

補助事業番号 2019M-124

補助事業名 2019年度バニシ面を有するエンドミルによる金型鋼の高品位仕上げ面創成に関する補助事業

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 准教授 岡田将人

1 研究の概要

本研究では、高い耐久性と良好な仕上げ面性状を有する金型表面を、形状創成工程である切削加工により実現できる切削工具の優位性を実験的に明らかにした。対象とする切削工具は、刃先部逃げ面側に被削材と積極的なしゅう動状態を発現するためのバニシ面を有するエンドミル（以後、バニシエンドミル）である。被加工材はプラスチック射出成形金型に広く適用される高硬度ステンレス鋼とした。優位性の比較対象として、バニシ面部以外は同一の形状を有するエンドミル（以後、従来型エンドミル）を採用した。切削加工実験により、バニシエンドミルを用いた場合、刃先部逃げ面側のバニシ面の周方向全域に凝着物が認められ、成分分析の結果、この凝着物は被加工材に由来することを明らかにした。圧電式センサを用いて、一刃ごとの切削抵抗パルスを解析すると、バニシエンドミルの場合、従来型エンドミルよりも、被削材の法線方向の切削抵抗成分が出力電圧、出力時間ともに2倍程度に達することを明らかにした。また、これにより得られる仕上げ面粗さならびに光沢度は、バニシエンドミルを用いた場合、明確に改善していることを明らかにした。さらに、仕上げ面表層の残留応力は、バニシエンドミルを用いた場合、従来型エンドミルと比較して2倍程度の圧縮応力を示すことを明らかにした。これらのことから、バニシエンドミルは、金型形状の創成と同時に、金型面として高品質な仕上げ面を創成できると結論付けた。

2 研究の目的と背景

高精度、高品質な工業製品を、比較的到低コストで大量生産するためには、高度な金型製造技術が求められる。現状の金型の製造工程をみると、熟練作業者の手磨きにより、最終工程が担われることが多い。しかしながら、熟練作業者の担い手不足や納期の長期化により、この最終工程の負担軽減が求められている。一方、近年の工作機械ならびに工具性能の高度化により、耐摩耗性に優れた工具材料や高精度な位置・運動制御を備えた工作機械が普及しており、これまで困難とされてきた磨きレス化に期待が寄せられている。この対策の一つとして、本研究ではバニシエンドミルに着目した。一般的にエンドミルは、金型製造工程において形状創成に用いるための切削加工工程で広く用いられる切削工具である。対象とするバニシエンドミルは、従来型エンドミルに対し、工具刃先部逃げ面側に、切削加工の仕上げ面と積極的にしゅう動状態を発現するためのバニシ面を設けた工具である。従来型エンドミルの刃先部形状を変更するのみで実現するため、その優位性が立証されれば、製造現場への波及効果は高い。

本研究では、バニシエンドミルの優位性を実験的に明らかにすることを目的とし、従来型エンドミルを比較対象としながら、その切削特性を評価した。切削特性は切削抵抗、被削材凝着形態、刃先摩耗形態、仕上げ面性状とした。

3 研究内容

バニシ面を有するエンドミルによる金型鋼の高品位仕上げ面創成

(URL: http://mech.u-fukui.ac.jp/~otsu/jka/JKA_2019_report.pdf)

(1) 実験方法

図1(a), (b)に本実験で用いたバニシエンドミルならびに従来型エンドミルの工具刃先全体の拡大画像を示す。両エンドミルともに、先端輪郭形状が半球形状を呈したボールエンドミルである。バニシエンドミルの逃げ面は従来型よりも逃げ角が小さくなっており、本研究ではこれをバニシ面と定義している。このバニシ面により刃先で切りくず除去した直後の新生面に対して、しゅう動作用を付与する。なお、両エンドミルは、バニシ面部の形状が異なるのみで、他は全て同一形状とした。被削材は、プラスチック射出成形金型材料として広く用いられる高硬度ステンレス鋼とした。加工機には5軸マシニングセンタを用い、平板状の被削材を工作機械主軸より45°傾斜させたテーブル上に、圧電式動力計を介して固定した。切削形態はダウンカットとした。

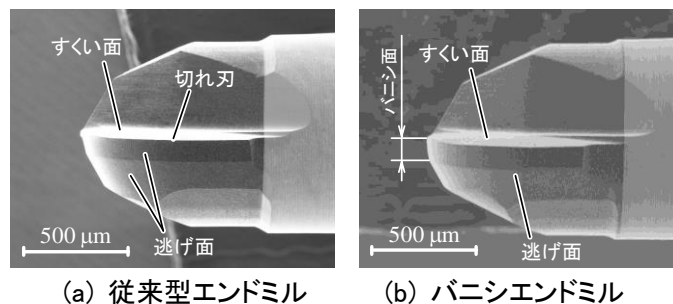


図1 本研究で対象としたエンドミル刃先拡大画像

(2) 切削後のバニシエンドミルのバニシ面状態の観察と従来型エンドミルとの比較

被削材との積極的なしゅう動を意図したバニシエンドミルのバニシ面について、切削後の状態を従来型エンドミルと比較することで調査した。図2(a), (b)に8mm四方の加工面創成後のエンドミル刃先逃げ面側の拡大画像を示す。両図より、バニシエンドミルの場合にのみ、バニシ面の周方向全域に亘って凝着物が認められた。詳細な観察結果は省略するが、本凝着物は成分分析の結果、被加工材より由来していることを確認した。

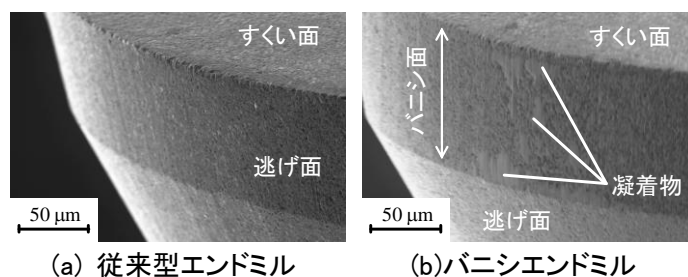


図2 切削後の両エンドミルの逃げ面、バニシ面拡大画像

(3) バニシ面が切削中の切削抵抗挙動に及ぼす影響

バニシエンドミルのバニシ面が、切削抵抗の挙動に及ぼす影響を検討するため、一刃ごとの切削より得られた切削抵抗波形を両エンドミルで比較検討した。図3に圧電式動力計より得られた両エンドミルの出力波形の代表例を示す。図中のX方向はエンドミル送り方向成分、Z方向は被加工面に対し法線方向成分を示す。図より、バニシエンドミルを用いた場合、いずれの方向成分も出力幅が2倍程度に達しており、特にZ方向成分においては、顕著な違いが認められた。前節のバニシ面への被削材凝着状態を踏まえると、バニシエンドミルは、切れ刃での切削終了後も被削材上をバニシ面がしゅう動することで、切削抵抗挙動に変化が生じるとともに、その際に作用する力成分は、切りくず生成時よりも大きいことがわかる。

(4) バニシ面が仕上げ面性状に及ぼす影響

バニシエンドミルのバニシ面が、仕上げ面性状に及ぼす影響を検討した。図4(a), (b)に切削後の仕上げ面の3次元プロファイルを示す。両図より、バニシエンドミルを用いた場合、明らかに仕上げ面上の表面凹凸が平坦化していることがわかる。この傾向は、特に工具のクロスフィード方向(Y方向)に対して顕著であった。また、詳細な結果は省略するが、仕上げ面表層の残留応力測定を実施したところ、バニシエンドミルより得られた仕上げ面表層には、従来型エンドミルの仕上げ面より明確に高い圧縮残留応力が発現していることがわかった。金属表層の残留応力は、疲労強度に影響するとされており、表層に圧縮残留応力が生じている場合、疲労強度が向上するとされている。これらのことから、バニシエンドミルは、従来型エンドミルに対し、逃げ面形状を変更するだけで、同一条件下においても金型として良好な品質を有する仕上げ面を創成することが可能であることを明らかにした。

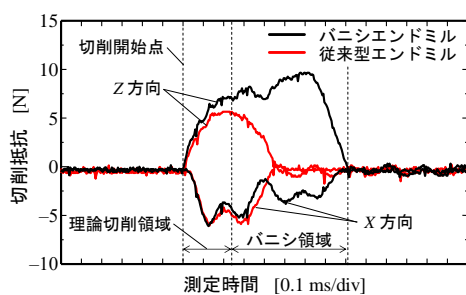
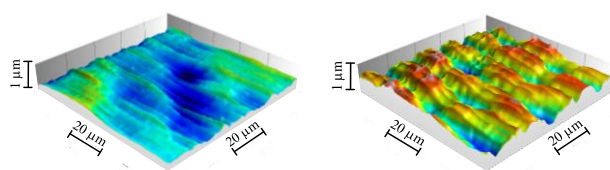


図3 切削抵抗波形の比較



(a) バニシエンドミル (b) 従来型エンドミル

図4 仕上げ面の3次元プロファイルの比較

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

本研究では、金型材料への適用を想定して、バニシエンドミルの有効性について検証した。しかしながら、エンドミル(切削)加工は、様々な工業製品の製造工程に採用されている。また、平滑で耐久性に優れる金属表面も、工業部品として有用な特性である。そのため、本事業による成果は、金型製造技術に限らず、種々の工業製品製造工程に対して、製品性能の向上や工程の短縮化に向けた取り組みに対して貢献できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまでに、切削加工、バニシング加工、塑性加工に関する研究に携わってきた。本研究で対象としたバニシエンドミルは、切削加工を行うための工具に対し、バニシング加工の作用を付加した工具である。また、バニシング加工とは、被加工材の材料流動(塑性加工)を活用した表面創成・表層改質技術である。これらのことから、本事業は、事業者のこれまで携わってきた分野に対して横断的に知見を活用した事業である。本事業で得られた成果をもとに、今後も継続的に産業・学術界に寄与できる研究成果を社会還元できるように努める。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

既に2件の学会発表を実施し、発表論文として成果を公開した。加えて、以下のとおり、2020年6月開催予定の型技術者会議2020にてポスター発表も予定している。

- 1) Masato Okada, Hayato Minamidani, Masayoshi Shinya, Hidehito Watanabe, Takuya Miura, Masaaki Otsu, Fundamental cutting characteristics of hardened die steel using cBN ball-nose end mill with burnishing surface, Proceedings of the 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2019), D07, pp. 1-2, 2019.
- 2) 岡田将人, 南谷駿斗, 新谷正義, 渡邊英人, バニシング作用面を付加したcBNエンドミルによる高硬度金型用鋼の高面品位加工, 型技術ワークショップ2019inいばらき講演論文集, D-7, pp. 132-133, 2019.
- 3) 藤井亮輔, バニシング作用面を有するボールエンドミルによる高硬度ステンレス鋼の高面品位加工, 型技術者会議2020学生ポスターセッション(2020年4月申込済み)

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/~otsu/jka/JKA_2019_report.pdf

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9-1

担 当 者: 准教授 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/~otsu/>