向上が可能な、加工技術の確立を目指す。具体的には、加工面に規則的に配列されたマイクロテクスチャを創成することで撥水性を向上させ、ひいては離型性を向上させる。

■ 提案手法

本研究課題に取り組むにあたり、以下の2つの要素技術の確立を目指した。

(1) 刃先位置制御によるマイクロテクスチャ創成

1 回転ごとの工具刃先位置を考慮した加工条件の調整によって、加工面に多角形状の切削痕を創成する。ボールエンドミルによる切削加工では、球状の刃が断続的に接触することで、加工面には図1左のような凹凸が創成される。この凹凸が創成される箇所を、ピックフィードごとに同一にする、あるいは一定量ずつズラすことによって、四角形や六角形の切削痕を創成する。従前研究^[1]では、 $\phi 10$ mm のボールエンドミルを用いて幅 0.5 mm の切削痕を創成した。これに対し本研究では、 $\phi 2$ mm の工具を用いて幅 0.1 mm の切削痕創成を目指した。

(2) 超硬合金の切削特性を利用したマイクロテクスチャ創成

切削加工後の超硬合金の表層には 1~数 μm 程度の破碎された炭化タングステンが密となる層 (WC 層) が存在することがわかっている (図2)。この WC 層は、切削加工時に工具刃先の摩擦によって炭化タングステン粒子が破碎され、細かな WC 粒子が表層に塗れ広がることによって創成される。そして、切削条件によって、創成される層の厚さが異なることもわかっている。そこで本研究では切削条件のうち工具送り方向に着目し、図1に示すように工具が進む方向を変化させることで、溝状の凹凸 (マイクロテクスチャ) 創成を目指した。

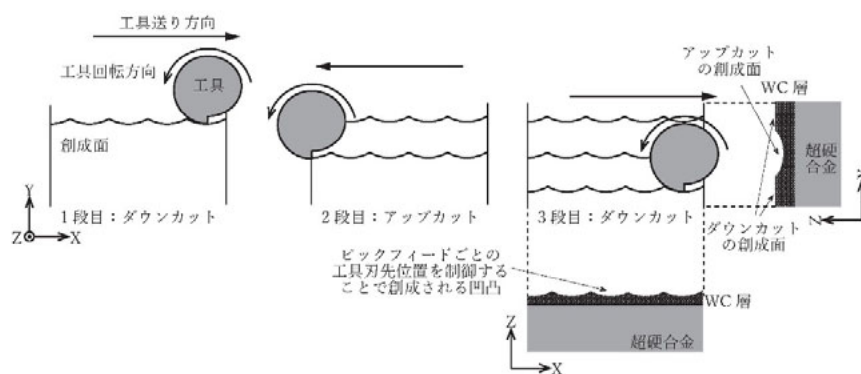


図1 刃先位置制御によるマイクロテクスチャの創成方法

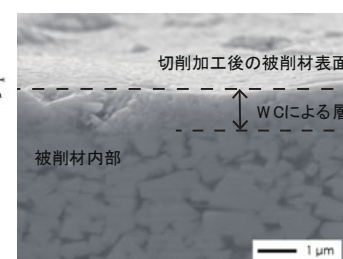


図2 超硬合金加工面断面の観察結果

3. 研究の結果

(1) 刃先位置制御によるマイクロテクスチャ創成

基礎的検討として、被削材は安価なアルミニウム合金とした。工具は $\phi 2$ mm、1枚刃のボールエンドミルを用いた。主軸回転数は 14000 min^{-1} 、テーブル送り速度は 1400 mm/min とし、このときの一刃あたりの送り量は 0.1 mm/tooth である。基準となる加工経路は、図3に示すとおりとした。A点からA'点までの移動を1サイクルとし、このサイクルを繰り返した。ピックフィードは 0.1 mm となる。ここでは基礎的な検討のため、図1で示した経路に比べ工具

刃先位置の制御が簡便な加工経路となっている。この経路において、1 サイクルでの移動量が一刀あたりの送り量の倍数となると、理想的な工具形状の転写ができた場合には図 4(a)に示すような正方形が連なる切削痕が創成される。1 サイクルでの移動量が一刀あたりの送り量の倍数とならない場合は、工具刃先と被削材の接触タイミングがサイクルごとにズレるため、正方形とは異なる切削痕が創成される。たとえば、一刀あたりの送り量の半分である 0.05 mm の移動量を各サイクルに追加すると、理論上は図 4(b)のように六角形の切削痕が創成できる。

これに対し、実際の切削実験の結果は図 5 に示すとおりであった。理論上は図 4(a)の形状ができる切削条件では図 5(a)のように、図 4(b)の形状ができる切削条件においては図 5(b)のように、ズレた六角形が創成された。細径工具では切削痕創成のため主軸回転数に比して送り速度を大きくする必要がある。そのような条件下では切削抵抗が大きく、工具の回転速度や送り速度が低下することで、切削痕形状に大きな影響が及んだと考えられる。ただし、実験結果をもとにサイクルごとの移動量を再調整すると、図 5(c)および(d)に示すように理論上の形状に近い切削痕形状を創成できた。そこで、本稿では基礎的検討として、図 5(c)および(d)を対象に撥水性を評価した。撥水性の評価には、水の静的接触角を用いた。1 μl を加工面に着液させ、1 秒後の液滴形状から接触角を測った。1 つの試料につき 5 回計測し、その平均値を算出すると、図 5(c)ではピックフィード方向からの観察では 94° 、フィード方向からの観察では 89° となった。図 5(d)では、ピックフィード方向からの観察では 97° 、フィード方向からの観察では 101° となった。切削痕形状や観察方向による顕著な濡れ性の違いは見られなかった。従前研究^[1]で創成した大きい切削痕に比べ、接触角の大幅な増大は見られなかったが、異方性を小さくできることがわかった。

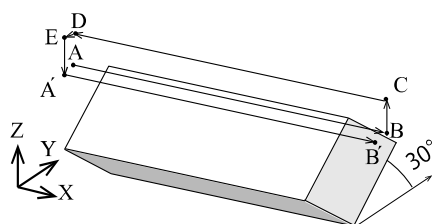
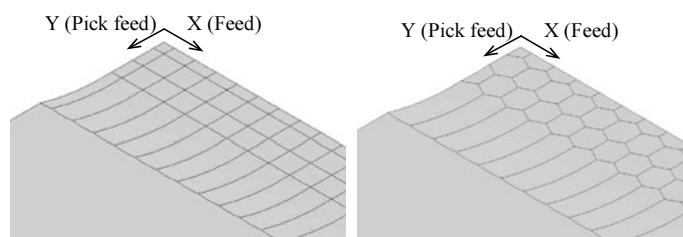


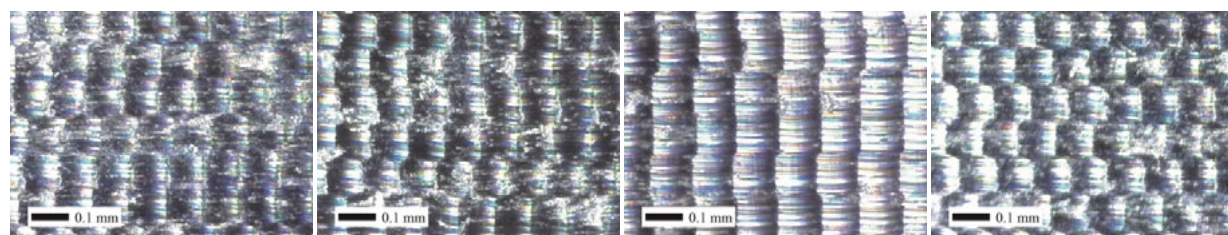
図 3 切削経路^[2]



(a) ズレなし

(b) ズレあり

図 4 理論上の切削痕形状^[2]



(a)

(b)

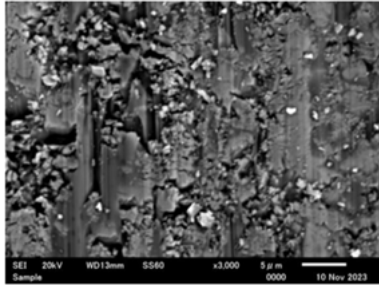
(c)

(d)

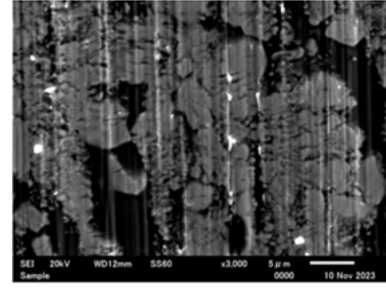
図 5 切削実験により得られた切削痕形状^[2]

(2) 超硬合金の切削特性を利用したマイクロテクスチャ創成

上記(1)の実験結果より、現状では図 1 で示した加工経路での完全な刃先位置制御は困難であることがわかった。このため、本研究期間においては加工経路の調整による超硬合金へのマイクロテクスチャ創成を諦め、その他の切削条件の調整によってマイクロテクスチャを創成できないか検討した。その結果、工具形状や摩耗状況がほぼ同じであっても工具材種が異なれば、図 6 に示すように加工面における WC 粒子の破碎具合が変化することがわかった。このような違いを活用すれば、意味あるマイクロテクスチャ創成に繋げられる可能性がある。



(a) ダイヤコート工具による加工面



(b) CBN 工具による加工面

図 6 使用した工具材種による超硬合金加工面の違い

以上のように、切削実験では想定したとおりの結果が得られず、本研究期間においてはマイクロテクスチャ創成技術を確認することはできなかった。しかしながら、小さな切削痕による機能性向上効果を確認できたほか、異なる方法でのマイクロテクスチャ創成に向けた知見を得ることができた。

文献リスト

- [1] 寒川哲夫、橋本健志：ボールエンドミルによる切削痕が濡れ性に及ぼす影響、実験力学、Vol. 23、No. 1、pp. 31-36。
- [2] 豊岡浩太、二宮大樹、佐伯蓮太、佐藤瑞起、寒川哲夫：小径ボールエンドミルによる切削痕を用いた表面テクスチャ創成に関する基礎的検討、2024 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、A51。

4. 研究者としてのこれからの展望

SDGs の達成に向け、製造業では省エネ・省資源化が強く求められています。設備更新など簡単な解決方法もありますが、経済的負担も大きいことから、あらゆる製造現場ですぐに実施できるものではありません。そこで私は、あらゆる製造現場で、追加の負担なく活用できる省エネ・省資源化技術を開発したいと考えています。今あるものを上手に使い、省エネ・省資源化を目指します。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

本研究にご支援いただき、心より感謝申し上げます。今回の研究期間においては、当初想定していた技術の完成には至りませんでしたが、ご支援により一定の成果を得ることができました。また、学会などを通して世の中に広く成果を公表したことで、研究者や製造現場で働く方々に「今あるものを上手に使い、省エネ・省資源化を実現」することに興味を持っていただくことができました。今後もこの経験をもとに研究を進め、社会貢献に邁進する所存です。