

機能性表面を有する超精密加工用 ダイヤモンド工具の開発

加工技術課 川堰宜隆 清水孝晃

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。超精密切削加工では、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る。更なる加工精度の向上、形状の微細化のためには、工具自身の高機能化・高精度化が必須となる。微細で任意の形状を有するダイヤモンド工具の作製には、集束イオンビーム（FIB）による微細加工が有効であると考えられる。

これまでの研究より、FIB 照射と熱処理を併用して、単結晶ダイヤモンド工具表面に結晶構造の変化したテクスチャや凹形状のテクスチャを作製し、その効果について検討した。その結果、凹形状のテクスチャが有効であることを明らかにした。本報では、各種凹形状を有するテクスチャを作製し、その形状や加工条件がテクスチャによる効果に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

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。動力計上に設置した被削材に対し、連続的にシェーパ加工を行なった。被削材は、アルミニウム合金 A5052 と NiP めっきである。工具には、テクスチャを作製した単結晶ダイヤモンド工具とテクスチャのない単結晶ダイヤモンド工具を使用した。テクスチャの方向は、切りくず排出方向を基準として、垂直方向と平行方向の 2 種類とした。図 1 は、作製した工具の SEM 観察像およびテクスチャの AFM 観察像である。工具は、先端半径 0.5 mm の単結晶ダイヤモンド工具とし、そのすくい面にテクスチャを作製した。作製領域は、 $72\ \mu\text{m} \times 65\ \mu\text{m}$ である。切れ刃形状を維持するため、切れ刃から $1\ \mu\text{m}$ 離れた領域からテクスチャを作製した。AFM 観察像より、工具すくい面に幅 $1.8\ \mu\text{m}$ 、深さ $42\ \text{nm}$ のテクスチャが作製されていることがわかる。

3. 実験結果および考察

図 2 は、各工具でアルミニウム合金を加工したときの切削抵抗およびすくい面摩擦係数である。また図 3 は、加工後の切りくず側面の SEM 観察像である。切込みは $3\ \mu\text{m}$ である。テクスチャがいずれの方向の場合でも、その効果が現れた。主分力と背分力の減少率は、それぞれ 22 % で 51 % であった。この傾向は、超硬工具の場合²⁾とは異

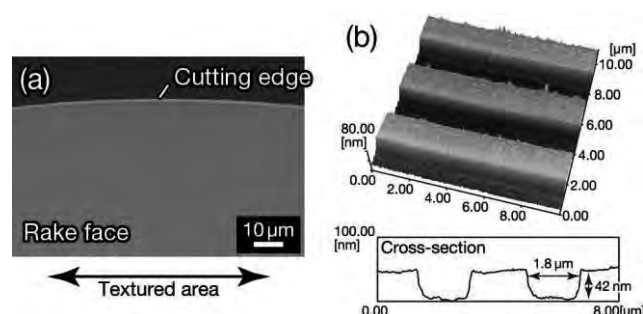


Fig. 1 Textured diamond cutting tool fabricated by FIB irradiation and subsequent heat treatment. (a) SEM image of the rake face of the textured diamond cutting tool. (b) Enlarged image of the texture measured by AFM.

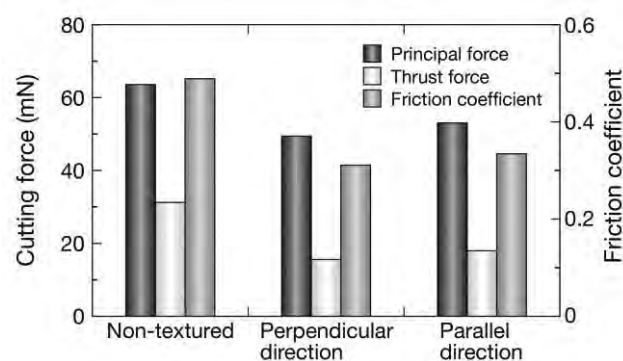


Fig. 2 Comparison of the cutting forces while machining aluminum alloy with non-textured tool, textured tools with perpendicular, and parallel directions.

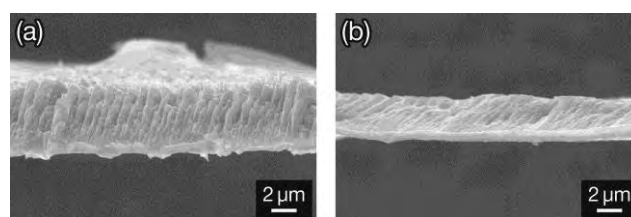


Fig. 3 SEM images of cutting chips generated while machining aluminum alloy using (a) non-textured tool, (b) textured tools with perpendicular direction.

なる。また、テクスチャを作製した場合に、薄い切りくずが形成され、摩擦係数は小さくなった。この結果は、テクスチャによる切削抵抗の減少が摩擦係数の変化に起因することを示唆している。一方、被削材が NiP の場合、テクスチャが垂直方向の場合のみ、効果が見られた。すなわちテクスチャによる効果の方向依存性は材料種によっても変化することがわかる。

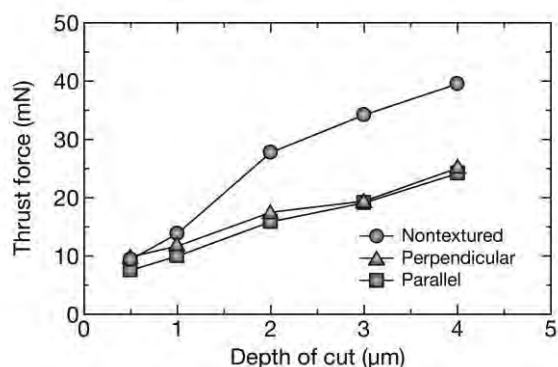


Fig. 4 Change in the thrust force while machining aluminum alloy with non-textured and textured tools, plotted as a function of the depth of cut.

つぎに、切込量によるテクスチャによる効果の変化について検討した。図4は切込みを0.5～4.0 μmの範囲で変化させたときの、背分力である。切込みが1 μm以下の条件で、その効果はわずかである。切込みが2 μm以上になると、テクスチャによる効果が強く表れた。本実験において、テクスチャは切れ刃から1 μm離れた箇所から作製している。切込みが小さな条件ではテクスチャが干渉する領域がわずかであり、効果が現れにくい。切込みが大きくなることでテクスチャと被削材が干渉する割合も増加し、その効果が強く現れたと考える。以上の結果より、加工単位とテクスチャの大きさの関係によって、その効果は大きく変化することがわかった。

図5は、テクスチャの幅を変化させたときの切削抵抗とすくい面摩擦係数である。被削材は、NiPである。テクスチャがいずれの場合でも、切削抵抗およびすくい面摩擦係数は小さくなった。テクスチャの幅によってその効果は変化し、幅が1.2 μmの場合に最小となった。これ

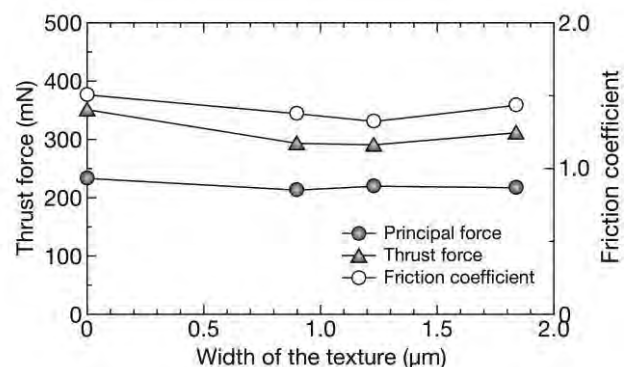


Fig. 5 Changes in the thrust force and friction coefficient at various widths of textured tools with perpendicular direction.

より、テクスチャの幅には最適値が存在し、本実験条件下では幅1.2 μmの場合に最適であることがわかった。

4. おわりに

本研究ではFIB照射および熱処理の技術を応用して、単結晶ダイヤモンド工具表面にテクスチャを作製し、その効果について検討した。その結果、テクスチャの形状や加工条件によって、その効果は大きく変化することがわかった。

参考文献

- 1) N. Kawasegi *et al.*: *Prec. Eng.*, **33** (2009) 248.

謝 辞

実験にご協力頂いた、千葉大学 森田昇教授、工学院大学 西村一仁教授、秋田大学 山口誠准教授、富山大学 尾崎一馬氏にお礼申し上げます。

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 Takaaki SHIMIZU

We developed textured single crystal diamond tool to improve machining performance at ultra-precision machining. The textures, which had pitch of several micrometers and depth of several tens of nanometer, were fabricated utilizing the focused ion beam irradiation and subsequent heat treatment. The effects of the texture shape and machining conditions on the machinability of an aluminum alloy and nickel phosphorus were investigated. The texture decreased the cutting force due to the corresponding reduction in the friction on the rake face. The texture effect dependence on the direction differed from the work material, and the lower cutting forces were achieved when the texture was perpendicular to the chip flow direction for both materials. The texture effect changed by the relation between the sizes of machining and texture.