

平成 21 年 6 月 22 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：平成 19 年度～平成 20 年度

課題番号：19760095

研究課題名（和文）機能性表面による摩擦力の低下現象を応用した切削工具の開発

研究課題名（英文）Development of cutting tools utilizing reduction of friction induced by the functional surface

研究代表者

川堰 宣隆（KAWASEGI NORITAKA）

富山県工業技術センター・中央研究所加工技術課・研究員

研究者番号：30443419

研究成果の概要：

本研究では、表面にマイクロ・ナノメータオーダの微細なテクスチャを有する切削工具を開発した。これを用いてアルミニウム合金の旋削加工を行った結果、テクスチャを作製することで工具・被削材間の摩擦が小さくなり、切削抵抗が減少することを明らかにした。また、その効果の加工条件およびテクスチャ形状依存性について検討した。さらに本工具の応用化について検討した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	1,300,000	0	1,300,000
20 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	270,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：切削加工，機能性表面，マイクロ・ナノテクスチャ，フェムト秒レーザ，摩擦，アルミニウム合金

1. 研究開始当初の背景

近年、各種産業分野において、環境負荷や加工コストの低減の観点からセミドライ加工が注目されている。しかし現在のところ、セミドライ加工が適用できる加工方法・条件は限定されており、まだこの加工方法は発展途上の段階にあるといえる。これは、通常の切削方法と比較して工具寿命や切削抵抗が悪化しやすい傾向にあり、その導入・加工コストに見合うだけの成果が得られないためである。一方、深穴加工などの難切削では、

工具の折損等が生じやすいという問題がある。これは、工具と被削材間での摩擦や切削熱によって被削材が溶着し、内部で切りくず詰まりが生じることに起因している。これらの問題を解決するためには、工具・被削材間の摩擦力、切削温度等を著しく改善する技術が必要であると考えられる。

本研究ではこれらの課題を解決する方法として、固体表面にマイクロ・ナノメータオーダの微細構造を形成することで、表面の機能を制御することができる“機能性表面”に

着目した。この技術では、表面に微細なテクスチャを作製することによって、微細化による特異な作用が発現し、固体表面の摩擦力や撥水性といった物理化学的な特性が著しく変化する。とくに、固体表面のナノスケールの周期構造は、摩擦力が著しく低下する作用があるとされている。この原理を切削工具へと適用することで、工具・被削材表面間の摩擦力が激減し、優れた加工性を持った切削工具の開発が可能になると考える。

2. 研究の目的

本研究は、工具表面にマイクロ・ナノメータオーダーの微細なテクスチャを作製し、そこで発現する摩擦の低下の作用を応用することで、優れた加工性を持った切削工具を開発することを目的としている。まず工具表面にマイクロ・ナノメータオーダーの微細なテクスチャを作製する手法について検討した。つぎに、微細なテクスチャが被削性へ及ぼす影響について検討した。さらに、この工具の応用化について検討した。

3. 研究の方法

(1) 工具表面へのテクスチャの作製

工具表面にマイクロ・ナノメータオーダーのテクスチャを作製する手法について検討した。テクスチャの作製には、フェムト秒レーザーを使用した。使用したフェムト秒レーザーは、サイバーレーザー社製 IFRIT1.0W (波長: 780 nm, 繰り返し周波数: 1 kHz, パルス幅: 160 fs) である。工具には、旋削加工用の K 種の超硬工具を使用した。

(2) 旋削工具加工による工具の評価

作製した工具の評価を行うため、アルミニウム合金の旋削加工を行った。表 1 は、実験条件である。

表 1 加工条件

Tool	Carbide tool (K10)
Work material	Aluminum alloy A5052
Cutting speed (m/min)	60 ~ 600
Depth of cut (mm)	0.2
Feed rate (mm/rev)	0.1
Tool geometry	0, 5, 11, 6, 29, -1, 0.4
Lubrication method	MQL
Lubricant	Ester type
Flow rate (cc/h)	40

(3) DLC コーティッド工具への応用

テクスチャを有する DLC コーティッド工具の評価を行うため、旋削加工を行った。実験条件は表 1 と同様とし、切削液の供給は、MQL 法と水溶性切削油による湿式とした。

4. 研究成果

(1) 工具表面へのテクスチャの作製

本研究ではテクスチャを作製する手法として、2 種類の方法を適用した。一方は、ビーム径を数 μm 設定し、アブレーションにより直接加工する手法である (加工方法 A)。他方は、ビーム径を十数 μm に設定し、レーザーの干渉により微細加工を行う手法である (加工方法 B)。

図 1(a) は、前者の手法を用いて加工した試料の AFM 観察像である。加工部ではアブレーションが行われ、深さ 1.3 μm 、幅 2.2 μm の加工痕が形成された。これより、本手法により、幅、深さが数 μm オーダーの微細な溝加工が可能になることがわかる (以下、マイクロテクスチャとよぶ)。同図(b) は、後者の手法で加工した試料表面の AFM 観察像である。幅約 10 μm の領域内にピッチ 800 nm、深さ 150 nm の周期構造が作製された。フェムト秒レーザーを任意の速度で走査すると、入射光と表面散乱光が干渉を起こす。これによってピッチ、深さが数百 nm オーダーの微細な周期構造が形成される (以下、ナノテクスチャとよぶ)。一方、走査方向を 90° 回転させた場合、走査方向に対して垂直に周期構造を作製することが可能であった。

本手法を応用して、工具表面にテクスチャを作製した。図 2 は、すくい面上にナノテクスチャを作製した工具の SEM および AFM による断面観察像である。ピッチ、深さが数

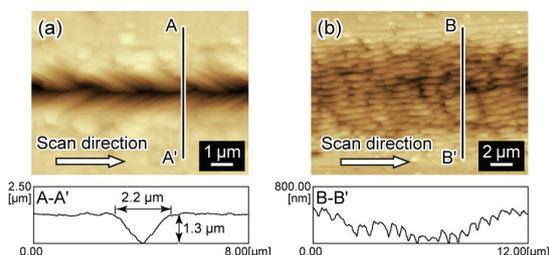


図 1 フェムト秒レーザー加工部の AFM 観察像。(a) 加工方法 A, (b) 加工方法 B。

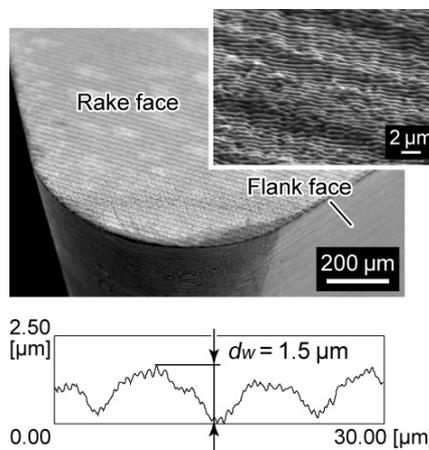


図 2 テクスチャを作製した工具の SEM 像。

百 nm のテクスチャが作製されることがわかる。また、ナノテクスチャでは、ビームの走査間隔ごとに深さ数百 nm～数 μm のうねり状のテクスチャが同時に形成される。そこで、工具の評価ではうねり深さ dw も変化させて実験を行い、その影響について検討した。

以上の結果より、フェムト秒レーザーを利用して、その手法を使い分けることによって、工具表面に数百 nm～数 μm 単位の任意形状のテクスチャを高効率に作製できることがわかった。

(2) 旋削工具加工による工具の評価

開発した工具を用いてアルミニウム合金の旋削加工を行い、その加工性の評価を行った。実験ではナノテクスチャを作製した工具を用い、うねり状のテクスチャの方向を変化させて実験を行った。テクスチャの方向は、図 3 に示すように切りくず排出方向を基準とし、それに対して垂直方向、平行方向の 2 種類とした。

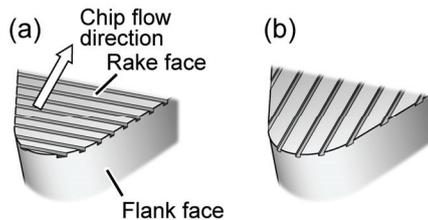


図 3 テクスチャの方向の定義。(a) 垂直方向、(b) 平行方向。

図 4 は、うねり状のテクスチャの方向を変化させた工具で加工したときの、切削抵抗である。テクスチャが垂直方向の場合、切削抵抗は小さくなる。一方、平行方向の場合、切削抵抗は微増する。すなわち、適切な方向にテクスチャを作製することで、切削抵抗を減少させることができることがわかる。

図 5 は、各種工具で加工したときのせん断角およびすくい面摩擦係数である。図 3 において切削抵抗が小さな工具の場合にせん断角は大きく、すくい面摩擦係数は小さくなることがわかる。この結果は、テクスチャによる切削抵抗の低下が、すくい面上の摩擦係数の低下に起因することを裏打ちしている。

一方、レーザーの干渉によって形成される数百 nm オーダのテクスチャの方向を変化させた実験を行った結果、切削抵抗に大きな違いは見られなかった。この結果は、大きさ数百 nm オーダのテクスチャではなく、うねり状のそれによって切削抵抗の減少の効果を得られていることを意味する。また、乾式で加工したときでも同様な傾向が得られ、テクスチャが垂直方向の場合に切削抵抗は減少した。すなわち、テクスチャによる切削抵抗の減少は、切削油による効果ではなく、工具・

被削材間の接触面積の変化が強く影響していると考えられる。またマイクロテクスチャとナノテクスチャを比較した結果、ナノテクスチャの場合に摩擦の減少の効果が大きかった。これはテクスチャの大きさの違いに起因し、幅の大きなうねり状のテクスチャを有する工具を用いた場合に、その効果が強く表れたと考える。

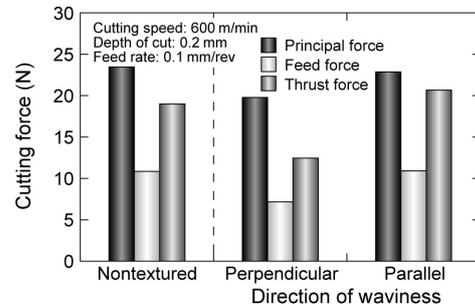


図 4 テクスチャの方向による切削抵抗の変化。

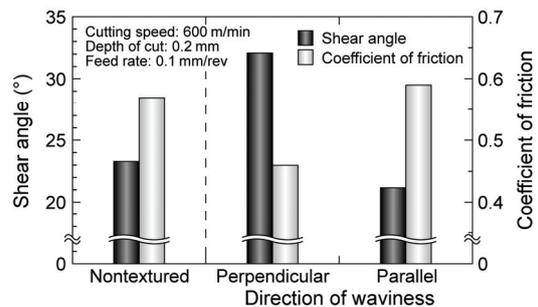


図 5 テクスチャの方向によるせん断角および摩擦係数の変化。

図 6 は、各種工具を用いたときの切削速度に対する送り分力の変化である。切削速度が小さい場合、テクスチャによる効果は見られない。切削速度が 420 m/min 以上になると、テクスチャを作製した場合に切削抵抗は小さくなることがわかる。切削速度が小さい場合、工具への被削材の溶着が多く、テクスチャは被削材によって埋められやすい。切削速

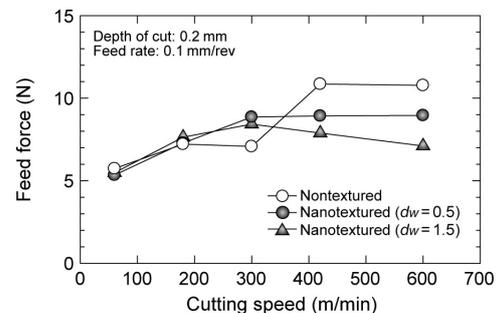


図 6 切削抵抗の切削速度依存性。

度が大きくなると、被削材の溶着は少なくなくなり、テクスチャによる効果が現れると考える。すなわち、被削材の溶着の少ない条件下で加工を行うことで、テクスチャによる摩擦の低減の効果を得ることが可能なことがわかる。

以上の結果より、テクスチャを垂直方向に作製した工具を用いて被削材の溶着の少ない条件下で加工することで、すくい面の摩擦が減少し、切削抵抗が小さくなることがわかった。これによって、各種材料加工における被削性の改善が可能になると考える。

(3) DLC コーティッド工具への応用

DLC コーティッド工具におけるテクスチャの効果について検討した。実験では、超硬工具、DLC コーティッド工具およびテクスチャを作製した DLC コーティッド工具を使用して加工実験を行い、工具の種類および切削油の供給方法による被削性の違いについて検討した。テクスチャ方向は垂直方向とし、深さ D_w とピッチはそれぞれ $1.5 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ とした。切削速度は、 600 m/min とした。

図 7 は、各種工具で加工したときの切削抵抗である。コーティングがない工具の場合、潤滑方法による差は見られない。DLC コーティングを行うことで、切削抵抗は減少することがわかる。その減少率は湿式で大きく、超硬工具と比較して送り分力、背分力は 45 % 以上減少する。さらに、テクスチャを作製することで、その減少割合は 60 % 以上となった。一方、潤滑方法が MQL の場合、DLC コーティングおよびテクスチャの適用により切削抵抗は減少するものの、その減少率は小さい。すなわち DLC 工具にテクスチャを適用し、潤滑方法を湿式とすることで、切削抵抗は大きく減少することがわかる。図 8 は、加工後の工具の SEM 観察像である。DLC コーティングのみの場合、工具表面に被削材の付着は見られない。一方、テクスチャを作製した工具では、テクスチャの内部で若干の被削材の付着が観察できる。

DLC コーティングは摩擦係数が小さく、被削材の溶着を抑制できることから、アルミニウム合金等の切削において優れた加工性能を示す。また、潤滑方法や切削液の種類による冷却性能の差によって湿式の場合に被削材の溶着が抑制されやすく、切削抵抗が大きく減少したと考える。また、テクスチャを作製することで、若干の被削材の溶着が生じるもののテクスチャによる摩擦の減少の効果によって、さらに切削抵抗を減少させることが可能なことがわかる。

以上の結果より、DLC 工具にテクスチャを適用することで、コーティングの特性を維持したまま、さらにテクスチャによる摩擦の減少の効果を得られる。また、湿式方式で加工

することで、その効果は大きくなることがわかった。

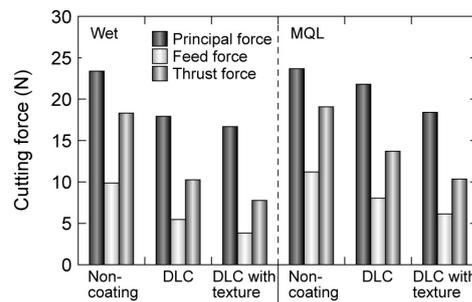


図 7 DLC コーティッド工具を用いたときのテクスチャの効果。

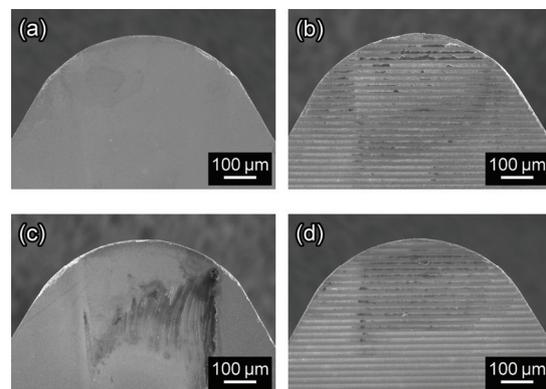


図 8 加工後の工具の SEM 観察像 (a) テクスチャなし、湿式で加工 (b) テクスチャあり、湿式で加工 (c) テクスチャなし、MQL で加工、(d) テクスチャあり、MQL で加工。

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) N. Kawasegi, H. Sugimori, H. Morimoto, N. Morita and I. Hori: Development of Cutting Tools with Microscale and Nanoscale Textures to Improve Frictional Behavior, Precision Engineering, 33 (2009) 248–254, 査読あり。

[学会発表] (計 6 件)

- 1) 菅沼直貴, 川堰宣隆, 森田昇, 山田茂, 高野登, 大山達雄: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発 (第 4 報, 摩擦摩耗試験によるテクスチャの評価), 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会, 平成 21 年 3 月 12 日, 中央大学。
- 2) 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀

功: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発(第3報, 工具の応用化), 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会, 平成20年9月19日, 東北大学.

- 3) 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀功: マイクロ・ナノテクスチャによる摩擦の制御を応用した切削工具の開発, 2008年度砥粒加工学会学術講演会, 平成20年9月3日, 滋賀県立大学.
- 4) 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀功: 機能性表面による摩擦の制御を応用した切削工具の開発, 砥粒加工学会北信越ハイテク加工研究分科会, 平成20年7月4日, 金沢工業大学.
- 5) N. Kawasegi, H. Sugimori, H. Morimoto, N. Morita and I. Hori: A Cutting tool with micro/nanometer-scale texture for improvement of friction behavior, European Society for Precision Engineering and Nanotechnology International Conference, 平成20年5月21日, Kongresshaus Zurich.
- 6) 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀功: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発(第2報, テクスチャによる効果の実験条件依存性), 2008年度精密工学会春季大会学術講演会, 平成20年3月19日, 明治大学.
- 7) 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀功: マイクロ・ナノテクスチャによる表面機能の制御を利用した切削工具の開発, 2007年度精密工学会秋季大会学術講演会, 平成20年9月12日, 旭川市ときわ市民ホール.

(3)連携研究者
なし

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

名称: 切削工具及びうねり形状の作製方法
発明者: 川堰宣隆, 杉森博, 森本英樹, 森田昇, 堀功

権利者: 富山県, (株)不二越

種類: 特願

番号: 2008-047097

出願年月日: 平成20年2月28日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

川堰 宣隆 (KAWASEGI NORITAKA)

富山県工業技術センター・中央研究所加工技術課・研究員

研究者番号: 30443419

(2)研究分担者

なし