

超精密加工用工具の開発と応用に関する研究

加工技術課 川堰宣隆 材料技術課 杉森博

1. 緒言

近年、機械加工による超精密切削、微細加工の必要性が高まっている。超精密切削加工には、精度や耐摩耗性の点で優れた単結晶ダイヤモンド工具が多用されている。今後の更なる加工精度の向上、形状の微細化のためには、工具自身の高精度化、微細化が必須となってくる。

本研究では、高精度な微細加工が可能な集束イオンビーム (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に Ga を FIB 照射すると、照射部には Ga が残留する。これによって、被削性が変化する可能性がある。本報では、FIB 照射後のダイヤモンド工具から Ga を除去する手法を提案するとともに、その工具を用いた切削実験を行ない、その有用性について検討した。

2. 実験条件

本研究では、FIB 照射によって注入された Ga を除去する方法として、アルミニウム蒸着と熱処理を組み合わせた手法を提案している¹⁾。これによって、FIB 照射したダイヤモンド工具の被削性の改善が期待できる。その有用性を検討するため、加工実験を行った。

加工実験には超精密切削加工機 (ファナック (株) 社製 ROBONANO α -0iB) の高速引き切り加工機能 (Shuttle unit model B) を用いた。表 1 は、実験条件である。被削材には NiP メッキを用いた。動力計の上に設置した被削材に対し、連続的に引き切り加工を行なった。

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 未照射の工具、FIB 照射した工具、FIB 照射後に熱処理した工具の 3 種類である。FIB 照射では、工具の表面形状が極力変化しないようにするためドーズ量を 0.01 C/cm² にとし、スパッタが生じないようにした。照射部では約 1 nm の隆起が生じるのみであり、

Table 1 Cutting conditions

| Tool | Single crystal diamond |
|--------------------------------|-------------------------|
| Work material | Electroless NiP plating |
| Cutting speed (m/min) | > 130 |
| Depth of cut (μm) | 3 |
| Pick feed (μm) | 10 |
| Rake angle | 0 |
| Clearance angle | 10 |
| Lubrication method | Wet |

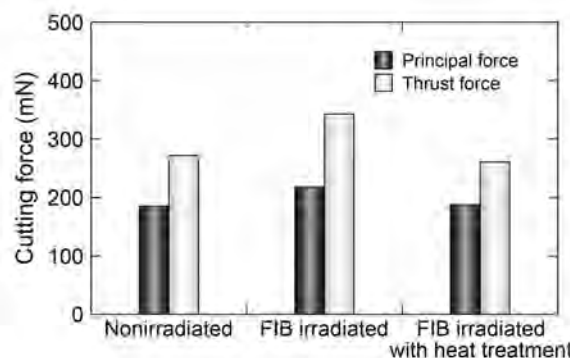


Fig. 1 Comparison of the cutting forces while machining NiP using (a) nonirradiated tool, (b) FIB irradiated tool and (c) FIB irradiated tool with heat treatment.

大きな形状変化は見られなかった。

3. 実験結果および考察

図 1 は、各工具で NiP を加工した時の切削抵抗である。主分力と背分力ともに、FIB 照射した工具で切削した時が最も大きくなった。とくに、背分力に大きな差が見られる。一方、FIB 未照射の工具と FIB 照射後に熱処理した工具では、同様の値となった。

図 2 は、加工後の各工具刃先の SEM 観察像である。すべての工具に、被削材の凝着が見られる。とくに、FIB 照射した工具のすくい面には、広範囲にわたって凝着がみられる。FIB 照射部の Ga の残留によって、親和性が高



Fig. 2 SEM image of the diamond tool after machining aluminum alloy. (a) nonirradiated tool, (b) FIB irradiated tool and (c) FIB irradiated tool with heat treatment.

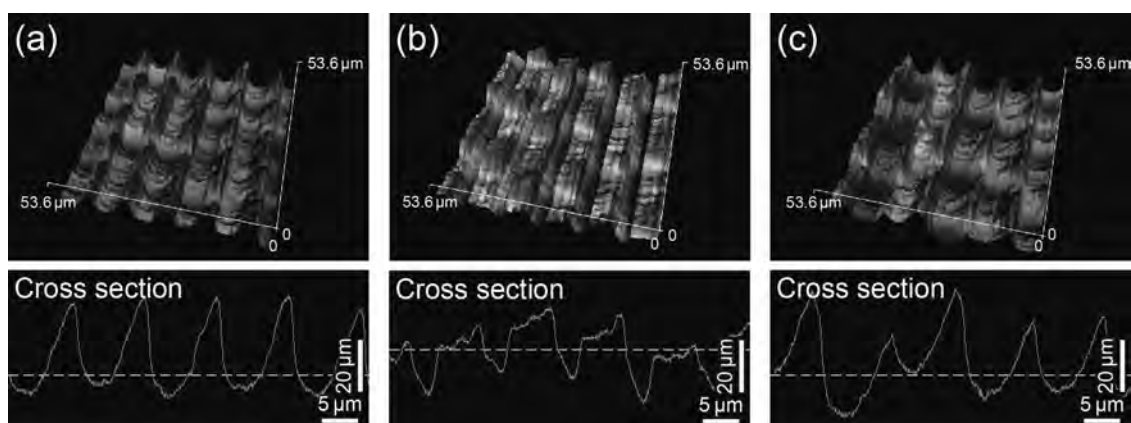


Fig.3 Surface topography of the aluminum surface after machining using (a) nonirradiated tool, (b) FIB irradiated tool and (c) FIB irradiated tool with heat treatment, measured using white light interferometer.

くなったためと考える。すなわち、単結晶ダイヤモンド工具に FIB 照射すると、残留した Ga によって工具の親和性が増し、凝着が生じやすくなるといえる。これによって、切削抵抗が増加したと考える。FIB 照射した工具に熱処理を行うことで、Ga の残留は少なくなり、未照射の工具に近い被削性に改善できることがわかった。

図 3 は、各種工具で NiP を加工した時の加工面の非接触表面形状測定機による形状測定結果である。FIB 未照射の工具と FIB 照射後に熱処理した工具の場合、加工面に送りと同等のピッチで工具形状に近いカッターマークが観察できる。一方、FIB 照射した工具では、不規則な切削痕が形成され、凝着によって被削性が悪化していることを示唆している。微細な形状を有するダイヤモンド工具を用いた超精密切削加工では、工具の転写性が重要な因子となる。提案した熱処理を用いることで、FIB 照射によって悪化した転写性を、大きく改善できることがわかる。

以上の結果より、FIB 照射を行ったダイヤモンド工具で加工した場合、残留した Ga によって被削性が悪化する

ことが明らかとなった。熱処理を行うことで、FIB 照射したダイヤモンド工具の被削性を大きく改善できることがわかった。

4. 結言

本研究では FIB 照射後の単結晶ダイヤモンド工具から Ga を除去する手法を提案するとともに、その工具の有用性について検討した。これより、FIB 照射した工具に熱処理を適用することで、工具の親和性を大きく改善できる。これによって、転写性も増すことがわかった。

参考文献

- 1) 庭田ほか: 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2013) 329.

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 庭田智行氏にお礼申し上げます。

キーワード：単結晶ダイヤモンド工具，集束イオンビーム，NiP，熱処理

A study on development and application of diamond tools for Ultra-precision machining

Noritaka KAWASEGI and Hiroshi SUGIMORI

In the ultra-precision machining, a tool shape is an important factor to determine the shape and accuracy of the machined area. In order to apply FIB machining to a single crystal diamond tool without depression of performance, a combination method of a heat treatment and aluminum deposition was employed to remove ion-irradiation-induced Ga ions. Machining experiment was performed to evaluate this method. As the result, it was found that irradiation of Ga ion causes an adhesion of work materials on a tool surface. The adhesion and rapid tool wear was reduced by the tool heat treatment was applied.