

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04208

研究課題名(和文) 構成刃先を有する切りくずの三次元構造に関する研究

研究課題名(英文) Deformation behaviour of chips with built-up edges in metal machining

研究代表者

關谷 克彦 (Sekiya, Katsuhiko)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教

研究者番号：80226662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)： 切削加工技術の進歩を促すため、切削加工で生じる現象を解明することを目的としている。本課題では、切削加工で生じる切りくずに着目し、切削現象を凍結させる新たな実験手法を開発した。得られた切りくずの断面組織を観察することによって、切りくずの生成には、切りくず生成直後の材料が工具表面に凝着する構成刃先が重要な役割を果たしており、高速度下で切削しても構成刃先は消失せず、切りくずはこの構成刃先上を流れていることが示唆される結果が得られた。従来構成刃先は高速度下では消失すると言われてきたが、本研究課題により、常用切削条件下では構成刃先は薄くはなるものの消失はしなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

切削加工において、切りくず生成には構成刃先が大きな影響を及ぼしていることが新たに判明した。このことから、切削時に必要な力の大きさや、工具の寿命に大きな影響を及ぼす切削熱のより正確な予測、生成した切りくずの排出性の向上のためには、構成刃先の存在を考慮した切削モデルの構築が必要となることが判った。

また、生成された構成刃先をうまく利用すれば、希少元素が含まれている切削工具の寿命が延長され省資源化に貢献できる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)： The aim of the project is to elucidate the phenomena that occur in cutting in order to promote development of cutting technology. In this project, a new experimental method was developed to freeze the cutting phenomena, focusing on chips produced in cutting. By observing the cross-sectional microstructure of the chips obtained, it was suggested that the built-up edge, in which the material immediately after chip formation adheres to the tool surface, plays an important role in chip formation, and that the edge does not disappear even when cutting at high speeds and that chips flow on the edge. Although it is conventionally believed that the built-up edges disappear under high speeds, the results of this study show that the built-up edges do not disappear under normal cutting conditions, although they become thinner.

研究分野：加工学

キーワード：構成刃先 凝着 切りくず 切削加工

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 切削加工技術の研究は、切削現象の予測を切削加工前に行い、加工上のトラブルを防止する、エネルギー効率を向上させる、工具の使用量を削減することが究極の目的である。しかしながら現状、最適な切削条件すら全く切削を実施せずに予測することはできていない。これは切りくずが生じる数立方ミリメートル程度の領域で数十から数百マイクロ秒間に起こる切削現象そのものが明らかになっていないことに起因している。

(2) 研究代表者による令和元年度までの研究で、断続切削時に生じた切りくずの末端（工具が加工対象材料から離れる時に生成された切りくず）を観察すると切削現象が凍結され、古くからこの分野で行われてきた切削急停止法より、高切削速度下（実際に一般の加工現場で実施されている切削速度条件下）において切削現象を凍結でき、新たな知見が得られる可能性があることが示唆された。

2. 研究の目的

切削加工における切りくず生成メカニズムの解明には、工具切れ刃稜線近傍に生じる現象及び切りくず流出挙動の把握が必要不可欠と考えられる。一般に、工具と切りくず間には数ギガパスカルを超える圧縮応力が生じており、切りくずと工具は凝着し、構成刃先と呼ばれる生成物が生じることがあるとされている。本研究では、断続旋削で得られる切りくず末端部の断面を研削・研磨し、切りくず末端部の断面組織観察とマイクロビッカース硬さ測定を繰り返し実施することにより、構成刃先の大きさとその形状を把握するとともに、構成刃先上を流出する切りくずの変形の程度並びに流出方向を3次的に把握することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 断続旋削加工（直径100mm前後の丸棒の4分の1断面を除去し、残った4分の3断面を旋盤により加工）を実施し、切削途中に非切削時間を設けることにより、切りくずを分断させ、この切りくずを収集し、切りくず末端部の観察を行った。

(2) 引き続き末端部を樹脂埋め後、断面研削・研磨を実施しつつ組織観察とマイクロビッカース硬さ測定を行うことにより、構成刃先の大きさと形状を把握すると同時に切りくず流出部の組織流れと変形の程度を把握した。一つの切りくずに対して、切りくず幅方向の種々の位置で研削・研磨～組織観察・計測の手順を繰り返すことにより、構成刃先の大きさ、形状と切りくず流出に際する材料変形ならびに流出方向を3次的に把握することを試みた。

4. 研究成果

(1) 工具が加工部位から離脱する際、金属材料の延性と加工時に生じる加工熱による加工対象材料の軟化の影響で、バリ（かえり）が生じ、意図した切りくず外観を持っていない場合があった。この切削終了間際の加工対象物の塑性変形は、終了間際の切削速度を低下させることが考えられた。そこで、この変形を防止するために、図1のように工具の離脱側に変形防止用の板材を設置した。板材の厚さは3次元弾性有限要素解析で切削終了間際の材料端が弾性変形内に留まるような支えとなるように設計した。

その結果図2のように、60m/min以上の高切削速度下で、爆薬を使い急停止実験を行ったElisらの結果より短い減速距離（与えられた切削速度が完全停止するための距離、短いほど精度の高い瞬間停止が可能）で停止が得られ、十分切削条件の凍結が可能であることがわかった。

(2) 上記で開発された試験片を用いて、中炭素鋼（JIS S45C）を断続旋削加工し、切りくず末端の断面観察と硬さ測定を行った結果、きりくず自由面に近い部分（一次せん断領域のみを通過した部分、工具と切りくずの摩擦の影響がほとんどない部分）の硬さは母材の硬さの約2倍になっており、工具近傍の摩擦の影響を受けた部分の硬さは母材の4倍程度となっていた。従って、切りくず生成時に受けた塑性変形（せん断変形）によって、加工硬化した切りくずが、工具との摩擦によって更に加工硬化していることが確認できた。切りくず生成のために受けた変形によって加工硬化した部分は工具の機能を代替する十分な硬さを

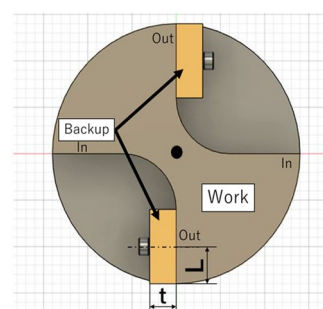


図1 試験片（加工対象物）

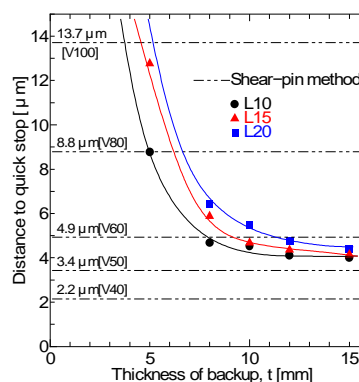


図2 本研究で開発された急停止性能

生じており、これが工具すくい面上に留まる、あるいは切りくずの流出速度より極めて遅い流出速度となっているのならば、この低速ないしは停止層の上部を切りくずが滑っていると考えた切りくず流出モデルを仮定する方が合理的と判断されるが、具体的なモデル化については今後の研究に委ねたい。

(3) 工具と切りくずの摩擦によって生じた塑性変形領域（2次塑性領域）は工具切れ刃通過後に厚くなり、その後徐々に薄くなる結果となった。この形状は、従来構成刃先（工具切れ刃を代替し実際の切りくず生成に寄与する）と判定された部分の形状と一致していた。この部分の厚さを切りくず幅方向に測定したところ、切削速度 60~200m/min の範囲のどの切削速度下においても仕上げ面を生成する部分（工具前切れ刃）近傍に生じている厚さよりも、切りくず中央部の厚さの方が厚くなっていた。また、低切削速度域で得られた切りくずのこの部分の厚さは、非常に不安定で切りくずごとに大きく異なる場合があった。従来低切削速度域で得られる仕上げ面は構成刃先のために劣化すると言われていたが、これは厚さのばらつき、言い換えると低切削速度域で得られる構成刃先は厚くなったり薄くなったりすることが原因であると考えられた。しかし、200m/min の高切削速度領域でも 20 μ m 程度でばらつきの少ない構成刃先が存在しており、消失はしなかった。

(4) 切りくず幅方向断面の組織観察を行ったところ、明らかに幅方向にも流れている組織があることが判った。なお、この領域は比較的広範囲に分布しており、組織観察の結果からは、2次元的に切りくず流出方向にのみ変形していると推察される領域は、極一部であり、大半は工具前切れ刃側か横切れ刃側のどちらかに流れた組織となっていた。従来切削抵抗予測時に 2次元切削として取り扱った力学モデルを用いてもある程度実測値と合致していたのは、幅方向に流れてもそれがある程度までは釣りあった力になり、切りくず幅方向には釣り合わない力のみが測定されているためと考えられる。

(5) 切りくず流出上流側から下流側に切りくず幅方向断面観察を実施し、微小硬さ測定を実施したところ、上記のように切削幅中央の方が厚く、両端（前切れ刃側と横切れ刃側）の2次塑性域の厚さが薄くなる傾向を持っていたが、その変化はばらつきがあり、幅方向にも不安定な挙動を示していた。2次塑性域の平均厚さを切りくず流出上流（工具先端）側から下流側に順次測定したところ、概ね送り量と同じ程度先端から離れたところで最大値となり、その後減少し、4倍程度離れたところで一定の値に落ち着いた。切削速度によって、2次塑性域の硬さや厚さは変化した。最大値を示す場所並びに一定値に落ち着く場所は変化しなかった。

(6) 切りくず流出方向の断面で観察された2次塑性域は、工具と切りくず界面近傍で微細組織となり組織が判然としない部分と一次塑性のため切りくず下流方向へ傾いた組織がこの微細組織に上流側へ引っ張られている、換言すると微細組織から摩擦力を受け、塑性変形していると考えられる部分から成り立っていると思われた。戸高らは摩擦による組織の流れを指数関数に近似できることを示しており、本研究で観察された2次塑性域の流れもこの式で整理できるか否か検討を加えたところ、概ね指数関数で流れが近似できたが、できない場合もあった。おそらくは元々の組織が粗大であった場合、変形が連続的ではなくなるためかと推察されるが、詳細は今後の検討が必要である。戸高らが提唱している指数関数で整理可能であれば、これを利用して2次塑性域が工具-切りくず接触領域内でどのように発達していくかを数値モデル化可能となり工具すくい面と切りくずの摩擦状態のモデルを新たに提案することが可能となるであろう。

(7) 本研究で用いた方法は、従来の切削急停止法より、簡便で実切削状態を従来法よりうまく凍結できる方法であると判明した。本方法では、少しの実験で膨大なデータが得られる長所があるが、得られたデータから有効な結果を得るためには、別途大規模なデータ処理手法が必要で、これについては今後の研究としたい。

< 引用文献 >

- Ellis, Kirk, Barrow, Int. J. Machine Tool Design and Research, 9, 321(1969).
Todaka, Umemoto, Tanaka, Tsuchiya, Materials Transactions, 45, 2209(2004).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kazuhide Shimatani, Yasumasa Kuroda, Katsuhiko Sekiya, Ryutaro Tanaka, Keiji Yamada
2. 発表標題 The shape of the built-up-edges in the width direction
3. 学会等名 2022 International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (2022 IC3MT) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasumasa KURODA, Katsuhiko SEKIYA, Kazuhide SHIMATANI, Ryutaro TANAKA and Keiji YAMADA
2. 発表標題 Observation of the built up edges in the region of generating the finished surface
3. 学会等名 19th International Conference on Precision Engineering, 2022 Nara (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関谷克彦, 藤原丈一朗, 田中隆太郎, 山田啓司
2. 発表標題 断続旋削を利用した構成刃先の観察法
3. 学会等名 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関谷克彦, 田中隆太郎, 山田啓司
2. 発表標題 断続旋削を利用した構成刃先の観察
3. 学会等名 精密工学会切削加工専門委員会・知的ナノ計測専門委員会2023年度ワークショップ
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------