

令和 元年 6 月 21 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05727

研究課題名(和文)断続旋削を利用した凝着物の評価

研究課題名(英文)Evaluation Method of Work Materials Adhering onto Cutting-Tool Face by Intermittent Turning

研究代表者

關谷 克彦 (Katuhiko, Sekiya)

広島大学・工学研究科・助教

研究者番号：80226662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：断続的な切削加工を旋盤で行い，得られた切りくずの断面を観察することにより，切削加工中の工具表面上を切りくずがどのような状態で変形しつつ流れ去るかを実験的に明らかにした．本研究で考案した実験方法は，従来の急停止装置を用いた切りくず採取方法と比較して簡便でかつ多くの試料を採取することが可能であった．本実験で得られた切りくずの断面を観察した結果，従来消失と言われていた切削条件下でも構成刃先(工具上に堆積した被加工材料が工具切れ刃に代わって切りくずを生成させる)が観察された．

研究成果の学術的意義や社会的意義

構成刃先(工具上に堆積した被加工材料が工具切れ刃に代わって切りくずを生成させる)は不安定な切削挙動を示し，このため加工後の表面品位が劣ると多くの切削加工に関する教科書には記載されている．しかしながら本研究の結果，表面品位が良好な場合でも構成刃先は消失せずに安定した形状や大きさを保っており，これらが大きく変動した場合に表面品位が劣化することがわかった．このことは，切りくず生成メカニズムにおいて構成刃先が主体的に機能していることを示しており，従来構成刃先は無いものとして考えられてきた切削メカニズムを修正する必要があることを示唆している．

研究成果の概要(英文)：A new method for observation of work material adhering onto cutting-tool face is proposed in order to clarify the chip generation mechanism. A three-quarter cylindrical bar was cut on an engine lathe, and chips were collected. The end of the chips and their cross sections were observed. This method was simpler than the conventional method with quick-stop devices. This study revealed that build-up edges still remained at the cutting speeds higher than those are expected by many researchers in metal cutting field.

研究分野：機械工学，切削加工学

キーワード：構成刃先 切削加工 凝着 炭素鋼 オーステナイト系ステンレス鋼 切削工具

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

切削加工における工具 被削材間の凝着は、構成刃先の成長・脱落による仕上げ面品位の劣化や、工具切れ刃のチッピングなどによる工具寿命の短命化などを招く場合があり、加工に際しては著しい凝着が生じない工具材種および切削条件の選定が必要とされている。従来、切削速度が上昇すると安定的な切削加工が実施でき、不安定要素の原因となる構成刃先の生成や工具表面への被加工材料の凝着が生じないとされてきた。

しかしながら、申請者らのこれまでの研究で、良好な仕上げ面が得られ、切削後の工具表面に凝着物が観察されない場合でも、仕上げ面形状は工具の幾何学形状と一致せず、旋盤を用いた断続加工で得られた切りくずの末端にのみ構成刃先が観察された。

このことから、凝着や構成刃先の生成は常に起こっており、切削加工に与える悪影響は、安定的に凝着物ないしは構成刃先が存在するか、これらの凝着物の大きさや形状が時間的に変化することによって不安定な現象を示しているのではないかと考えられる。

### 2. 研究の目的

切削加工における切りくず生成領域近傍の現象をより深く理解するために、工具すくい面近傍の切りくずの流れ挙動を断続旋削加工時に得られる切りくずを利用して把握する。特に、従来行われてきた2次元切削時におけるものではなく、通常加工されている状態で凝着物がどのような挙動を示すかを把握する。

### 3. 研究の方法

断続加工では工具が被削材から離脱する時に切削が突然終了する。本研究では、断続旋削時に生成される切りくずの裏面、特に一回の切りくず生成が終了する間際の裏面の観察およびこの裏面を樹脂埋めした後に研磨し断面を観察することによって、切りくずの流れを把握する。

図1に示したような被削材の外周を旋盤にて加工し、この時に得られる切りくずを対象に観察を行った。4分の1断面を除去した丸棒の一端を旋盤のチャックにより把持し、他端中心のセンタ穴をセンタで支え断続旋削加工を行い、断続加工で生じる衝撃力の影響が実験結果に現れ難くなるようにした。また、工具が被削材から離れる側の端部には黄銅板を固定し、工具離脱時に出口ばりが生じ難くなるようにした。このような被削材を用いることによって、切りくず生成は連続的に行われ、かつ、切削が瞬間的に中断されるようになっている。もし、切削開始後に生成される凝着物の大きさや形状が一回の切削途中で変動しているのならば、切削が終了する周期と凝着物の生成脱落周期は異なるはずなので、得られた切りくず末端に観察される凝着部や凝着物の形状・大きさも様々なものが観察される。一方、凝着物の形状や大きさが切削中に安定していれば、観察される凝着物は複数の切りくずでほぼ同程度のものが得られるはずである。切削条件によっては、一回の切削で分断された切りくずが生成される場合もあるが、後に示すように切りくず生成途中で分断される場合と、工具が被削材から離脱する際に生成された切りくず端の形状が異なるため、両者を容易に区別することができる。

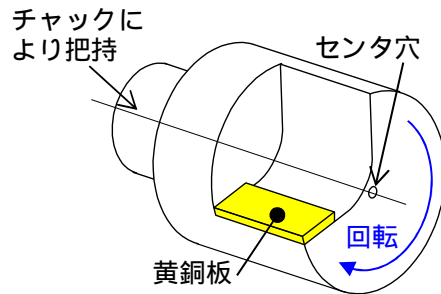
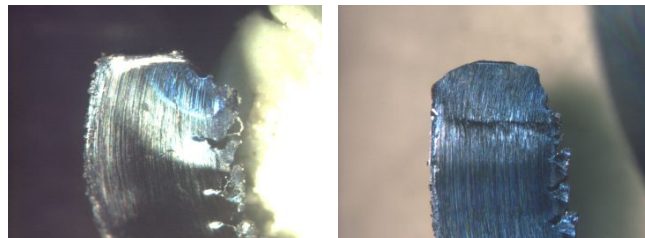


図1 被削材概略図

### 4. 研究成果

(1) 得られた切りくず端部裏面の例を図2に示す。切削中に分断された切りくず(図2(a))の末端部は尖っており、被削材の終端部(真鍮板取り付け部境界)で分断された切りくず(図2(b))は、工具のコーナ部形状と横切れ刃を反映した形状になっている。切削途中の切りくず分断は、切りくずに存在する亀裂等の欠陥を起点とし、切りくずに作用する外力によって行われるため、工具の幾何形状を反映し難く尖った形状を呈したと考えられる。一方、切削終了時の切りくずは、そこまで工具すくい面に接触しながら切りくずが生成されるため工具形状を反映したものと考



(a) 切削中に分断された切りくず端部 (b) 工具が被削材から離脱した時の切りくず端部

図2 採取された切りくずの端部

えられる。図3に切りくず末端部裏面の観察例を示す。図3(a-1)、(a-2)は40m/minの場合の2例で、二つの写真には明確な差異が見て取れる。図3(a-1)では、工具すくい面を擦過したと思われるスムーズな曲面とリボン状に薄く延ばされた部分が切りくず裏面に付着しているようであった。一方、図3(a-2)では切りくず幅方向に凹凸が激しく、切削抵抗によって工具すくい面に押し付けられていたとは思えないような様相を示しており、どちらかと言うと構成刃先の上

を擦過した切りくず裏面を見ているようであった。切りくずにより様相が異なったのは、構成刃先の不安定性を反映した結果と思われる。切削速度が 60m/min 以上となると、40m/min の時のような様相とは全く異なり、強い圧縮力によって切りくず末端部が工具すくい面に押し付けられており、切りくずと工具との接触領域を反映した痕跡が認められた。また、この接触領域では工具すくい面表面の研削痕が観察され、工具先端近傍の接触域では切りくずが固着しないしは極めて低速でしか流れていないことが推察された。図 2 及び図 3 に示した結果から、古くから行われてきた急停止装置による切削現象の凍結と同様の結果を本方法で得られることが分かった。また、従来法に比べ本方法は簡便で、多くの試料が短時間で得られるという長所を持っている。

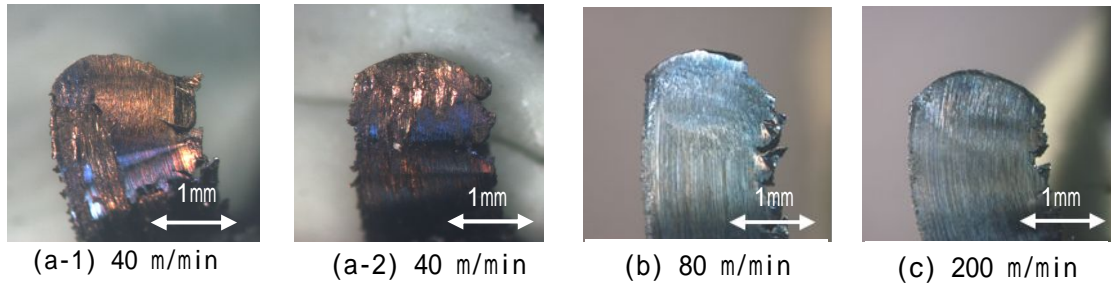


図 3 切りくず末端部裏面の例

(2) 切りくず幅方向中央部近傍の断面写真の例を図 4 に示す。各断面写真左側が工具すくい面に接触している側(切りくず裏面)である。断面はナイタルで腐食しており、工具すくい面との接触面側から厚さ方向に 2 層に大別できることが写真よりわかる。写真には出ていないが切りくず流出方向に順次断面観察を行った結果、切りくずは、工具すくい面と接触する側の層ではなく、この層の上部を流れていた。切削速度 40m/min で旋削した場合に得られた切りくずの図 4(a) では、200 $\mu$ m 程度の構成刃先と思われる凝着物(層)が観察された。また、60m/min を超える切削速度下で得られた切りくず末端部にも 20 $\mu$ m 程度の凝着物(層)が

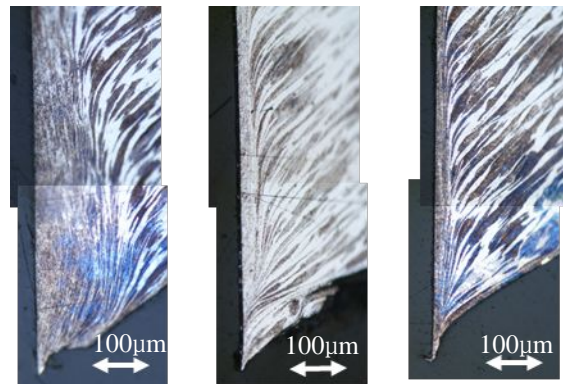


図 4 切りくず幅方向中央付近の切りくず断面

観察された。この層の厚さは、切れ刃先端から数百  $\mu$ m 程度離れた位置で最大となり、あたかも構成刃先が形状をそのままに切削速度の上昇に伴い薄くなっていくかのようなようであった。切削速度 200m/min まで切削速度を上昇させたが、構成刃先は消滅することなく存在した。切削速度が数十 m/min の場合、切りくず裏面の観察から工具すくい面と切りくずとの接触が前述のように不安定であったが、切りくずの断面観察から、凝着層(構成刃先)と切りくず流れの主要部は、構成刃先が最大の厚さを呈している山の部分を超え、構成刃先が再び薄くなる下流側から亀裂が生じ、この亀裂の長さが上流側へ長くなったり短くなったりを繰り返していることが観察された。多くの書籍には「構成刃先は成長と脱落を繰り返し...」というような記述があるが、構成刃先の全体が脱落しているようなものは本研究の範囲内では観察されなかった。また、2 次塑性域はこの凝着層の山を越える頃(切れ刃先端から 1mm を超えない程度の距離まで)にはほぼ完成しており、その後 2 次塑性域が発達したようには観察されなかった。これまでの報告では工具と切りくずの接触によって切りくず 2 次塑性域が形成されるというような記述が多くあるが、本研究で工具先端から極めて短い接触距離で 2 次塑性域の形成が完了されることが分かった。

(3) 凝着層の厚さが切りくず幅方向でどのように変化するかを断面観察に基づいて調査した結果を図 5 に示す。当初の予定では幅方向に細かく観察を実施することを目指していたが、研磨深さの同定が困難なため、研磨と観察に必要な時間が膨大なものとなったため、切りくず幅方向に三箇所だけ最大厚さを観察結果から求めた。観察箇所は、前逃げ面境界部から切りくず幅方向に 0.4mm, 0.75 mm (切りくず幅方向中央部), 1.1 mm の三箇所である。仕上げ面に悪影響を及ぼすのは前逃げ面境界部に近い側であり、中央部や横逃げ面境界部に近い側は切りくず生成の主要部ではあるが、切削仕上げ面には影響を及ぼさ

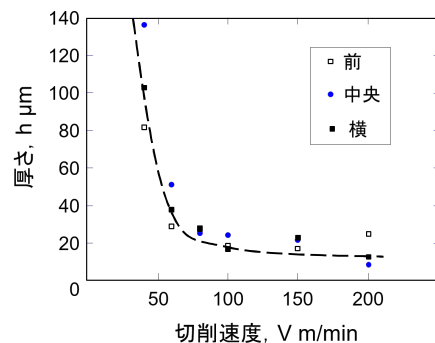


図 5 凝着層(構成刃先)の最大厚さ



ない。構成刃先ないしは凝着層の厚さは切りくず幅方向にも変化していることが分かった。本研究でも従来の報告と同様、切削速度が数十 m/min 以上で構成刃先の厚さが急激に減少しており、これらの領域で仕上げ面が良好になることも符合した結果が得られた。しかしながら、切削速度が上昇しても構成刃先が消失しなかった。古い研究では仕上げ面に影響を及ぼさないものを構成刃先と呼ばず構成層と呼んでいる場合があるが、このような定義では産業的には問題を生じないかもしれないが、恣意的な定義であり、本研究の結果から、構成刃先は薄くはなるが消失することは無いと考える方が切りくず生成機構を考える上ではより自然で正確な記述となると思われる。

(4) 上記の成果は、これまでに構成刃先について中心的に研究がなされてきた炭素鋼切削の場合であるが、本研究ではさらにオーステナイト系ステンレス鋼においても同様の実験を実施し、広い切削条件範囲で構成刃先が消失しないことを確認している。これまで様々な材料について、適切な切削条件が見つかっているが、そのような条件下では、薄く安定した構成刃先が生じており、高速で流出する切りくずはこの構成刃先上を流れ、構成刃先は工具すくい面上に固着しているか、あるいは、極低速で流れているため、工具摩耗も抑制されて実用的な加工作業が行われているのではないかと推察される。この考えの妥当性を示すために、可能な限り広い加工条件下で同様の研究を行いたいが、断面観察には研磨深さの同定が煩雑な作業となっており、なるべく無害な腐食液を使用した組織観察を実施しようとする研究対象材料が限られてくるため、観察方法の工夫が今後必要不可欠である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

K. Sekiya, R. Tanaka, K. Yamada, Observation of Build-up-edges at the end of chips, Int. conf. on Prec. Eng. 2018

関谷, 渡辺, 田翔, 山田, SUS304 旋削時に生じる凝着 - コーティング工具を用いた場合 -, 日本機械学会 第 11 回生産加工・工作機械部門講演会, 2016

田邊, 関谷, 渡辺, 田中, 山田, SUS304 断続切削時における切削モードが凝着物の安定性に与える影響, 日本機械学会 第 11 回生産加工・工作機械部門講演会, 2016

K. Sekiya, S. Watanabe, K. Yamada, Stability of the Work Material Adhering to the Cutting Edge in Interrupted Turning of an Austenitic Stainless Steel, 19th Int. Sym. on Advances in Abrasive Tech., 2016

井上拓也, 山田啓司, 関谷克彦, 田中隆太郎, パルスレーザ照射処理による被削性向上, 精密工学会秋季大会, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

3次元加工における仕上げ面生成領域, 精密工学会中国四国支部広島地区講習会, 2018

断続切削を利用した構成刃先の観察, 精密工学会切削加工専門委員会・知的ナノ計測専門委

員会ワークショップ, 2018

SUS304 旋削時の凝着と仕上げ面, 第 101 回精密工学会難削材加工専門委員会, 2018

SUS304 断続切削時における切削モードが凝着物の安定性に与える影響, 精密工学会切削加工専門委員会ワークショップ, 2017

仕上げ面プロファイルから分かること, 精密工学会中国四国支部広島地区講習会, 2017

凝着が生じやすい材料の仕上げ面 -SUS304 の場合-, 精密工学会切削加工専門委員会ワークショップ, 2016

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。