

報告番号	甲 第 12318 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 案内溝による切りくず制御に関する研究
(Study on chip control with guide groove)

氏 名 青木 友弥

論 文 内 容 の 要 旨

次世代の成長産業に位置付けられている自動車分野においては、地球温暖化の要因となっている CO₂ を削減するため、自動車の CO₂ 排出規制の指標を各国が打ち出している。特に欧州は厳しい CO₂ 排出指標値を掲げており、2015 年で 130 g/km、2020 年には 95 g/km まで下げている。この推移は、年平均 4 %削減するという厳しい燃費規制を意味している。欧州を中心に世界的な燃費規制の強化によって、各自動車メーカーの燃費向上の動きは活発になってきている。今後、同様のペースで推移するとすれば、ハイブリット車 (HEV) や電気自動車 (EV) 等の次世代環境対応車への移行が加速すると考えられる。ただし、日本政府が掲げている次世代自動車の普及目標において、当面の間は HEV を含む内燃機関を有する自動車の販売は 2030 年でも 60% を超え、大きなシェアは維持すると予想されている。そのため、日本全体の約 2 割を占めているとされる自動車からの CO₂ 排出量を削減することは大きな課題であり、自動車の燃費性能を改善させることが必要になっている。

この燃費改善のためには、エンジン・トランスミッションの高効率化 (パワートレインの高効率化) と車両の軽量化が重要となり、究極の燃費性能の実現に向けた方策としては(1)軽量化・小型化、(2)新機構・可変機構、(3)摩擦低減・伝達効率向上の 3 つにまとめられる。これら 3 つに着目した自動車部品・システムの開発が進められており、これらのニーズに対応した加工技術を実現しなければならない。その一方で、近年の急速に進む自動車分野を取り巻くグローバルな経営環境に対応していくためには、製造リードタイム短縮と加工コスト低減が求められる。そのため、生産性向上の観点から、(4)高速・高能率化、(5)製造工場・加工設備の自動化・無人化も必要となる。ニアネットシェイプ/ネットシェイプの進んでいる自動車部品の製造工程では、成形されたアウトプットシャフトや等速ジョイント等のトランスミッションやサスペンション部品の内/外形の仕上げ加工を行うことが多

い。このような加工部品では、流出した切りくずがシャフト部に絡み付き、その状態で加工を継続することにより、仕上げ面を傷つけ、製品不良を発生させ得る。また、仕上げ条件であるため、従来の切りくず処理方法であるチップブレーカが機能せず、切りくずの分断処理が難しくなっている。さらに今後は、加工の高速・高能率化が進めば短時間に大量の切りくずが生じるようになり、軽量化・小型化や新機構・可変機構に対応した複雑形状の部品の加工も増加することから、これまで以上に切りくず処理の重要性は高まるものと考えられる。このような背景から、本研究テーマとして切りくず処理を取り上げた。

本研究では、切りくず処理の問題を解決するため、切りくず分断に代わる方法として切りくずの連続処理に基づいた加工方法を提案する。具体的には、チップブレーカのように切りくずを強制的にカールさせるのではなく、逆に抑制して真直ぐな切りくずが流出するように制御して所望の位置へ導くことを目指す。切りくずを導いたその位置に、連続処理装置を設置することで適切に切りくずを処理・回収する。切りくず連続処理の考えに基づいたこの加工方法を、本研究では切りくず案内切削(Chip-guiding cutting)と呼ぶことにする。この切りくず案内切削の具体的な方策として、工具すくい面に案内溝(Guide groove)を施した工具(以降、溝付き工具と呼ぶ)を用いてその溝方向に沿って横向きカールの抑制された切りくずを流出させる。刃先から離れた所望の位置まで確実に導くためには、その溝付き工具で生成された切りくずを把捉し、通過させるための誘導路(Guide tunnel)も必要となる。このとき、誘導路には切りくず形状を直線状に矯正させる役割もある。刃先で生成された切りくずを誘導路の出口まで導くことで切りくず案内切削に成功する。

本研究ではこの考えを拡張することで、新たな加工法の実現に活路を見出した。所望の位置まで真直ぐな切りくずを導くことができれば、単に廃棄処理を行うだけではなく、切りくずを引っ張りながら切削することが容易となる。これにより、切りくず処理を解決するだけでなく、切削力及び切削エネルギーも低減し得る切りくず引張切削(Chip-pulling cutting)を可能にする。この切りくず引張切削を実現するためには、切りくず把捉及び張力を付与するためのローラ等を備えた装置(切りくず引張装置(Chip-pulling device)と呼ぶ)が果たす切りくず引張機能(Chip-pulling function)だけでなく、溝付き工具と誘導路が果たす切りくず案内機能(Chip-guiding function)も必要となる。この切りくず案内機能において重要なのは、溝付き工具である。切りくずは刃先で生成されるため、工具すくい面に施す案内溝形状が切りくずの流出方向及び形状に及ぼす影響は大きい。そのため、切りくず案内切削が実現可能な案内溝形状とその溝方向について調査し、切りくず案内機能を備えた切りくず引張切削による切削力及び切削エネルギーの低減効果について検証することを本研究の目的とする。

はじめに、自動車部品の製造工程で問題となる軟鋼及び炭素鋼を対象として、溝付き工具の案内溝形状とその溝方向が切りくず流出方向、切りくず形状、切削力に及ぼす影響について加工実験により調査した。単一の溝を付与した溝付き工具による軟鋼の旋削加工実験から、切削に関与する刃先に深さ 150-300 μm 、幅 100-300 μm の単一溝を形成すること

で、横向きカールの抑制と流出方向の制御が可能であることを確認した。このとき得られた結果を踏まえ、広範囲の加工条件で案内溝が切りくず生成に関与できることと、相対的に小さな案内溝でも切削幅が大きい条件で十分な案内溝の性能を発揮することを期待して、ノーズ部分の全域にわたって複数の案内溝を持つ工具を考案・開発した。この溝付き工具に加えて、所望の位置まで切りくずを導く誘導路を設けた加工実験を実施し、切込み 0.2-0.8 mm, 送り 0.06-0.24 mm/rev の範囲において、切りくずが誘導路を通過し、切りくず案内切削に成功する溝方向（案内角度）が存在することを確認した。また、切りくず案内切削の可能な加工条件の拡大を目指して、案内溝形状の変更を試みた。案内溝の深さ (Depth) 50-300 μm , 隣り合う溝との間隔 (Width) 173-693 μm , 溝側面の勾配（開き角 (Concave angle)）10-111°の範囲で製作した溝付き工具による軟鋼及び炭素鋼の加工実験によって、切りくずカールを最も抑制し、直線状の切りくずが流出する案内溝形状は、案内溝の深さ 92 μm , 間隔 200 μm , 開き角 10°であることを確認した。さらに、切込み 0.25-0.4 mm, 送り 0.12-0.25 mm/rev で行った炭素鋼の加工実験から、溝方向を本来の切りくず流出方向（溝の無い平らなすくい面を持つ工具における切りくず流出方向）と一致させるとカールは抑制され易いことも確認した。溝付き工具に加えて、所望の位置まで切りくずを導く誘導路を設けた加工実験では、軟鋼に比べて切りくずカールの生じやすい炭素鋼に対する結果から、本来の切りくず流出方向と案内角度の差（強制角度）が最大 27°であっても、切りくずが誘導路を通過し、切りくず案内切削に成功することを確認した。

次に、切りくず流出方向を溝方向に強制した際の切削力変化について調査するため、直線切れ刃を有する溝付き工具に対応した切りくず案内切削プロセスモデルを構築した。この解析モデルによる数値解析結果から、切りくず流出方向を強制するほど、主分力は増加する傾向であることを明らかにし、強制角度が 30°のとき、主分力は 56%増加することを確認した。また、案内溝側面が切りくずを押す力により相当すくい面垂直抗力は見掛けのすくい面法線方向から案内溝方向に垂直な面内で傾き、切りくず流出方向はその溝方向に強制されることを明らかにした。

最後に、切りくず案内切削の加工実験及び数値解析結果から決定した溝付き工具と加工条件（案内溝の深さ 92 μm , 間隔 200 μm , 開き角 10°, 切込み 0.4 mm, 送り 0.12 mm/rev, 案内角度 30°）を対象として、切りくず案内機能を備えた切りくず引張切削による切削力及び切削エネルギーの低減効果について加工実験及び数値解析により調査した。溝付き工具と誘導路に加えて切りくず引張装置を用いた切りくず引張切削の加工実験で、主分力を最大で 38%減少させることに成功することを確認した。この結果は、引張力による摩擦力の相殺を考慮した切りくず引張切削プロセスモデルによる数値解析と定性的に一致することが確認できた。切りくずに引張力を付与することで、引張に要するエネルギーが増加するため、加工に要する切削全エネルギーで比較すると、切りくず案内切削に対して 30%減少することが分かった。一方で、溝の無い工具と溝付き工具を比較すると切削エネルギーは 34%増加する場合がある。そのため、切削全エネルギーを溝の無い工具よりも低減させるためには、強

制前の切りくず流出方向と案内角度を一致させた上で、案内溝が浅く、開き角が大きい案内溝形状に変更（溝の深さ 92 μm 、間隔 200 μm 、開き角 10°から溝の深さ 50 μm 、間隔 173 μm 、開き角 60°への変更）することが望まれる。

以上のことから、切りくず引張切削を実現するために必要な切りくず案内切削の方策を示し、溝付き工具と誘導路に加えて切りくず引張装置を用いた切りくず引張切削方法により、切りくず流出方向及び形状の制御だけでなく、切削力及び切削エネルギーが低減することを確認し、その実用化に向けた指針を示したと考える。