

# V 溝の超精密切削加工によるレーザ誘起表面周期構造の制御に関する研究

東京農工大学 ○大池 紘介, 東京農工大学大学院 小玉 脩平, ◎中本 圭一

## 要 旨

機能性を付与するため、材料表面にレーザを照射して微細構造を創成する技術が注目されている。しかし、創成される微細構造の形状を任意に変更できず、産業界での活用において課題となっている。そこで本研究では、レーザ照射前の材料表面に超精密切削加工で予めマイクロ V 溝を付与し、創成される微細構造の形状を制御することを目的とした。創成された微細構造の観察結果から微細構造の形状制御におけるマイクロ V 溝の有用性を検証したので報告する。

## 1. 緒 論

近年、各種工業製品において消費エネルギーの削減や機能および付加価値の向上が期待されている。一方、ほぼ全ての光学および化学反応は材料表面で発生しており、材料表面に微細構造を創成すれば材料に新しい性能を発現できる<sup>1)</sup>。このため、材料表面にレーザを照射して、LIPSS(Laser induced periodic surface structures)と呼ばれる微細周期構造を創成する技術が注目されている。

## 2. 研究目的

LIPSS の創成プロセスには未だに不明な点が多く、創成される LIPSS の形状の制御や再現性などに課題がある。一方で、LIPSS の形状はレーザ照射前の材料表面に依存することが知られている。これにより先行研究では、レーザ照射前のニッケルリン(Ni-P)表面に対して超精密切削加工により直線状のマイクロ V 溝を付与することで LIPSS の直進性の向上に成功している<sup>2)</sup>。しかし、LIPSS の形状の制御に適する溝の間隔や深さ、レーザを照射する材料による差異は明らかになっていない。そこで本研究では、超精密切削加工により Al 合金表面へ様々な間隔や深さで直線状のマイクロ V 溝を付与し、創成される LIPSS の直進性を向上させるための適切な溝の間隔や深さを明らかにすることを目的とする。

## 3. 実験装置

本研究でマイクロ V 溝の超精密切削加工に使用する多軸制御工作機械(FANUC ROBONANO  $\alpha$ -0iB)の軸構成を図 1 に示す。分解能は直線軸で 1 nm、回転軸で  $10^{-6}$  deg. の分解能であり、ストロークは X 軸が 280 mm、Y 軸が 40 mm、Z 軸が 150 mm、B 軸と C 軸は 360 deg. である。マイクロ直線 V 溝の加工実験では、B 軸テーブルに剣先 90 度のダイヤモンドバイトを、C 軸テーブルに A5052 の板状被削材を取り付ける。

## 4. 直線マイクロ V 溝の超精密切削加工

マイクロ V 溝の超精密切削加工の前に、切込み原点をマイクロスコープで観察しながら設定した。ここでまず、図 2 に示すように工具切れ刃の正面と被削材が映るようにセッティングし、被削材の表面に刃先が映るまで工具と被削材を接近させた。次に、その位置から  $0.1 \mu\text{m}$  ずつバイトを下方へ移動させて、切り屑が発生した時点から切込み量だけ戻した位置を切込み原点とした。

図 3 に本実験で目標としたマイクロ直線 V 溝の概形を示す。また、表 1 に本実験における加工条件を示す。溝間隔は  $5 \mu\text{m}$  と  $10 \mu\text{m}$  の 2 種類とし、それぞれで  $1 \mu\text{m}$  と  $2 \mu\text{m}$  の 2 通りの深さを目標として切り込み、溝を 200 本ずつ加工した。なお、切削速度

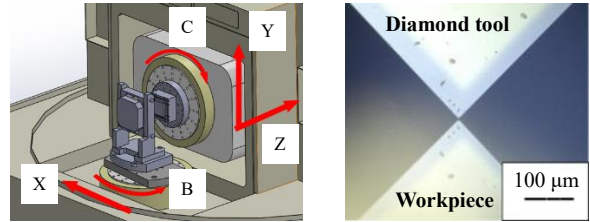


Fig. 1 Machine tool structure Fig. 2 Setting of cutting origin

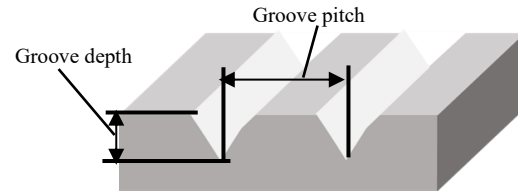


Fig. 3 Overview of targeted V groove shape

Table 1 Cutting conditions for linear micro V grooves

Tool material	Single crystal diamond
Nose angle	90°
Workpiece material	Aluminium alloy (A5052)
Depth of cut	1, 2 $\mu\text{m}$
Cutting speed	40 mm/min

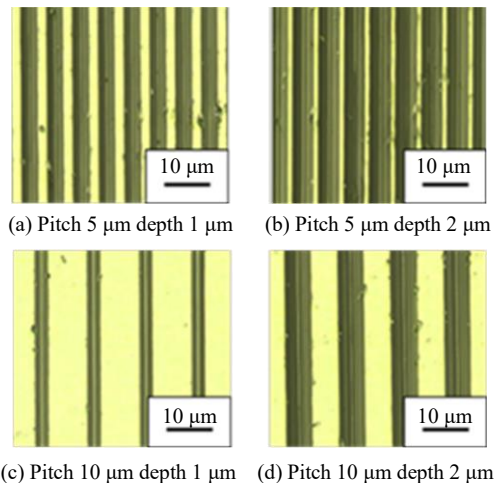


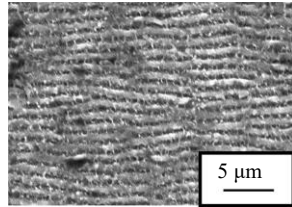
Fig. 4 Microscopic images of created straight V microgrooves

となる工具送り速度は 40 mm/min とした。

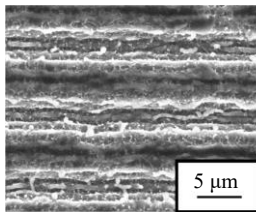
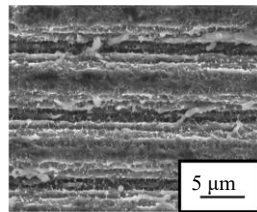
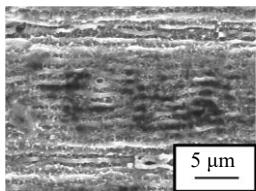
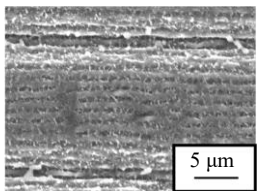
図 4 に Al 合金平面に付与したマイクロ直線 V 溝をレーザマイクロスコープで撮影した写真を、表 2 に各加工条件で 5 か所ずつ測定した溝間隔と深さの平均値を示す。表 2 よりマイクロ直線 V 溝の間隔、深さはどちらも目標値に対して精度良く加工できていることが確認できる。

**Table 2** Measurement results of created straight V microgrooves

	Measured	Targeted
Groove pitch	5.005 $\mu\text{m}$	5.000 $\mu\text{m}$
	9.997 $\mu\text{m}$	10.000 $\mu\text{m}$
Groove depth	1.044 $\mu\text{m}$	1.000 $\mu\text{m}$
	1.923 $\mu\text{m}$	2.000 $\mu\text{m}$



(a) Flat surface without microgrooves

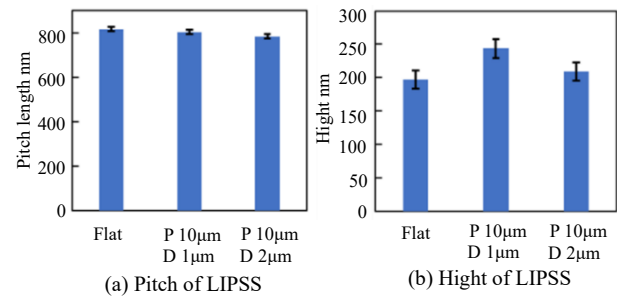
(b) Pitch 5  $\mu\text{m}$  depth 1  $\mu\text{m}$ (c) Pitch 5  $\mu\text{m}$  depth 2  $\mu\text{m}$ (d) Pitch 10  $\mu\text{m}$  depth 1  $\mu\text{m}$ (e) Pitch 10  $\mu\text{m}$  depth 2  $\mu\text{m}$ **Fig. 5** LIPSS fabricated on Aluminium alloy with microgrooves

## 5. LIPSS の創成および評価

上述したマイクロ直線 V 溝を付与した Al 合金表面に対して、レーザを照射し LIPSS を創成した。これと比較するために、マイクロ溝を付与していない表面にも同様にレーザを照射した。レーザの照射条件は、パルス幅 20 ps、周波数 50 Hz、波長 1064 nm、照射回数 10–500 回、エネルギー密度 0.05–0.30 J/cm<sup>2</sup> とした。

### 5.1 走査型電子顕微鏡(SEM)による LIPSS の観察

レーザ照射後の Al 合金表面を SEM で観察した。マイクロ直線 V 溝を付与していない Al 合金表面では、レーザ照射回数 100 回、エネルギー密度 0.10 J/cm<sup>2</sup> のときに LIPSS が明瞭に観察されたため、この条件での Al 合金表面を比較する。SEM で観察された Al 合金表面を図 5 に示す。図 5 (a) はマイクロ直線 V 溝を付与していない Al 合金平面に照射した結果であり、(b), (c) は 5  $\mu\text{m}$  の間隔、(d), (e) は 10  $\mu\text{m}$  の間隔でマイクロ直線 V 溝を付与した Al 合金表面に照射した結果である。図 5 (a) より Al 合金平面には LIPSS が創成されているものの、規則性がなく湾曲した形状であることが確認できる。一方で、図 5 (b), (c) より、マイクロ直線 V 溝の間隔が 5  $\mu\text{m}$  の場合、LIPSS が創成されていないことが分かる。LIPSS はレーザが材料表面に照射され、材料表面の凹凸によりプラズマ波が発生することで創成される<sup>3,4)</sup>。マイクロ直線 V 溝を付与した場合には、溝に起因してプラズマ波が発生し、溝の周辺に LIPSS が創成されるが、溝の間隔が狭すぎると各溝で発生したプラズマ波の位相が合わず LIPSS の創成が困難になると考えられる。一方、図 5 (d), (e) では LIPSS が創成されており、特に図 5 (e) の LIPSS はマイクロ直線 V 溝と平行に創成されていることが

**Fig. 6** Measurement result of LIPSS with AFM

確認できる。そのため、先行研究における Ni-P 合金と同様に Al 合金においてもレーザ照射前にマイクロ直線 V 溝を付与することで、LIPSS の形状を直線状に制御できることが分かる。これは、表面に規則的なマイクロ直線 V 溝を付与したことでプラズマ波も規則的に発生したためと考えられる。

### 5.2 原子間力顕微鏡(AFM)による LIPSS の測定

図 6 に LIPSS の周期と高さを 5 か所ずつ AFM で測定した平均値を示す。図中の  $P$ ,  $D$  はそれぞれ加工したマイクロ直線 V 溝の間隔と深さを表している。図 6 (a) は LIPSS の周期である。一般に材料表面に創成される LIPSS の周期は照射するレーザの波長に依存し、レーザ波長の 0.5–0.85 倍程度の周期となる<sup>4)</sup>。今回照射したレーザの波長は 1064 nm であり、創成された LIPSS の周期として約 800 nm は妥当といえる。また、マイクロ直線 V 溝の有無に関わらず LIPSS の周期が同程度であることから、LIPSS の周期はレーザ照射前の表面形状によってほとんど変化しないと考えられる。図 6 (b) は LIPSS の高さであり、マイクロ直線 V 溝の間隔 10  $\mu\text{m}$ 、深さ 1  $\mu\text{m}$  のときに LIPSS の形状が高くなっていることがわかる。これは、マイクロ直線 V 溝を付与した表面でプラズマ波の発生が促進されるためと推測できる。一方で、同じ間隔 10  $\mu\text{m}$  でも深さ 2  $\mu\text{m}$  の場合には、マイクロ直線 V 溝を付与していないときと大差がないことから、マイクロ直線 V 溝が深すぎると高さの向上に対する有効性がないと考えられる。

## 6. 結 論

Al 合金平面上にマイクロ直線 V 溝を付与し、その表面にレーザを照射することで LIPSS を創成した。その結果、マイクロ直線 V 溝の間隔と深さによって LIPSS の形状が変化し、溝間隔が大きく深い場合に LIPSS の直進性が向上するものの、高い LIPSS を創成できる適切な深さがあることを明らかにした。

## 文 献

- 1) 沢田博司, “フェムト秒レーザにより形成した周期構造の応用”, レーザ研究, Vol. 33, No. 8, (2005), pp. 525-529
- 2) Kodama, S., Suzuki, S., Hayashibe, K., Shimada, K., Mizutani, M. and Kuriyagawa, T., “Control of Short-Pulsed Laser Induced Periodic Surface Structures with Machining-Picosecond Laser Micro/Nanotexturing with Ultraprecision Cutting-”, *Precision Engineering*, Vol. 55, (2019), pp. 433-438.
- 3) 沢田博司, 川原公介, 二宮孝文, 黒沢宏, 横谷篤至, “フェムト秒レーザによる微細周期構造の形成”, 精密工学会誌, Vol. 64, No. 4, (2003), pp. 554-558.
- 4) Sakabe, S., Hashida, M., Tokita, S., Namba, S. and Okamuro, K., “Mechanism for self-formation of periodic grating structures on a metal surface by a femtosecond laser pulse”, *Physical Review B*, Vol. 79, No. 3 (2009), pp. 1-4.