

集束イオンビームを応用した超精密加工用 工具の開発と応用

加工技術課 川堰宣隆 材料技術課 杉森博*1

1. 緒言

本研究では、高精度な微細加工が可能な FIB に着目し、これを用いた超精密加工用工具を作製することを目的とする。超精密切削加工で使用される単結晶ダイヤモンド工具に Ga を FIB 照射すると、加工変質層が形成される。これによって、加工性が悪化する。既報¹⁾では、アルミニウム蒸着及び熱処理によって Ga の除去が可能であり、FIB 照射した工具の加工性を大きく改善できることを示した。一方、照射部には加工変質層が残留し、非照射の工具と比較して、耐摩耗性が劣る結果となった。

本報では FIB 照射後のダイヤモンド工具から加工変質層を除去するための熱処理方法を提案するとともに、切削実験により提案した手法の有用性について検討した。

2. 熱処理による加工変質層の除去

イオン照射した単結晶ダイヤモンドを酸素中や空気中で高温で熱処理すると、影響層をエッチングされる²⁾。本手法を切削工具に適用する場合、ロウ付けなどへの影響を避けるため、約 500 °C 以下の条件で処理する必要がある。本研究では、この条件下でのエッチングの可能性を明らかにするため、各種条件依存性について検討した。照射時には、厚さ 10 nm のカーボン膜を蒸着した。

図 1 は、FIB 照射後の加工深さおよび熱処理前後の深さ増加量のドーズ量依存性である。熱処理時間は、240 分である。ドーズ量の小さな条件で照射部はスパッタされず、高さ数 nm の微小な隆起が生じた。ドーズ量が 0.12 C/cm² 以上でスパッタに転じ、照射部は凹状となった。ドーズ量にともない、その深さは増加した。ドーズ量の小さな場合、熱処理後の深さ増加量は 30~35 nm であった。またカーボン膜は、熱処理後に消滅していた。既報¹⁾の結果および SRIM によるシミュレーションより、加工変質層の厚さは約 40 nm と考える。この値は深さ増加量とカーボン膜厚さの和と一致しており、加工変質層のみが選択的にエッチングされたと考える。一方、スパッタされる条件になると、再付着の影響により深さ増加量は小さくなった。熱処理時間を変化させた結果、これらの条件でもエッチング深さの増加傾向が観察され、エッチングが進行していることがわかる。以上の結果より、熱処理温度 500 °C でも加工変質層の選択的な除去が可能であることがわかった。これによって、本手法を切削工具へ適用できると考える。

*1 現 企画管理部

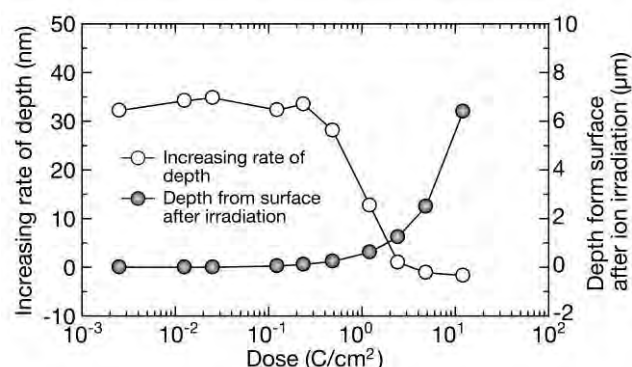


Fig. 1 Changes in the rate of increasing of the depth of the irradiated area, plotted as a function of ion dose.

3. 加工実験による工具の評価

3.1 実験条件および方法

提案した熱処理の有用性を明らかにするために加工実験を行い、工具の耐摩耗性について検討した。加工実験には超精密切削加工機(ファナック(株)製 ROBONANO α -0iB)のシャトル機能を用いた。被削材は、NiP メッキである。

工具には、先端半径 0.5 mm の単結晶ダイヤモンド工具を使用した。工具は、FIB 非照射の工具、FIB 照射した工具、FIB 照射後に熱処理した工具(以下、それぞれ非照射工具、FIB 工具、熱処理工具とよぶ)の 3 種類である。

3.2 実験結果および考察

図 2 は、各種工具で NiP を加工した時の切削距離 19040 m における工具すくい面の形状である。FIB 工具の場合、工具・被削材接触域全面で摩耗が進行し、その深さは平均部で約 40 nm、最大部で 65 nm となった。平均部の深さは FIB による影響深さと一致しており、その領域が選択的に摩耗したと考える。一方、熱処理工具では、接触領域の平均摩耗深さは数 nm、最大深さは 20 nm であり、耐摩耗性が大きく改善されていることがわかる。

図 3 は、切削距離に対するすくい面の摩耗深さである。FIB 工具の場合、初期の段階で摩耗深さが急増し、距離 160 m のときに 38 nm であった。その後、最大深さは 65 nm に達した。一方、非照射工具、熱処理工具の場合、距離 5000 m 以降で摩耗の進行はわずかであり、その深さは最大で約 20 nm であった。すなわち、FIB 工具に熱処理することで、耐摩耗性を大きく改善できることがわかる。

図 4 は、切削距離 19040 m のときの、加工面形状である。いずれの工具でも送り量と同様の間隔で Cutterマークが観察できる。熱処理工具の場合、加工底面は平滑

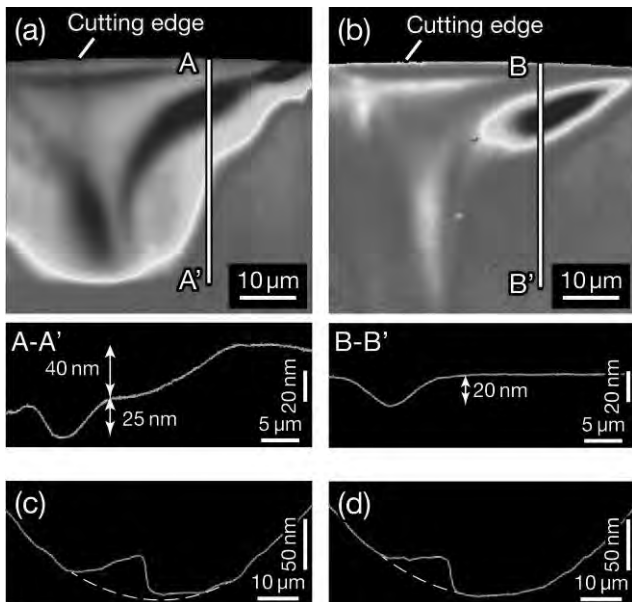


Fig. 2 Tool wear on the rake face of (a) the FIB tool and (b) the heat-treated tool. (c) The shape of the cutting edge of the FIB tool and (d) the treated tool. The dashed lines in (c) and (d) indicate the original tool shape.

である。一方、FIB 工具では、不規則な形状が観察される（図中、C）。FIB 工具では、切削初期に凝着摩耗等によって不規則な摩耗が進行する。これによって、加工面性状も悪化することがわかった。

4. 結言

本報では FIB 照射後のダイヤモンド工具から加工変質層を除去するための熱処理方法を提案するとともに、切削実験により提案した手法の有用性について検討した。これより、加工性を大きく改善できることがわかった。

参考文献

1) N. Kawasegi *et al.*: *Prec. Eng.*, **38** (2014) 174.

キーワード：超精密加工、ダイヤモンド工具、集束イオンビーム、切削工具

Development and its application of ultra-precision cutting tools fabricated using focused ion beam

Processing Technology Section; Noritaka KAWASEGI and Material Technology Section Hiroshi SUGIMORI *1

A focused ion beam (FIB) is an effective technique for fabricating micro-scale shapes on diamond cutting tools. However, ion irradiation of diamond tools causes ion implantation, defects, and non-diamond phases, all of which degrade the tool performance. To remove affected layers from FIB-irradiated diamond tools, heat treatment in air was applied, then the effect of the heating parameters on the etch ability of the irradiated area was investigated. It was found that the affected layer could be etched and removed from the diamond tool surface, even at 500 °C. In machining experiments on nickel phosphorus, we obtained the machining performance was improved by applying heating technique, and the cutting forces and machined surfaces were similar to those obtained with the non-irradiated tool. These results indicate that the proposed heating technique is effective for diamond cutting tools shaped by FIB.

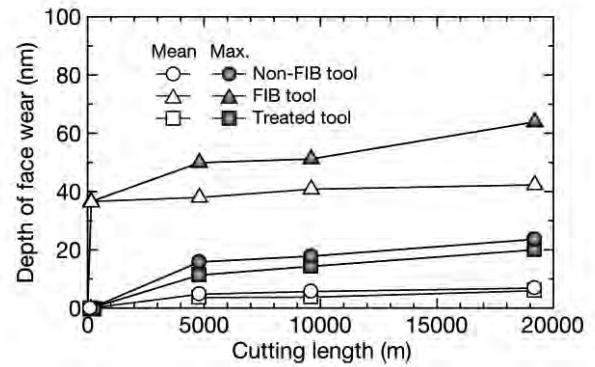


Fig. 3 Changes in the depth of face wear, plotted as a function of the cutting length.

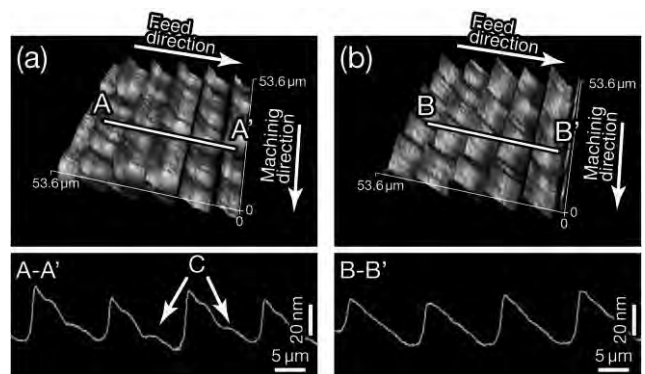


Fig. 4 Surface topographies and cross-sectional images of the NiP surface after machining using (a) the FIB tool, and (b) the heat-treated tools, following a cutting distance of 19040 m.

2) N. R. Parikh *et al.*: *Appl. Phys. Lett.*, **61** (1992) 3124.

謝辞

実験にご協力頂いた、千葉大学 森田昇教授、高知 FEL (株) 西村一仁氏、富山大学 尾崎一馬氏にお礼申し上げます。