

令和 6 年 7 月 3 日現在

機関番号：54102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20419

研究課題名（和文）チタン合金切削進行中におけるWC-Co超硬のリアルタイム劣化

研究課題名（英文）Structural dynamics of WC-Co tool surface in Ti cutting process

研究代表者

児玉 謙司（Kodama, Kenji）

鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60508208

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：チタン合金のフライス切削中における、WC-Co超硬チップすくい面のリアルタイム劣化をミリ秒単位で明らかにすることを目的に次の3つを実施した。1. WC-Co超硬チップを用いてチタンプロックの側面切削実験を実施した。切削後のチップ表面劣化について顕微観察を行い摩耗状況を評価した。2. 切削劣化ダイナミクス計測で利用するフライス切削システムを立ち上げた。回転するカッターのチップ刃先に取り付けた反射板にレーザー光を照射し、切削1回転毎の反射光検出をオシロスコープ波形から確認することに成功した。3. 放射光施設において、ビームラインの調査を行い、実験レイアウトを考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究にて開発した、フライス切削中におけるチップすくい面のリアルタイム劣化をミリ秒単位で明らかにする評価システムは、乾式切削中のマクロな摩耗や割れの発生起源、進展メカニズムを解明することができる。これまでにない切削局所の劣化計測手法によって、高性能チップ開発に新たな知見を与える。本研究ではチタン合金をワークに、WC-Coをツールとして実験を実施した。これらは航空宇宙、医療、化学プラント等において幅広く利用されているチタン合金の超高速切削の実現に展開され、ひいては日本のものづくりの競争力を高めることに繋がっていく。

研究成果の概要（英文）：The following three experiments were performed to clarify the real-time wearing of the WC-Co carbide tip surface in milliseconds during milling of titanium alloys. 1. The side cutting experiment of titanium block was carried out using WC-Co carbide tips. Microscopic observation of chip surface deterioration after cutting was performed to evaluate the wear status. 2. We have developed a milling cutting system that is used to measure cutting dynamics. A reflector attached to the tip of a rotating cutter was irradiated with laser light, and the reflected light detection for each rotation of cutting was confirmed from the oscilloscope waveform. 3. At Synchrotron Radiation Facility, we investigated the beamline and devised an experimental layout.

研究分野：機械加工

キーワード：切削加工 放射光 摩耗

様 式 C-19、F-19-1（共通）

1. 研究開始当初の背景

炭化タングステン（WC）とコバルトを混合、焼結した WC-Co 超硬合金は、硬さと破壊靱性に優れることから、難削材であるチタン（Ti）合金の乾式切削チップとして利用されている。Ti 合金は高強度かつ低ヤング率、そして低熱伝導率であることから、切削中のチップ刃先には大きな切削力が発生し、高温高压状態となる。その結果、摩耗、割れが起こり生産性を著しく下げている。この課題克服のため、WC-Co 超硬合金の劣化現象を通じて、ツール性能向上を目指す顕微観察¹⁾、分光散乱²⁾、分子動力学計算³⁾による基礎的研究が展開されている。しかし既往研究は、すべて切削事後の摩耗評価および電子状態の分析や計算により行われており、これらはあくまでも事後評価、静的な状態の評価であった。

2. 研究の目的

本研究は、切削中の動的な劣化を実験的に捉えること、分析法の「静から動への転換」を核心に位置付ける。切削局所の高圧高温状態において、いつどのように酸化、拡散、構造変化が進行しマクロな摩耗・割れに至るのであるか？という学術的な問いの解明を目指す。

Ti 合金中の WC-Co 切削チップの劣化を、その場で捉える切削劣化ダイナミクス計測システムの立ち上げ、データ収集を行うことが本研究の目的である。従来法とは全く異なる新しいアプローチの切削チップ劣化研究手法を確立し、高性能チップ開発に新たな知見を与える。これは航空宇宙、医療、化学プラント等幅広い産業で使用する Ti 合金の能率的切削の実現に展開され、ひいては日本のものづくり競争力を高めることにつながっていく。

3. 研究の方法

放射光 X 線吸収分光によって、WC-Co の化学結合変化をミリ秒ごとに明らかにする。そのために、エンドミルの回転とビーム照射タイミングを同期させ、ひと削りごとの計測法を確立する。切削中のエンドミル刃先が一瞬離れるタイミングでパルス X 線を刃先に照射する。

4. 研究成果

レーザー光を用いた切削ダイナミクス計測システム

パルス X 線計測の実施に先立ち、可視光であるレーザー光を用いてシステムの立ち上げを行った。実験概念図を図 1 に示す。また実際に立ち上げた切削ダイナミクス計測システムを図 2 に示す。

フライス盤のカッターに取り付けられた 1 枚刃の切削チップの逃げ面に対して、緑色レーザー光を照射し、反射した光をフォトダイオードに入射させ、オシロスコープにより信号計測した。フライス盤の切削回転数は 1400 rpm とした。また、高速カメラで摩耗面に光照射されていることを確認しながら計測を行った。

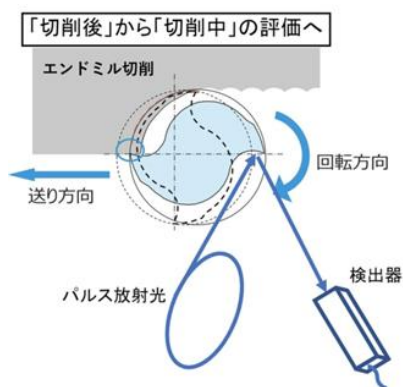


図 1. ダイナミクス計測実験概念図



図 2. ダイナミクス計測システム全体像

実験で取得した波形を図 3 に示す。縦軸が出力電圧、横軸が時間である。グラフにおいて、波形の上昇部分が反射光が光センサに入ったタイミングを表している。波形の立ち上がりから次の立ち上がりまでのパルス幅の平均を計算した結果、41.5 ms ごとに一回、反射光が光センサに検出されていることが明らかになった。カッターに 1 枚刃のチップを取り付け、1400 rpm で回転させたときの波形間隔の理論値は 42.9 ms であり、誤差率は 1.4%であることが確認できた。この誤差はフライス盤固有の回転数に由来するものであり、1 回転ごとの切削チップ逃げ面

からの反射光を計測することに成功した。チップ逃げ面へのレーザー照射の高速カメラ写真を図 4 に示す。

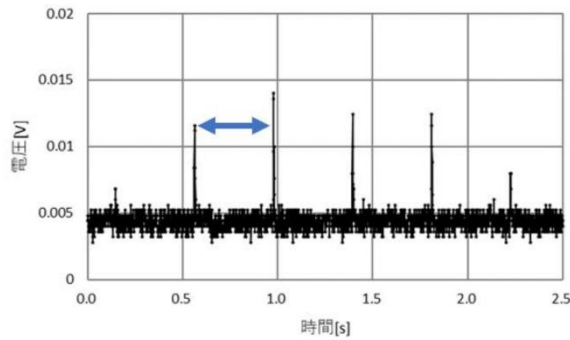


図 3. 逃げ面からの反射光計測

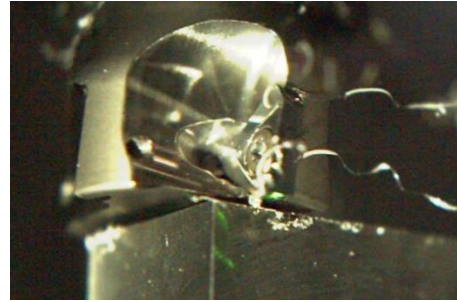


図 4. 切削中逃げ面へのレーザー照射

チタン切削条件の決定

開発した計測システムのフライス盤の切削回転数は 1400 rpm である。この切削回転数における WC-Co の逃げ面摩耗の進展について観察を行った。切込みは 0.3 mm、送り速度は 87mm/tooth である。被削材の表面を往復分切削後に、マイクロスコープと切削部分が垂直になるよう 3D プリンタで治具を設計し、対象位置にフォーカスされている状態で逃げ面摩耗幅の評価を行った。その結果、実切削距離が約 300 m に達した際に逃げ面摩耗幅の発生が確認できた。回転数 1400 rpm の切削速度は 220 m/min に相当する。そのため、切削開始後から数分間の計測によって劣化の推移を評価することが可能であることが判明した。このことから、現実的な放射光ビームタイム内で実験が可能であることが確認できた。

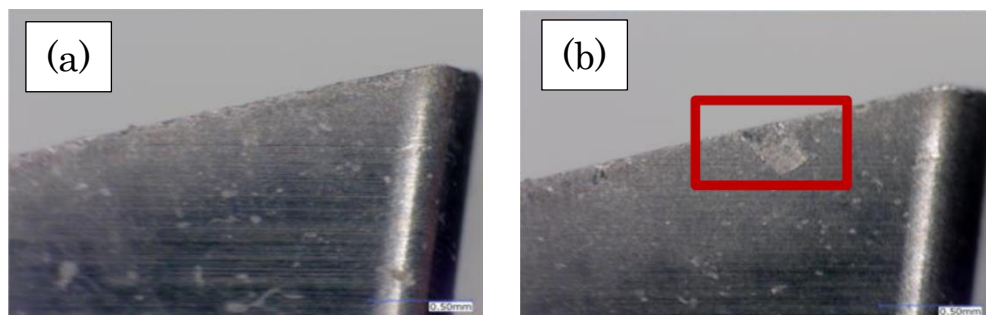


図 5. 切削チップ逃げ面の摩耗状況 (a)切削前 (b)切削距離 300 m

放射光実験の実施検討

実験実施先として、SPRING-8 および Aichi-SR を検討し、実験実施条件について調査を行ったところ、工作機械の持ち込みに関して、実験ハッチのサイズ制限および油分の使用について問題があることが指摘された。動作に油分を使用しない放射光実験環境に適応した切削システムの開発を今後実施し、今回構築したダイナミクスシステムおよび切削条件を適応し、引き続きデータ取得に取り組む。

引用文献

- [1] H. Notoya et al., 軽金属, Vol. 40 No. 11, 1990, pp.811-816.
- [2] S.Odelros et al., Wear, Vol. 376-377, 2017, pp. 115-124.
- [3] D.Bai et al., Ceramics International, Vol 42, 2016, pp. 17754-17763

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1．発表者名 等々力亮太 ，児玉謙司，須田 敦，福岡 寛，谷口幸典，和田任弘，北原 司
2．発表標題 放射光摩耗ダイナミクス計測のための実験環境構築
3．学会等名 公益社団法人 日本設計工学会 東海支部 令和5年度研究発表講演会
4．発表年 2024年

1．発表者名 小林賢佑，児玉謙司，北川大介，和田任弘
2．発表標題 チタン材精密フライス切削における超硬工具摩耗評価
3．学会等名 公益社団法人 日本設計工学会 東海支部 令和5年度研究発表講演会
4．発表年 2024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
---------	---------