

補助事業番号 2023M-360
補助事業名 2023年度 高品位仕上げ面の機上創成を実現する金属光造形複合加工法の開発に関する 補助事業
補助事業者名 福井大学 学術研究院 工学系部門 機械工学講座 精密加工研究室
岡田将人

1 研究の概要

金属光造形複合加工法(以後、複合加工法)とは、金属光造形と切削加工を同一機上で組み合わせることで、良好な表面品位と形状精度を担保する加工法である。本加工法の切削工程は、造形機内で進行するために、一般的な切削加工とは異なる特有の加工環境となる。そのため、造形物全体に亘って高い表面品位と形状精度を担保するために、工具摩耗の抑制が望まれる。本研究では、複合加工法の切削工程における特有な環境の一要因である被削材を高温状態とした場合の切削特性について明らかにした。加えて、複合加工法への適用を見据えて、著者らが開発した工具回転型バニシング加工法を金型材料に適用した場合の有効性について検証した。

2 研究の目的と背景

金属粉末に選択的にレーザ光を照射して得られるシート状製品を積層する造形手法として、金属光造形法がある。複雑な内部構造を実現でき、これまでの加工法では成し得なかった高付加価値製品が期待できる。一方で、金属光造形法による製品の表面粗さと形状精度は、他の加工法と比べて良好な結果を得ることが難しい。そのため、切削加工などの追加工により、所望の表面粗さと形状精度を確保する対策が取られるが、内部構造に対する追加工は困難である。これらの対策として複合加工法がある。複合加工法は、金属光造形に加えて機内で切削加工を行うことで、逐次的に造形物の表面品位と形状精度を確保する加工法である。複合加工法の切削工程は、造形機内で進行するため乾式で行われ、不活性ガスの雰囲気中で進行する。加えて、近年では、造形中の熱的な形状精度への影響を抑制するために、造形物を加熱する対策が取られている。これらより、複合加工法の切削工程は、一般的な切削加工に対して特有の環境にある。そのため、これら特有の切削環境が切削特性に及ぼす影響を明らかにすることで、より高品位な製品実現が期待できる。加えて著者らはこれまでに、硬質工具を対象面上で摺動させる工具回転型バニシング加工の開発に取り組んできた。そこで本研究では、加熱環境下にある被削材の切削特性ならびに金型材料を対象とした工具回転型バニシング加工の有効性を検証することを目的とした。

3 研究内容

高品位仕上げ面の機上創成を実現する金属光造形複合加工法の開発

(URL: http://mech.u-fukui.ac.jp/~okada/JKA_2023_report.pdf)

(1) 実験方法 (加熱環境下にある被削材の切削特性)

図1に複合加工法の切削工程を模すために、被削材加熱装置を組み込んだ切削加工実験の装

置概略を示す。加工機には、3軸小型NCフライス盤を用いた。加工機テーブル上に、動力計、断熱材、ヒータを介して被削材を固定することで、被削材を加熱しながら、切削抵抗が測定できるシステムを構築した。

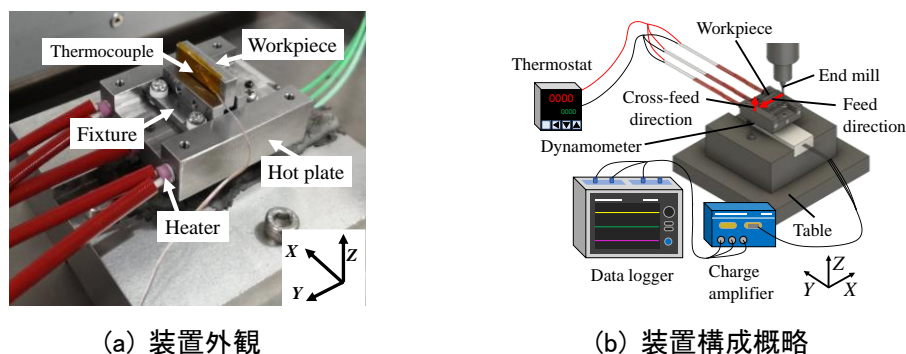


図1 加熱環境下にある被削材の切削特性解明のための装置概略

(2) 実験方法 (工具回転型バニシング加工の適用効果)

図2, 3に工具回転型バニシング加工の適用効果を検証することを目的とした実験装置概略と、工具として用いた立方晶窒化ホウ素(cBN)からなる工具のSEM画像を示す。バニシング加工は工具回転軸に対して、対象面を45°傾斜させた。図3にみるように、実験に用いたcBN工具は、平滑な先端面を有している。本実験では、工具材質(工具表面形状)が加工特性に及ぼす影響を明らかにするために、多結晶ダイヤモンド(PCD)からなる工具も用いた。両工具の表面状態を比較すると、cBNがPCDよりも平滑な工具表面形状を呈していた。

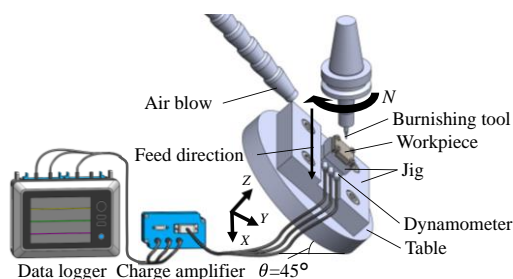


図2 バニシング加工実験装置概略

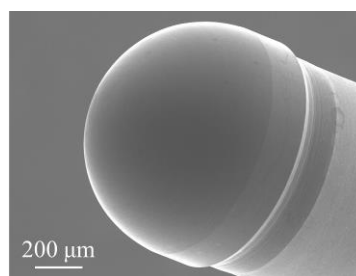


図3 バニシング工具(cBN)

(3) 実験結果 (加熱環境下にある被削材の切削特性)

図4に被削材温度が室温と200°Cの場合に得られた切削抵抗を示す。切削実験は、25 mm幅の被削材の側面加工を1パスとし、クロスフィードを付与しながら40パスの切削により得られた面を1面として、3面分の各面を評価した。各面の切削抵抗は、5, 15, 25, 35パス時の被削材中央部における切削パルスを基準に前後10パルス、合計21パルスの最大値の平均と定義した。図より、いずれの面(切削距離)においても、室温より200°Cの場合に切削抵抗が低減していることがわかる。加えて、切削距離の増加に伴い、室温時は概ね上昇傾向が認められるが、200°Cの場合は減少

傾向が認められた。図5(a), (b)に被削材温度200°Cの場合に得られた切りくず全体と拡大SEM画像を示す。室温時の切りくず外観は紙面の都合上、割愛するが、相対的に200°Cの場合の鋸歯状形態が細かく連続型に近い切りくず形態となった。

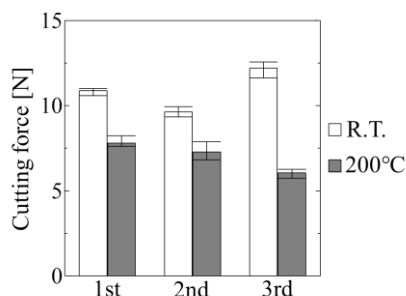
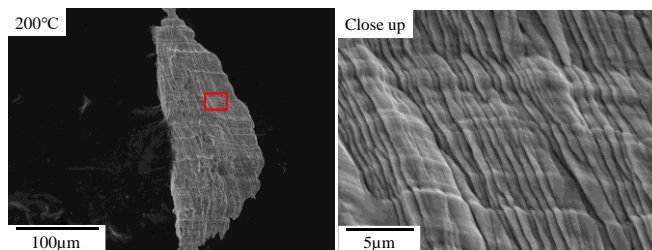


図4 切削抵抗



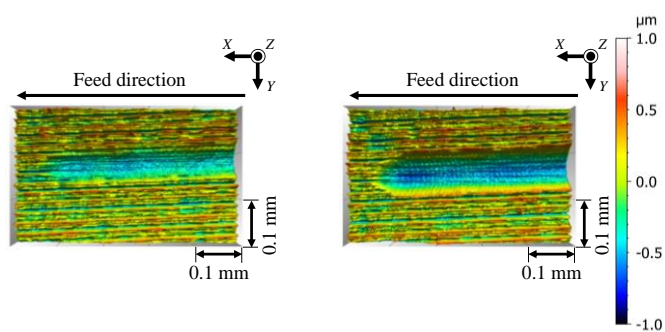
(a) 全体像

(b) 拡大像

図5 切りくずSEM画像(200°C)

(4) 実験結果 (工具回転型バニシング加工の適用効果)

図6(a), (b)にcBNならびにPCD工具により得られた加工痕周辺の3次元表面形状を示す。加工時の表層材料の流動状態を確認するために、加工はクロスフィードを付与しない1パス加工とした。工作物には、射出成形用金型などに用いられるSUS440C相当の高硬度金型鋼を用いた。図より、工具表面が比較的に平滑なcBN工具による加工痕は、PCD工具の場合と比べて浅いことがわかる。図7に両工具により創成された仕上げ面の残留応力を、切削加工による前加工面の結果と併せて示す。両工具ともに前加工面よりも圧縮側に高い残留応力が認められ、バニシング加工により金型鋼に望ましい残留応力状態が得られることを確認した。加えて、両工具で比較すると、クロスフィード方向においてcBN工具の場合に、特に高い圧縮残留応力が認められた。



(a) cBN

(b) PCD

図6 1パス加工痕周辺の表面形状

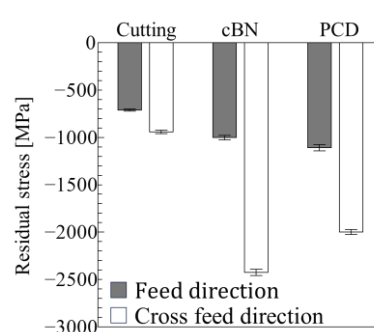


図7 残留応力

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で対象とした金属光造形複合加工法は、比較的に新しい金属製品の造形技術であり、本加工法を活用することで、これまでにない構造を有する製品の造形が、高い表面品位と形状精

度を伴って実現できる。例えば、プラスチック射出成形用の金型であれば、金型内に柔軟に水管経路を設計することができ、高精度でハイサイクルなプラスチック製品の製造が可能となり、これらの優位性は、ものづくりプロセスの低コスト・省力化に繋がる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

著者らはこれまでに、素材から不要な部分を除去することで製品形状を創成する切削加工ならびに、対象面の表層材料を機械的に流動させることで所望の表面品位を得るバニシング加工に係る研究に携わってきた。本研究で対象とした複合加工法は、金属光造形と切削加工を同時に機上で実施できる特徴を有しており、切削工程の課題解決は、著者らのこれまでの切削加工に係る知見を大いに活用できると考え、本研究の着想に至った。加えて、複合加工法において、より高い表面品位を獲得しようとする場合、機上で行える加工法として、切削工程から工具を持ち替えるのみで実施が可能なバニシング加工が現実的であると考えた。著者らはこれまでに、工具を高速回転させることで、より良好な表面品位を獲得できるバニシング加工法の開発に携わっており、その知見を活用して、新たな加工技術の組み合わせを提案できると考えた。本事業で得られた成果に基づき、今後も継続的に産業・学术界に寄与できる研究成果の社会還元に努める。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 1) 後藤蒼空, 金属光造形複合加工法の切削工程を想定した被削材加熱環境下における切削特性, 型技術者会議2024学生ポスターセッション講演論文, 投稿中.

※事前計画に則り2024年度中に別に1件の学術講演会での口頭発表ならびに、2024年度末までに査読付き学術論文または国際会議への投稿を予定している。

7 補助事業に係る成果物

本事業により得られた成果の広範な社会還元を目的に、事業者所属の研究室ホームページ内に成果を取りまとめた概要を公開した。

URL : http://mech.u-fukui.ac.jp/~okada/JKA_2023_report.pdf



高品位仕上げ面の機上創成を実現する 金属光造形複合加工法の開発

公益財団法人 J K A
2023年度 機械振興補助事業 (研究補助)
成果報告概要

福井大学 学術研究院 工学系部門
機械工学講座 精密加工研究室
教授 岡田 将人

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 福井大学 学術研究院 工学系部門

(フクイダイガク ガクジュツケンキュウイン コウガクケイブモン)

住 所： 〒910-8507 福井県福井市文京3丁目1-9

担 当 者： 教授 岡田将人 (オカダマサト)

担 当 部 署： 機械工学講座 (キカイコウガクコウザ)

E - m a i l： okada_m@u-fukui.ac.jp

U R L： <http://mech.u-fukui.ac.jp/~okada>