

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 2 9 年 6 月 2 5 日現在

機関番号：5 4 6 0 1

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014 ~ 2016

課題番号：2 6 8 2 0 0 2 6

研究課題名 (和文) 切削局所の構造ダイナミクスからDLC摩耗の起源を解明

研究課題名 (英文) Origin of wearing phenomena of DLC surface during cutting work

研究代表者

児玉 謙司 (Kodama, Kenji)

奈良工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：6 0 5 0 8 2 0 8

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,100,000 円

研究成果の概要 (和文) : 超高真空ビームラインでの使用を念頭に置いた, ダイヤモンドライクカーボン損耗のリアルタイムな変質を計測するための分析装置を開発した。

本装置は, 真空チャンバー内部で回転するDLC円板に対して, アルミニウムピンを接触させ, その局所領域にX線ビームを照射させるものである。表面化学結合の損耗をミリ秒, ピンポイントでX線計測する際, 同時に摩擦係数変化を計測し両者の関係を調べる必要があった。そのため6 KHzのサンプリング周波数を有するトルクメーターをDLC円板回転軸に設置し, 一定荷重下におけるトルク変動から摩擦係数のミリ秒変化を求めることができた。

研究成果の概要 (英文) : Real time analysis system for wearing phenomena of DLC surface was developed. In order to investigate the wearing phenomena in millisecond, x-ray beam radiate microscopic contact point between DLC disk and Al column in ultra-high vacuum atmosphere. In addition, time variation of friction coefficient was also investigated at contact point between DLC and Al. The new system combining the x-ray technique and friction coefficient measurement give us information about damage level of chemical bonding.

研究分野：材料工学

キーワード：切削加工 X線分光 摩耗

1. 研究開始当初の背景

低摩擦かつ高硬度な性質を有するダイヤモンドライクカーボン (Diamond like carbon: DLC) を、バイト切削面のコーティング皮膜に利用する研究が行われている。DLC コーティングバイトは凝着を起こしやすいアルミニウム合金の乾式切削に有効であるとされている。しかしその乾式切削性能は切削初期に限定され、持続性が乏しいことが問題となっている。このことから現在は、まだ広く普及するには至っていない。

DLC 皮膜の摩耗現象の評価を通じ、持続性向上を目指す基礎的研究が、以下の各分野から報告されている。

・薄膜成長

DLC 皮膜とバイトの間に成長させるバッファ層により、高密着 DLC 皮膜が得られることが摩耗試験により明らかにされている。

・切削加工

DLC 皮膜の長寿命化には、切削速度、切り込み量の最適化が重要であることが報告されている。

・分光物性

切削条件の違いによるバイトすくい面 DLC の局所電子状態の変化、および、むき出しになった下地金属の出現がラマン分光により明らかにされている。

2. 研究の目的

合金の切削加工中において、DLC 被覆されたすくい面の摩耗を誘起する DLC のミクロな変質が“いつ”、“どこ”のように“始まるのか”、また進展するのか、そして摩耗を誘起する局所的構造変化はいったい何か？を明らかにすることを目的とした。

切削開始後ミリ秒後から、すくい面摩耗が進展する際の DLC 変質を、ミリ秒刻みでとらえることを目指し、その計測システムの開発を行う。DLC の炭素の酸素吸着、成膜時に DLC 内に残留する水素原子の離脱現象そして sp³, sp², アモルファスの構造変化に着目することとした。

加工スポットは金属結合を分断する高温・高圧が発生した極限環境と考えることができる。その環境における DLC の安定構造、そして、強く歪んだ DLC 格子の高温中の化学変化について調べることを目指した。

3. 研究の方法

放射光 X 線吸収分光の一種である DXAFS によって、バイトすくい面の DLC 皮膜の炭素原子まわりの化学結合変化を明らかにする。DXAFS スペクトルは、ビームが照射された DLC 皮膜表面から発生する蛍光 X 線のエネルギー分布から得ることができる。蛍光 X 線は実験配置の工夫により、放出深さを表面より約百 nm に調整する。入射 X 線を成形し、微小な加工

スポットの表面層に限定した変質を捉える。

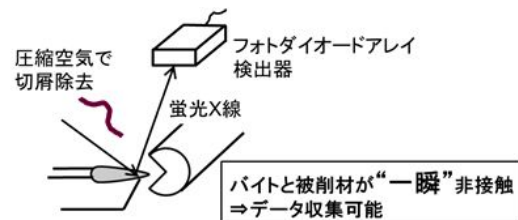
4. 研究成果

(1) 分光計測のためのサンプル作製

切削中の加工スポットの変質を時間分解で調べるためには、加工を進行させながら、工具先端と A6061 被削材の接触点に放射光 X 線をピンポイント照射する必要がある。被削材に切欠きを入れ、刃先が被削材から“一瞬”離れる時間を作る。そのタイミングで X 線が刃先に照射され、発生した蛍光 X 線を検出する。直径 60 mm の丸棒に 45 度の切欠きを入れたサンプルの作製を行った。



(a) バイト接触時



(b) バイト非接触時

図1. 分光による摩耗状態の検出方法

(2) アルミニウム切削時のバイト損傷評価の実施

切削速度 200 m/min で切欠きのついたアルミニウム棒を切削する際、旋盤主軸回転数を 1000 rpm に設定すると、データ収集時間 (バイトがサンプルに非接触となる時間) が 7.5 msec となる。この時間スケールは DXAFS 計測に十分な時間である。従って、作製した A6061 被削材サンプルに、DLC コーテッドバイトを利用し断続切削試験を実施した。その結果断続切削では 1 回転あたりのバイト損傷が顕微鏡あるいは目視レベルで検出可能となり、原子オーダーの損傷メカニズムを調査するには適さないと判断した。アルミニウムと DLC のコンタクト部に、より小さな力を連続的に与えることができ、かつコンタクト部に X 線を照射できる実験手法を新たに考えるに至った。

(3) ピンディスク法による損傷評価システムの開発

ピンオンディスク法によりアルミニウムと DLC のコンタクト部に小さな力を与え、摩

耗現象の進展を観察した。

ピンにアルミニウム (A6061), ディスクには SUS304 円板を研磨したものにアンバランスマグネトロンスパッタリングにより, DLC 膜をコーティングした。なお, SUS304 と, DLC の間には Cr, W の傾斜層を設けることにより良好な密着性を示すことが明らかとなった。また, ラマン分光, 原子間力顕微鏡およびナノインデントにより表面評価を行い, $R_a=1\text{nm}$ 以下, 硬さ 25GPa 程度の良好な DLC 表面が形成されていることが判明した。

ピンオンディスク装置は真空チャンバー内に設置する必要があったことから自作した。DC モータで駆動する回転ステージにディスクを取り付け, DC サーボモータによって押しつけ荷重を一定としながらアルミニウムピンを接触させるシステムを開発した。3つのアルミニウムピンで DLC 表面にコンタクトする。

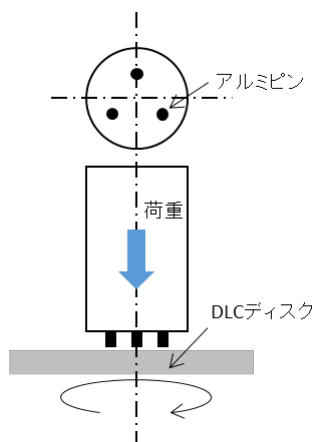


図2．ピンオンディスク試験システム

(4) アルミニウムと DLC 界面の摩擦評価

開発したピンオンディスクシステムを用いて摩擦係数の評価を行った。DLC ディスクを取り付けた回転軸にトルクメータを設置しトルク変動を計測した。またアルミニウムピンの押しつけ力を計測した。これら計測値から摩擦係数を得ることができた。コンタクト直後から, 徐々に摩擦係数が増加する結果が得られた。図3に押し付け荷重 3.0N を与えた摩擦係数の時間変化の一例を示す。

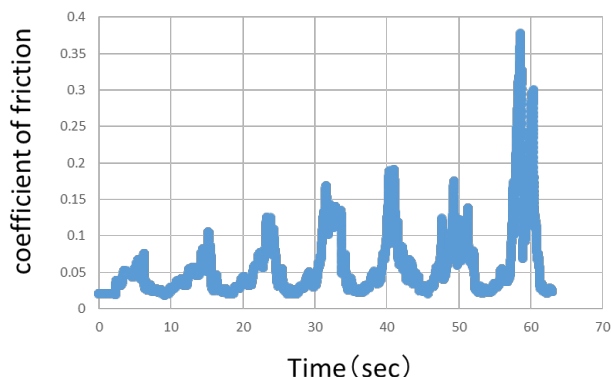


図3．アルミニウムと DLC の摩擦係数

(5) DLC 損耗のリアルタイム変質計測システムの開発

超高真空ビームラインでの使用を念頭に置いて DLC 損耗のリアルタイム変質を計測する装置を開発した。本装置は自作ピンオンディスクシステムを真空チャンバー内部に組み込むことにより作製した。回転する DLC ディスクにアルミニウムピンを接触させ, 損耗箇所 X 線ビームを照射させるものである。

大気中に設置された DC サーボモータの回転を真空ペローズ付の直線導入器に与えることでピンを動作させる。また大気中に設置された DC モータの回転を磁気シールを介して真空内のディスクに与える。X 線照射はチャンバーに取り付けられたゲートバルブの開閉により制御する。これらは SUS304 六方管ポートに取り付けられ, 計測機器以外には観察窓や真空ポンプが接続される。

X 線によるリアルタイム計測により表面化学的結合の損耗をミリ秒, ピンポイントで計測する際, 同時に摩擦係数変化を計測し両者の関係を調べる必要があった。そのため 6KHz のサンプリング周波数を有する高速トルクメータを試料回転軸に設置し, 一定荷重状態でのトルク変動から摩擦係数のミリ秒変化を求めることができた。

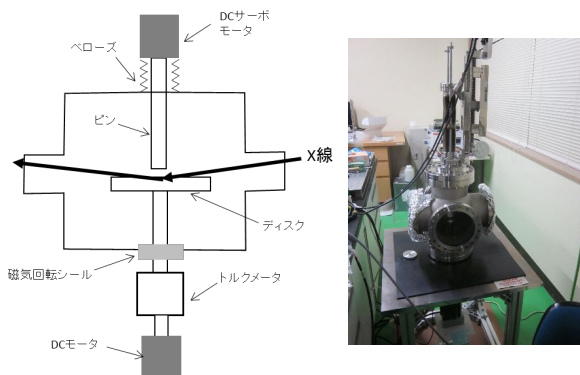


図4．DLC 損耗リアルタイム計測システム (左: システム概念図, 右: 実機)

研究の進展により, 摩擦係数のミリ秒変化を DXAFS から明らかにする実験システムの開発が完了した。放射光ビームラインに接続し, X 線吸収実験を行うことで表面の化学結合の損耗状態のミリ秒変化を摩擦係数のミリ秒応答と比較してリアルタイム現象を見ることが可能になる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 1 件)
福田龍一, 島田大嗣, 井上智弘, 児玉謙司,

実験装置「動的摩耗分析システム」加工部の
設計および製作について，総合技術研究会
2017，2017 年 3 月 19 日，東京大学本郷キャンパス（東京）

6．研究組織

(1)研究代表者

児玉 謙司（Kodama Kenji）

奈良工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：60508208

(4)研究協力者

福田 龍一（Fukuda Ryuichi），島田 大嗣
（Shimada Hirotsugu），井上 智弘（Inoue
Tomohiro），古株 健人（Kokabu Kento），
梶原 聖平（Kajiwara Kiyohira）