

補助事業番号 2023M-349

補助事業名 2023年度 鋼表面におけるダイヤモンド結晶成長メカニズムの解明補助事業

補助事業者名 山口大学大学院 創成科学研究科 白石僚也

1 研究の概要

高性能のダイヤモンド工具を安価に製造することを目的に、『ステンレス鋼表面にドリル加工を施すとダイヤモンドの直接蒸着が可能になるメカニズム』について調べた。結果、ステンレス基板表面に元から存在した炭素が、後からダイヤモンド原料として供給される炭素原子の基板内への拡散を防ぎ、表面での核生成及び結晶成長を助けたことが分かった。また、無加工面における結晶成長の形態は、ランダムに生成された核がその場で成長するものだけということがわかった。

2 研究の目的と背景

ダイヤモンド工具は、自動車・航空機産業におけるCFRPの加工などに用いられ、その利用が大きく広がっている。材料をダイヤモンドコートする手法として『化学気相成長法(CVD法)』がよく知られているが、一般工具母材である鋼に直接蒸着できないという問題がある。その原因は以下の(a), (b)の2点であることが知られている(D. Damm et al., 2017)。

- (a) 供給された炭素は鋼の結晶格子内に侵入(浸炭)するため、表面に堆積しにくい。
- (b) ダイヤモンドと鋼の熱膨張係数の差によって、CVDプロセス終了後に冷却される際、ダイヤモンドに圧縮応力がかかり、割れて剥離する。

上述の背景の中、我々はドリルでSUS304基板にドリルで溝のパターンを付けるとダイヤモンドを直接蒸着できることを示した。また、量子化学計算により基板に含まれる Cr, Ni が炭素拡散バリアとしてはたらくことを示した(R. Shiraishi et al., 2023)。

以上のことから、ドリル加工によってCr, Niの炭素拡散バリア機能が発現すると考えられるが、そのメカニズムは明らかになっていない。そこで仮説として、『元のステンレス鋼ではCr, Ni成分が偏在しており、ドリル加工を行うことで均一化される』と考え、これの検証を第一の目的とした。一方、先行研究(R. Shiraishi et al., 2022)において、ダイヤモンドは溝と溝の間の無加工面にも蒸着された。そこでこの無加工面におけるダイヤモンドの成長形態を明かにすることを第二の目的とした。

3 研究内容

<http://www.mech.yamaguchi-u.ac.jp/wp-content/uploads/2022/04/3b4b58e36f327a42f47ee3d84ee752c3.pdf>

(1) ドリル加工により鋼上へのダイヤモンド蒸着が可能になるメカニズムの解明

『元のステンレス鋼ではCr, Ni成分が偏在しており、ドリル加工を行うことで均一化される』という仮説を検証するため、SUS304基板のドリル加工を行っていない断面と、ドリル加工を行った表面の組成をエネルギー分散型X線分析(EDS)により調査した。結果、Cr, Ni成分は均一に分布しており偏在性は確認されなかった。

一方, 図1に示す表面の組成において, 10~24%の炭素(C)が検出された. これは表1に示す SUS304の公称組成の炭素含有率「0.08 % 以下」と比較して非常に多い. 基板上に存在する炭

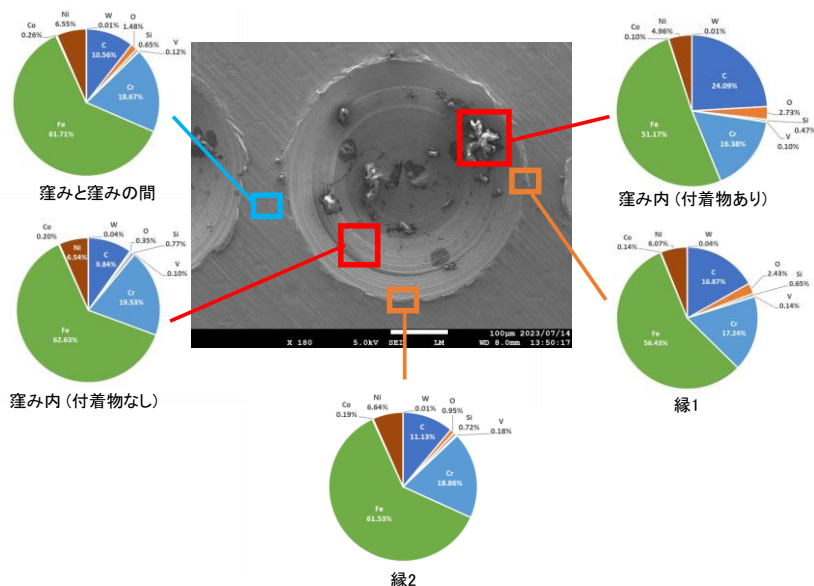


図1. EDSによるSUS304表面(ドリル加工あり)の組成分析結果.

表1. SUS304の公称組成. (ステンレス鋼(SUS)情報専門サイト, susjis.info)

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他
含有率 (%)	<0.08	<1.00	<2.00	<0.045	<0.030	<8.00- 10.50	18.00- 20.00	63.2- 70.8

素は, CVDによって外から基板に供給される炭素が基板内部に拡散することを防ぐ拡散バリアとしてはたらくことが知られている(V.F. Neto et al., 2008). このことから, 基板表面に存在する炭素が, 鋼上へのダイヤモンド蒸着を可能にしている可能性が示された. 基板表面に大量に炭素が存在する原因については, 現在のところ明らかになっていない.

次に元から基板上に存在した炭素が後から供給される炭素の拡散バリアになっていることを確認するため, ダイヤモンド蒸着後の試料を切断し, 断面を透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて観察した. その結果, ダイヤモンド/基板界面にアモルファス炭素層が存在することが確認された. このことから, ステンレス基板表面に元から存在した炭素層が, 後からダイヤモンド原料として供給される炭素原子の拡散を防ぎ, 表面での核生成及び結晶成長を助けたことが確認された.

② 溝と溝の間の無加工面におけるダイヤモンド成長過程の解明

無加工面における結晶成長過程を明らかにするため、先行研究と同様の液中プラズマCVD法 (R. Shiraishi et al., 2022) を用い、成長時間を10分、15分として(それぞれ別のサンプル)、ドリル加工で溝のパターンをつけたSUS304基板にダイヤモンド蒸着実験を行った。その後、形成されたダイヤモンドを走査型電子顕微鏡(SEM)およびラマン散乱分光法により観察した。

結果を図2に示す。図2に示すように、成長時間が10分から15分に増加すると結晶が大きくなり((b), (e)), ラマンスペクトルに見られるダイヤモンド固有のピークが大きくなった((c), (f))。これらの結果は時間が経つにつれてダイヤモンドが成長していることを示す。結晶成長の進み方については、図2(b), (e)より、両端の溝から伸びてくるというより、溝の間に形成された複数のダイヤモンド核がそれぞれ均質に成長することがわかった。

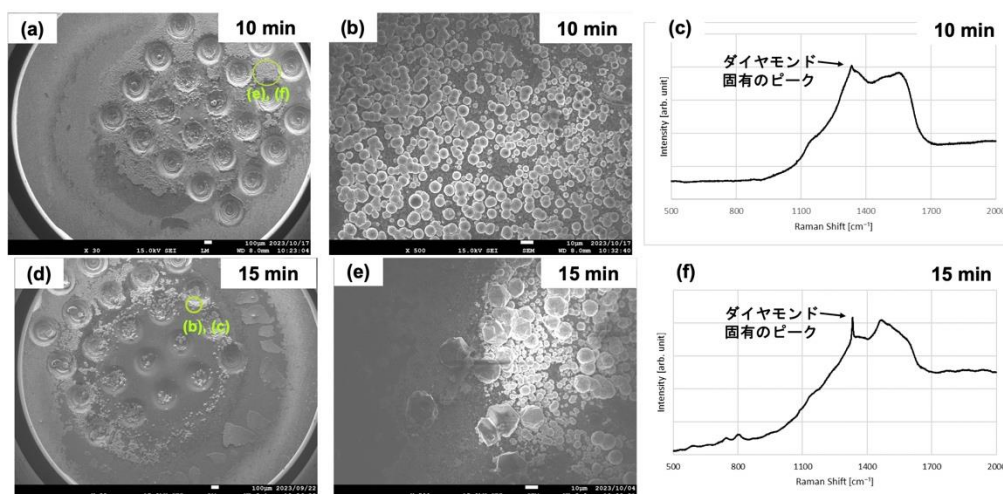


図2. 成長時間10分、15分の場合に溝と溝の間に形成されたダイヤモンド。
(a), (d) SEM全体像, (b), (e) SEM拡大像, (c), (f) ラマンスペクトル

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

今後は基板の組成や表面形状がダイヤモンドの品質及び接着性に与える影響を明らかにし、工具として使用できるレベルのダイヤモンドを鋼表面に直接蒸着する。これにより高性能のダイヤモンド工具を安価に製造することが可能となり、自動車や航空機産業など様々な産業の発展に繋がる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

鋼へのダイヤモンド直接蒸着はこれまで不可能とされてきた。そのような背景の中、本研究はステンレス鋼にドリル加工を施すとダイヤモンドを直接できることを発見し、そのメカニズムを明らかにした。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 第116回精密工学会難削材加工専門委員会発表資料
- 2023年度精密工学会中国四国支部・九州支部共催広島地方講演会 講演論文集, 講演番号301
- The 12th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology, Abstract and Proceeding Book, A2-2

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

研究成果報告: 鋼表面におけるダイヤモンド結晶成長メカニズムの解明

(<http://www.mech.yamaguchi-u.ac.jp/wp-content/uploads/2022/04/3b4b58e36f327a42f47ee3d84ee752c3.pdf>)

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 山口大学大学院 創成科学研究科

(ヤマグチダイガクダイガクイン ソウセイカガクケンキュウカ)

住 所: 〒755-8611

山口県宇部市常盤台2丁目16-1

担 当 者: 准教授 白石僚也(シライシ リョウヤ)

担 当 部 署: 山口大学大学院 創成科学研究科

(ヤマグチダイガクダイガクイン ソウセイカガクケンキュウカ)

E - m a i l: shiraishi@yamaguchi-u.ac.jp

U R L: http://www.mech.yamaguchi-u.ac.jp/?page_id=3960