

熱可塑性樹脂砥石による光コネクタ端面研削加工の研究

著者	岩淵 縁, 津田 雄一郎, 川崎 柊耶, 佐々木 ひかる, 丹 勇人, 松浦 寛
雑誌名	東北学院大学工学部研究報告
巻	55
号	1
ページ	41-45
発行年	2021-02
URL	http://id.nii.ac.jp/1204/00024694/

熱可塑性樹脂砥石による光コネクタ端面研削加工の研究

Study on optical connector end grinding with thermoplastic resin grindstone

岩渕 縁*	津田 雄一郎***	川崎 柊耶**
Yukari IWABUCHI	Yuichirou TUDA	Shuya KAWASAKI
佐々木 ひかる****	丹 勇人**	松浦 寛*
Hikaru SASAKI	Hayato TAN	Hiroshi MATSUURA

Abstract: The end faces of optical connectors must be precisely machined to reduce the loss during connection. We attempted to achieve good surface property results similar to those of loose grain grinding that employs thermoplastic resin grinding wheels and uses only abrasive grinding. In this study, the number of revolutions of the grinding machine was varied to improve the machining accuracy and to reduce the grinding time. A surface roughness of 3.2 nmRa was obtained at a rotational speed of 400 rpm and 40 rpm. In addition, we reduced the grinding time by 1.5 min.

Keywords: Thermoplastic resin, Grinding, Grinding track, Optical connector, Pad

1 緒言

光通信システムの普及に伴い、光ファイバを用いた大容量データの伝送が可能になった。これらに使用される光コネクタは、接続時の損失低減のため端面の精密加工が求められる[1]。

一般に、光ファイバの鏡面加工は固定砥粒研削を行った後、遊離砥粒研磨を行うが、加工時間が長いことや、スラリーによる環境の悪化などの問題がある。それらを解決するため、我々は熱可塑性樹脂を用いた固定砥粒研削のみで、遊離砥粒研磨と同等の 10 nmRa 以下の表面性状を得ることを目標としている。また現在、先行研究においては、自転 200 rpm、公転 30 rpm で研削実験を行い、5 min 時での表面粗さとして 6.8 nmRa が得られている。

本研究では、研削装置の自転公転の速度を変え、加工精度の向上と研削時間の短縮を目指し、表面粗さ Ra の傾向を先行研究と比較した結果、良好な表面粗さが得られたので報告する。

2 熱可塑性樹脂砥石

固定砥粒研削には、熱硬化性樹脂を用いることが一般的だが、砥粒が脱落し表面性状が悪化する場合があるため、精密加工には適さない。それに対して、熱可塑性樹脂は加熱することで軟化・流動し、冷却することで硬化する特性を持っている。この特性を活かすことで、加工中に研削熱による軟化が発生し、砥粒が埋め戻され、砥粒の脱落が発生しにくいと考えた。そのため精密加工に適しており、遊離砥粒研削と比較しても、熱可塑性樹脂による固定砥粒研削はコストにおいても環境面においても有効と考えられる[2]。

ボンド剤には熱可塑性樹脂であるポリフェニレンサルファイド (PPS: Polyphenylene sulfide) を用いて、砥石を製作した。PPS は約 280 °C の融点、連続使用温度が 200 °C 程度という特徴から、成型機で融解、加工ができ、耐薬品性にも優れており、PPS の粉碎作業から砥石の成形まで自分たちで行うことが可能なため、ボンド剤に選択した[3]。表 1 に砥石の成形条件を示す。砥粒には、ヌーブ硬度 8000 のダイヤモンドを用いて、集中度 50、直径 35 mm、厚さ 1 mm の砥石を作製した[4]。

* 東北学院大学

** 東北学院大学大学院

*** 東北学院大学大学院 (現 スズキ株式会社)

**** 東北学院大学 (現 アルプスアルパイン株式会社)

3 実験方法

図1に実験に用いた研削装置の概略図、表2に実験条件を示す。実験装置は下から公転軸、自転軸があり、同時に回転を開始するように調整した。コネクタは実験条件を揃えるために、事前に表面を#800の紙やすりを用いて削り、100~120 nmRaにした。先行研究で湿式研削と乾式研削を行ったところ、乾式研削の精度の方が良く、表面粗さ Ra は湿式研削の 54.6 % 小さかった。そのため研削方式は乾式とした。実験手順を以下に示す。

- 1) レーザ顕微鏡 (LM : Laser Microscope LEXT OSL4000) でコネクタ端面を 5 倍, 100 倍の倍率で撮影し、評価長さ 340 nm でコネクタの中心, 上部, 下部, 左部, 右部の 5 点を測定し、その平均を算出することで表面粗さを計測する。
- 2) コネクタと砥石を実験装置にセットし、バネ長さを調整し 1 N の荷重をかける。
- 3) 0.5 min ごとにコネクタを研磨機から取り外し、1)と同様にレーザ顕微鏡で表面粗さを計測し、5.0 min まで研削する。

また、研削に用いた砥石も研削前と研削後にレーザ顕微鏡を用いて、5 倍と 100 倍の倍率で撮影し、研削前後の砥石の表面の変化や、研磨領域を確認した。

Table 1 Pad molding conditions

Degree of Concentration	50
Bond	PPS
Abrasive	Diamond
Diameter	35 mm
Thickness	1 mm

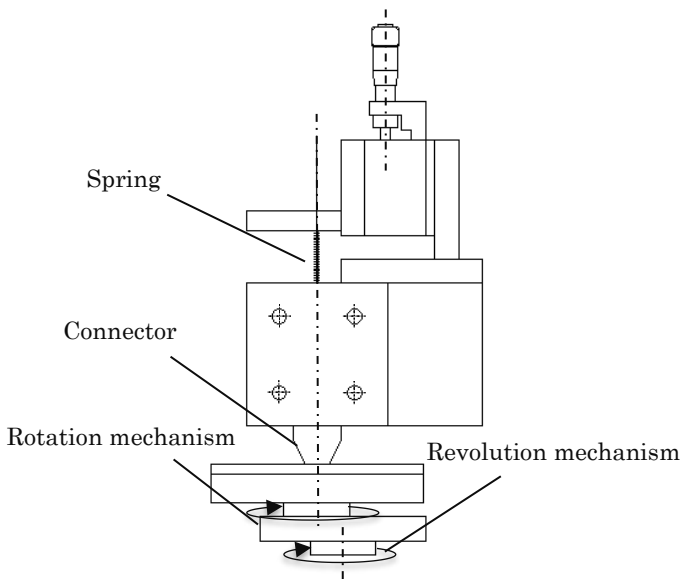


Fig. 1 Grinding machine

Table 2 Experimental conditions

Processing method	Dry
Workpiece	Optical connector
Rotation(rpm)	200, 300, 400
Revolution(rpm)	20, 30, 40
Machining time	5 min
Processing force	1 N

研削軌道は、砥石全体を使用するために以下のトロコイド曲線の式(1), (2)で計算した。 α は自転と公転の速度比, β は公転の半径, γ は駆動部を軸とした自転の半径, θ は回転中心からの任意の角度 ($0 \sim 360^\circ$) である。

$$x = \beta \cos \theta + \gamma \cos(\alpha * \theta) \tag{1}$$

$$y = \beta \sin \theta + \gamma \cos(\alpha * \theta) \tag{2}$$

砥石上を動くコネクタ先端の軌跡を図2から図5に示す。公転 20 rpm の際の自転 100 rpm, 200 rpm を比較すると、自転数 100 rpm の時よりも自転数 200 rpm の時に曲線が密になっている。つまり砥石全体を使用して研削できていると考えられる。よって本実験では、比較を行うために自転数 200 rpm, 300 rpm, 400 rpm, 公転数 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm を組み合わせた計 9 パターンで行った。

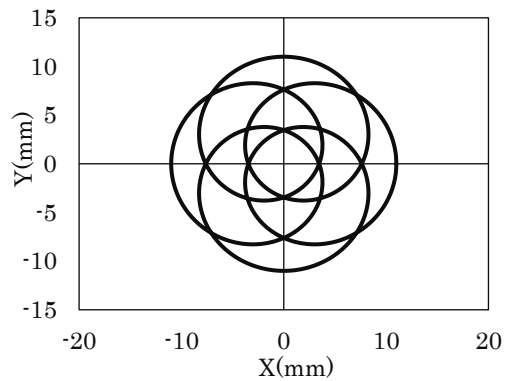


Fig. 2 Moving locus calculated by rotational speed 20 rpm and orbital speed 100 rpm

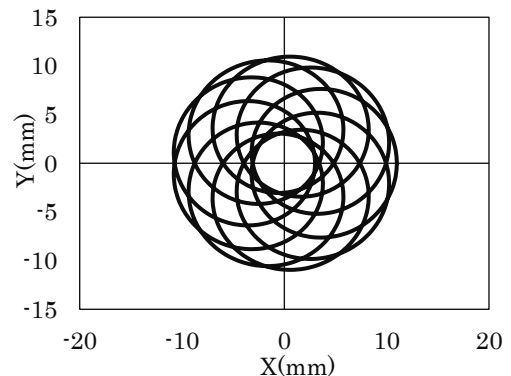


Fig. 3 Moving locus calculated by rotational speed 20 rpm and orbital speed 200 rpm

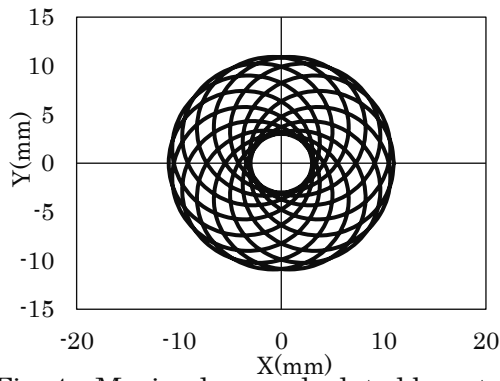


Fig. 4 Moving locus calculated by rotational speed 20 rpm and orbital speed 300 rpm

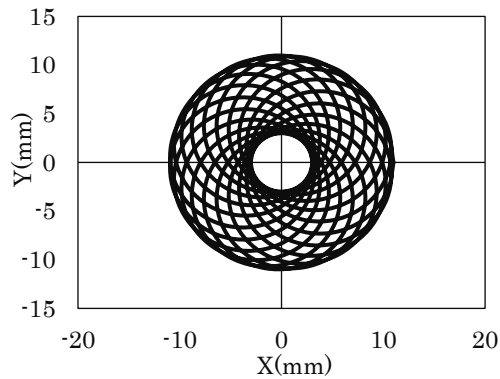
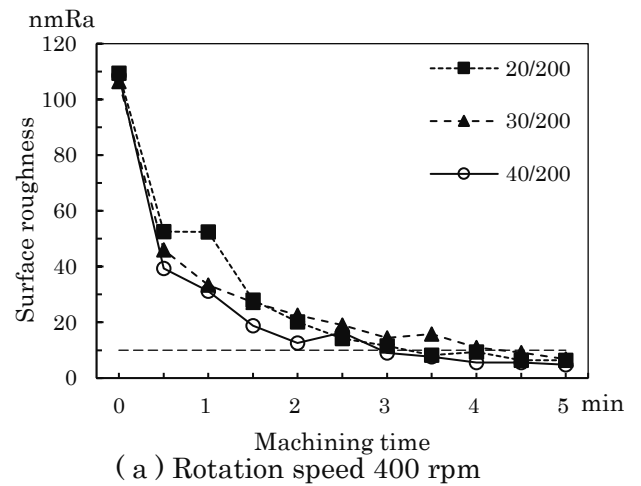


Fig. 5 Moving locus calculated by rotational speed 20 rpm and orbital speed 400 rpm

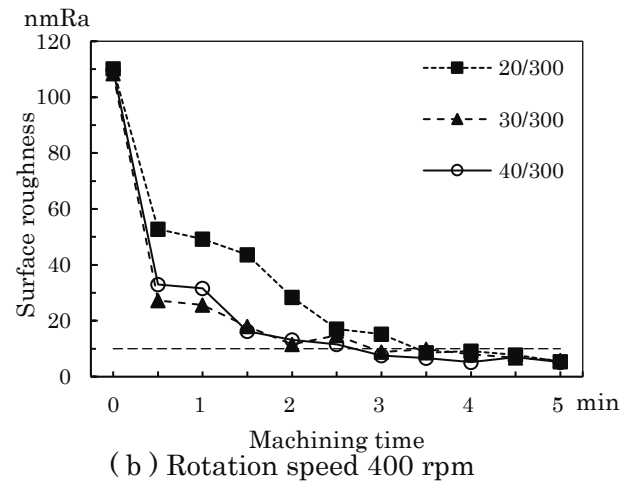
4. 実験結果

研削時間による表面粗さの変化を図 6 に示し、目標値である 10 nmRa の高さに基準線を設けた。図 6(a)の自転数 200 rpm の表面粗さの変化を見ると、公転数 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm の順で 0.5 min で 52.6 nmRa, 46.0 nmRa, 39.4 nmRa. 5.0 min で 6.4 nmRa, 6.8 nmRa, 4.8 nmRa となっている。図 6 (b) 自転数 300 rpm の表面粗さの変化は、公転数 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm の順で 0.5 min で 52.8 nmRa, 27.2 nmRa, 33 nmRa. 5.0 min で 5.4 nmRa, 5.8 nmRa, 5.2 nmRa となっている。図 6 (c) 自転数 400 rpm の表面粗さの変化は、公転数 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm の順で 0.5 min で 21.4 nmRa, 46.8 nmRa, 28.2 nmRa. 5.0 min で 4.8 nmRa, 3.4 nmRa, 3.2 nmRa となっている。表面粗さの最小値は自転 400 rpm, 公転 40 rpm, 研削時間 5 min 時の 3.2 nmRa となった。

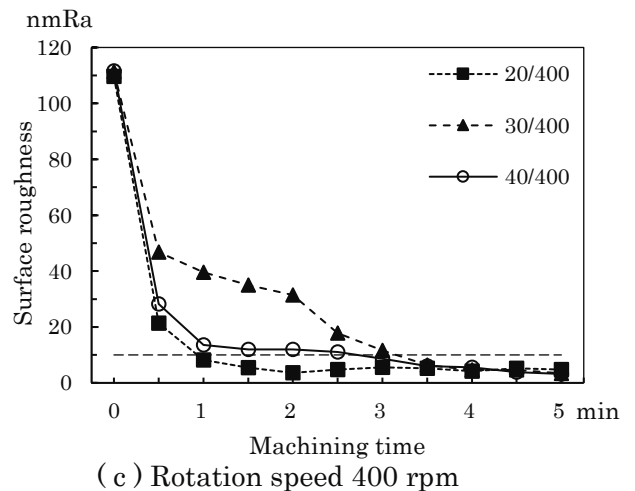
図 6 の(a)(b)(c)を比較すると自転数が大きくなるにつれて表面粗さの変化量が増加し、表面粗さが良くなる傾向がある。全体としては研削時間 0.5 min までは表面粗さが大幅に減少し、そこからゆるやかに減少し、研削時間が 3.5 min~4.0 min になると表面粗さが安定した値をとる傾向



(a) Rotation speed 400 rpm



(b) Rotation speed 400 rpm



(c) Rotation speed 400 rpm

Fig. 6 Change in surface roughness with rotation speed

がある。コネクタ端面の表面粗さが、0.5 min までに大幅に減少するのは、砥石が加工物に引っかかりやすく切り込み量が多いからと考えられる。

また、全体として表面粗さが減少している中で、表面粗さの変化量が極端に少ない部分や増加する部分があった。(公転数, 自転数)が (20 rpm,

200 rpm), (20 rpm, 300 rpm), (30 rpm, 400 rpm) の条件の時の 1 min 時のグラフの変化が他のものと比較して表面粗さの変化が少なかった。これは、研削中に加工面が大きく欠け、クラックが出た状態から加工したことにより結果として欠ける前の表面粗さと近い値になったことが原因である。また、表面粗さの研削中に加工面が欠け、前に計測した値より表面粗さが大きくなったことも原因の 1 つと考えられる。

更に、自転公転の組み合わせによる変化を調査するため、加工前の表面粗さを 5 min 時の表面粗さで割った変化割合を求め、割合の高い順に表 3 に示した。自転 400 rpm, 公転は 40 rpm, 30 rpm, 20 rpm の順で大きかった。

よって、自転の変化が公転の変化よりも表面粗さの精度に強く関係していると考えた。次に変化割合が大きかったのは公転 40 rpm, 自転 200 rpm, 300 rpm の順で大きかった。ここから自転 400 rpm 以下は公転 40 rpm の影響が大きいと分かった。それら以下は自転 300 rpm, 200 rpm の順で大きい。以上のことから表面粗さは、基本的に自転速度に大きく影響を受け、自転 400 rpm, 公転 40 rpm, 自転 300 rpm, 200 rpm の順で変化割合が大きい。

変化割合を比較してみると、公転 30 rpm 自転 400 rpm と公転 40 rpm 自転 400 rpm を比較するとあまり差が見られなかった。しかし、公転 30 rpm 自転 400 rpm と公転 20 rpm 自転 400 rpm では、表面粗さに大きく差が見られた。このことから、公転 30 rpm と 20 rpm の間に加工性状に大きく影響する条件があると考えられる。

トロコイド曲線と各自転数の 5 min 時の表面粗さを比較してみると、自転 200 rpm で 6.4 nmRa, 300 rpm で 5.4 nmRa, 400 rpm で 4.8 nmRa であった。この結果から、砥石全体を使用して研磨加工した方が同じ研削時間で、表面粗さがより小さい値を得られることが分かった。

また、先行研究で行っていた条件(200 rpm, 30 rpm)と今回の実験で表面粗さの最小値が得られた条件(400 rpm, 40 rpm) の表面粗さの変化を図 7 に示す。2 つの条件を比較すると、自転 200 rpm, 公転 30 rpm の時の 5 min の表面粗さは 6.8 nmRa であり、自転 400 rpm, 公転 40 rpm では、3.5 min の表面粗さが 6.0 nmRa だった。このことから、本実験で行った条件で加工すると先行研究で行っていた条件で得られる最小の表面粗さを約 1.5 min 早く得られることとなる。よって、作業効率の向上が期待できる。

Table 3 Ratio of surface roughness before and after treatment

Grinding condition	Revolution-Rotation /rpm	0 min	5 min	%
1(new)	40-400	111.6	3.2	34.88
2	30-400	111.4	3.4	32.76
3	20-400	109.6	4.8	22.83
4	40-200	108.6	4.8	22.63
5	40-300	109.8	5.2	21.12
6	20-300	110.2	5.4	20.41
7	30-300	108.4	5.8	18.69
8	20-200	106.4	6.8	17.09
9(conventional)	30-200	109.4	6.4	15.65

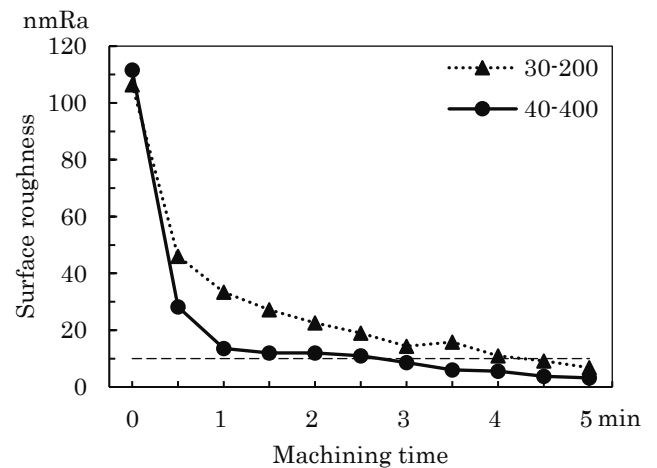


Fig. 7 Roughness comparison with conventional conditions

5. 結言

複合円軌道機構を用いた研削装置を用いて加工実験を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 自転 400 rpm, 公転 40 rpm の時、最小値の表面粗さ 3.2 nmRa が得られた。
- (2) 表面粗さの精度は自転による影響が大きいことが分かった。
- (3) 先行研究と比較して研削時間を 1.5 min 程短縮できることが分かった。

これらの結果から精密研削に適した研削条件が検討でき、研削時間の短縮ができた。

また、今後の研究においては複数種類の熱可塑性樹脂を用いて砥石を作製し、研削実験を行う予定である。その結果を本研究結果と比較していくことで、研削時間の更なる短縮や各熱可塑性樹脂の特性を研究し、それぞれに適した研削方法や活用用途を検討していく。現段階でも、熱可塑性樹脂の種類によって粉砕のしやすさや粉砕後の形状に大きく違いが出ており、樹脂の硬さや形状によっても、加工後の表面性状に違いが出るのかを検証していく。

謝辞

本実験は、熱可塑性樹脂をポリプラスチック株式会社殿から提供を受けて行いました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

また、日本機械学会東北学生会卒業研究発表講演会（2020年3月）に投稿した「熱可塑性樹脂砥石による光コネクタ端面研削加工の研究」が公益財団法人工作機械技術振興財団2019年度第41次奨励賞に選ばれ、その内容を本紀要にまとめました。

参考文献

- [1] 奈良健太, 鹿野祐樹, 津田雄一郎, 菜嶋 理, 松浦 寛, 遠藤春男, 斎藤 修: “光ファイバ端面の鏡面加工における再生熱可塑性樹脂砥石の加工特性”, 砥粒加工学会誌, Vol.63 No.9 (2019), 478/483
- [2] 鹿野祐樹, 奈良健太, 津田雄一郎, 菜嶋 理, 松浦 寛, 遠藤春男, 斎藤 修: “熱可塑性樹脂砥石を用いた脆性材料の研削性能に関する研究 第一報: 石英光ファイバの鏡面加工”, 砥粒加工学会誌, Vol.64 No.7 (2020), 375/379
- [3] 松浦 寛, 児玉壮平, 國枝康博, 吉原信人, 田辺実, 閻紀旺, 厨川常元: “熱可塑性レジンボンド砥石の研削性能”, 砥粒加工学会誌, Vol.53 No.12 (2009), 756/761
- [4] 庄司克雄: “研削加工学”, 養賢堂 (2004), 14/21