

令和 4 年 6 月 26 日現在

機関番号：52605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03890

研究課題名(和文) 大面積しゅう動面への高強度テクスチャリングを実現する超音波応用転写加工技術の開発

研究課題名(英文) Development of Micro Ultrasonic Knurling Technology for High Strength Texturing to Large Area Sliding Surface

研究代表者

青木 繁 (Aoki, Shigeru)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・名誉教授

研究者番号：20106610

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：物体表面へ数マイクロメートルから数百マイクロメートル間隔のテクスチャを創成することで摩擦制御ができる。これを大型産業機械のしゅう動面に適用して低摩擦化を達成できれば、その機械効率は飛躍的に向上する。本研究では転写ローレット加工に着目し、超音波を複合することで、既存加工技術の問題点を打開し、大面積のしゅう動面へテクスチャを創成可能な加工技術を開発することを目的とした。超音波振動を加えながら圧子を用いて溝を加工する実験およびテクスチャ工具を用いて試験片に格子状の平面テクスチャを転写する実験を行い、超音波振動を加えながら加工すると、加工効率がよくなることを確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超音波振動を加えながら溝を加工する実験で押付力および摩擦力を測定し、超音波振動を加えながら加工すると、押付力および摩擦力が低減されることが明らかになった。また、テクスチャ工具を用いて試験片に格子状の平面テクスチャを転写する実験により、超音波振動を加えながら加工すると、加えない場合と比較して広い範囲にはっきりとした圧痕が形成され、より深い圧痕が形成されていることが明らかになった。この結果から、超音波振動を加えると、効率的なテクスチャの創成が可能であることが示された。また、このことによって、大型産業機械のしゅう動面の低摩擦化を実現することが可能で、機械効率を飛躍的に向上させることができる。

研究成果の概要(英文)：The friction force is controlled by developing technology creating small textures on the surface at a few to a few hundred micrometer intervals. If friction force is reduced by applying this technology to large area sliding surfaces, the machining effect is drastically improved. In this study, knurling is focused on creating texture. Machining technology is developed to create wear-resistant texture on large area sliding surfaces with high precision and efficiency using ultrasonic vibration during knurling. The effect of ultrasonic vibration on creating texture using knurling is examined. In the experiment of making a groove on the surface with an indenter using a 2-dimensional table, pressing force and friction force are reduced using ultrasonic vibration. In the experiment of creating latticed texture on the surface, deeper and clearer marks are formed using ultrasonic vibration. The texture is created precisely and efficiently using ultrasonic vibration.

研究分野：加工学

キーワード：振動利用技術 超音波振動 ローレット加工 テクスチャ 押付力 摩擦力

1. 研究開始当初の背景

物体表面へ数 μm ～数百 μm 間隔のテクスチャ（微小凹凸）を創成することで摩擦制御ができる。これを航空機や発電機，工作機械といった大型産業機械のしゅう動面に適用して低摩擦化を達成できれば，その機械効率は飛躍的に向上する。この実現には，大面積のしゅう動面へ，耐摩耗性が高い微細凹凸を高精度かつ高能率に加工可能な技術が要求されるが，既存技術では実用に十分耐えうる微細凹凸の加工技術は存在しないのが現状である。一方，超音波振動が多くの加工法に応用され，溶接残留応力の低減や加工面の粗さの改善などの効果があることが知られている。

2. 研究の目的

本研究では既存加工法の中でも加工能率が高く，耐摩耗性が高い微細凹凸を創成可能な転写ローレット加工に着目した。既存の加工法では形状精度が低い，数 μm 間隔の微細凹凸の加工が困難であるなどの問題点がある。このようなことを考慮して，転写ローレット加工と超音波を複合することで，既存加工技術の問題点を打開し，大面積のしゅう動面へテクスチャを創成可能な加工技術「MUK(Micro Ultrasonic Knurling)」を開発することを目的とした。図1にMUKの概念図を示す。

3. 研究の方法

従来の研究において，微細凹凸の形状として溝またはディンプル（半球，四角形など）が多いので，これらの形状を生成することによって，提案した方法の有効性を検討した。まず，超音波振動を加えながら圧子を用いて溝を加工する実験によって，超音波振動が押付力と摩擦力に及ぼす影響および溝の形状に及ぼす影響について検討した。次に，超音波振動を加えながらテクスチャのある工具を押付ける実験によって，超音波振動がテクスチャ転写に及ぼす影響について検討した。

4. 研究成果

4. 1 溝の加工

4. 1. 1 実験方法

ランジュバン型超音波振動子の振動を効率よく加工面に伝達するために取付けるホーンを設計した。振動子に加える入力振動数を変えながら加速度センサで測定した周波数応答関数から，製作したホーンのピークの振動数は31.5 kHzであった。

製作したホーンを用いて超音波振動を加えながら圧子によって材料表面に溝を付ける実験をした。実験装置を図2に示す。材料を2軸送りテーブル上にボルトで固定し，上から円錐型の圧子を押付け，材料を横方向に移動させることによって溝を加工した。圧子はホーンの先端に取り付け，加工中に押付け方向に超音波振動を加えた。材料には3次元動力計が取り付けられ，押付力と摩擦力を測定した。設定する溝の深さを変えて実験をした。

4. 1. 2 実験結果

図3(a)および(b)にそれぞれ溝の深さを30 μm および50 μm に設定したときの押付力と摩擦力を示す。赤線が押付力，青線が摩擦力を表す。圧子の先端が設定した深さに達した後に材料（アルミ材：A2017）を横方向に移動させた。初めは超音波振動を加えずに加工し，押付力を加え始めてから約30 s後に超音波振動を加えた。両方の図から，超音波振動を加え始めると押付力および摩擦力が減少している。このことから，超音波振動は押付力と摩擦力を低減する効果があると考えられる。

図3に示した深さ以外にも深さを設定し，平均的な押付力および摩擦力を求めるとそれぞれ図4(a)および(b)のようになる。超音波振動を加えながら加工すると，押付力および摩擦力が低減されることが明らかである。

次に，超音波振動を用いた場合と用いない場合のこれらの力の比率について検討するために，超音波振動を加えながら加工した場合の押付力と加えずに加工した場合の押付力の比と設定した深さの関係を図5(a)に，摩擦力の比を図

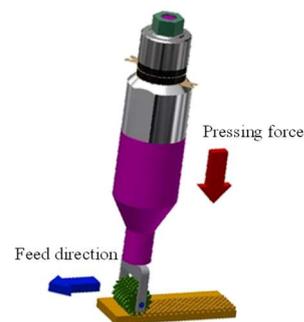


Fig.1 Micro Ultrasonic Knurling

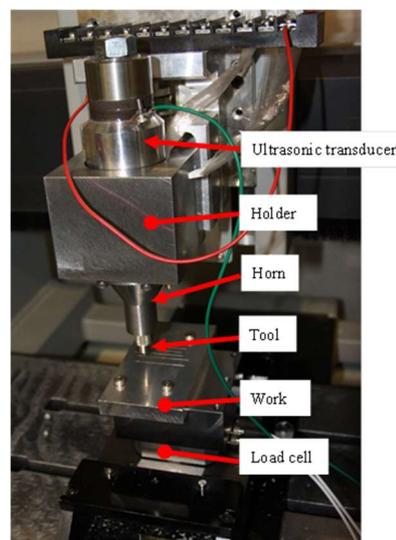


Fig.2 Experimental setup

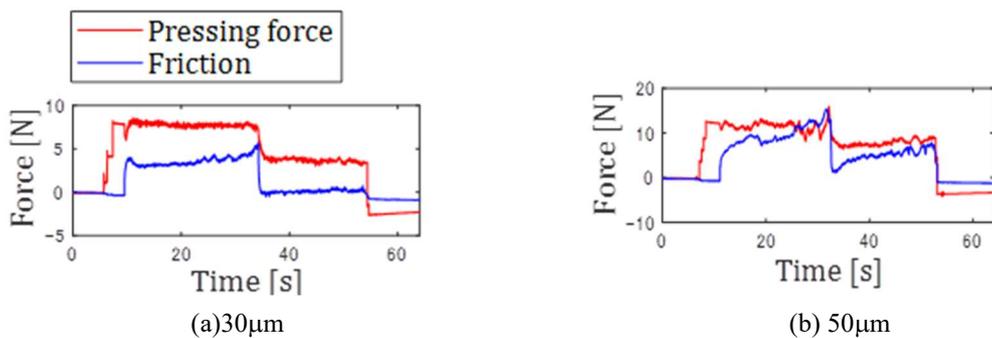


Fig.3 Pressing force and friction force

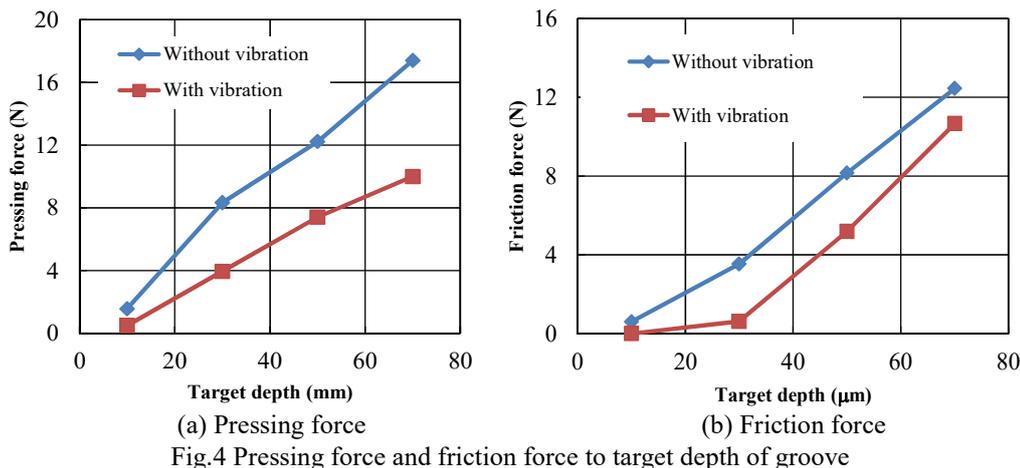


Fig.4 Pressing force and friction force to target depth of groove

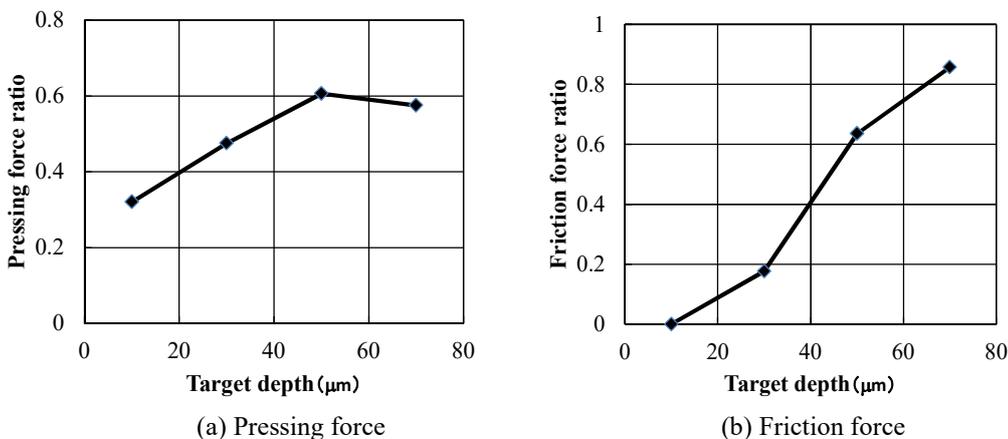


Fig.5 Ratio of pressing force and friction force for the case with vibration to those without vibration

5(b)に示す。押付力および摩擦力の比は設定した深さが深くなるほど大きくなる傾向があるが、押付力は設定した深さがある程度深くなると比が一定となる傾向がみられる。

加工した溝の形状について検討するために、非接触粗さ測定器で溝の形状を測定した。図 6(a) および(b)にそれぞれ溝の深さを 30 μm および 50 μm に設定したときの材料表面の深さ分布を示す。それぞれ左の図が超音波振動を加えない場合の結果であり、右の図が超音波振動を加えながら加工した場合の結果である。両図から、超音波振動を加えながら加工すると溝が深く、幅が広がっている。

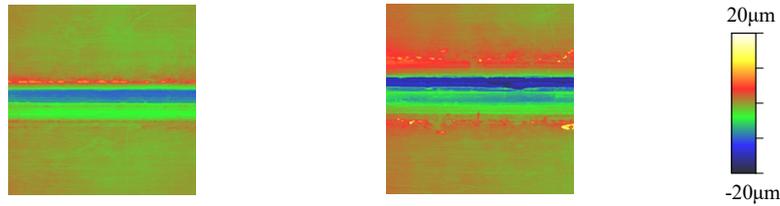
4. 2 テクスチャ転写加工

4. 2. 1 実験方法

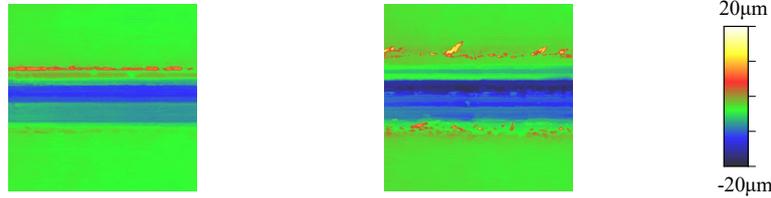
超音波振動が転写加工に及ぼす影響を検討するために、超々ジュラルミン(A7075P)と銅(C1100P)に対してテクスチャ転写加工実験をした。実験装置および転写工具のテクスチャ平面をそれぞれ図 7 および図 8 に示す。押付力は 700N で一定とした。工具の慣性力が加工力変動や精度に及ぼす影響を除外するために、十分に低速で工具を工作物へ押付けた。

4. 2. 2 実験結果

転写加工後の試験片表面を工学顕微鏡および非接触粗さ測定器で観察し、転写範囲全体の加工痕を測定した。図 9 および図 10 にそれぞれ超々ジュラルミンおよび銅に転写加工した結果を



(a) 30 µm (left : without vibration, right : with vibration)



(b) 50 µm (left : without vibration, right: with vibration)

Fig.6 Measuring depth of groove

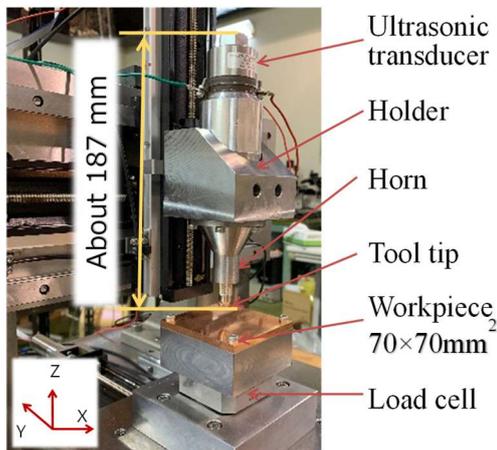


Fig.7 Experimental setup

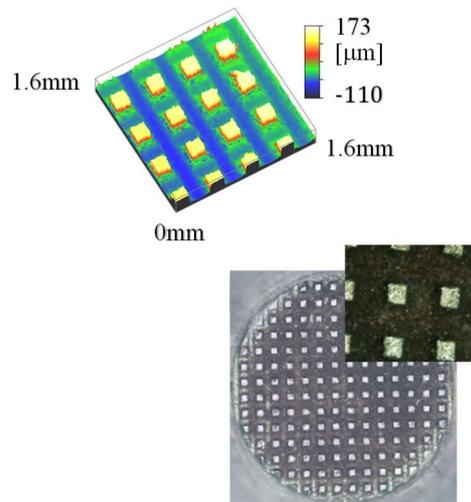


Fig.8 Textured surface of tool tip

示す. 両図とも上が超音波振動を加えないで加工した場合, 下が超音波振動を加えながら加工した場合の結果である.

図9から, 超々ジュラルミンに対して超音波振動を加えながら加工すると, 加えない場合と比較して広い範囲にはっきりとした圧痕が形成されている. 溝部分を拡大すると, より深くはっきりとした圧痕が形成されている. 図10に示す銅に対しても超音波振動を加えながら加工すると, 広範囲に深い圧痕が形成されている. 両図から, 超音波振動を加えながら加工することによって, 加工効率を向上させることができる. 超々ジュラルミンよりも銅の方が超音波振動による効果が大きくなっている. 材質によって, 適切な超音波振動を加える必要がある.

4. 3 まとめ

ローレット加工に超音波を複合することで, 大面積のしゅう動面へ微細凹凸を創成可能な加工技術を開発することを目的として, 圧子を用いて溝を加工する実験およびテクスチャ転写加工をする実験によって, 超音波振動の効果について検討した. 得られた結果を要約すると次のようになる.

(1) 超音波振動を加えながら溝を加工する実験で押付力および摩擦力を測定した. その結果, 超音波振動を加えながら加工すると, 押付力および摩擦力が低減されることが明らかになった. また, 超音波振動を加えながら加工した場合と加えずに加工した場合の押付力の比および摩擦力の比は, 設定した溝の深さが深いほど大きくなる傾向があるが, 押付力が大きくなると比は一定となる傾向があることが明らかになった. さらに, 超音波振動を加えた場合に溝が深く, 幅が広くなることが明らかになった.

(2) テクスチャ工具を用いて試験片に格子状の平面テクスチャを転写する実験を行った. その結果, 超音波振動を加えながら加工すると, 加えない場合と比較して広い範囲にはっきりとした圧痕が形成され, より深い圧痕が形成されていることが明らかになった.

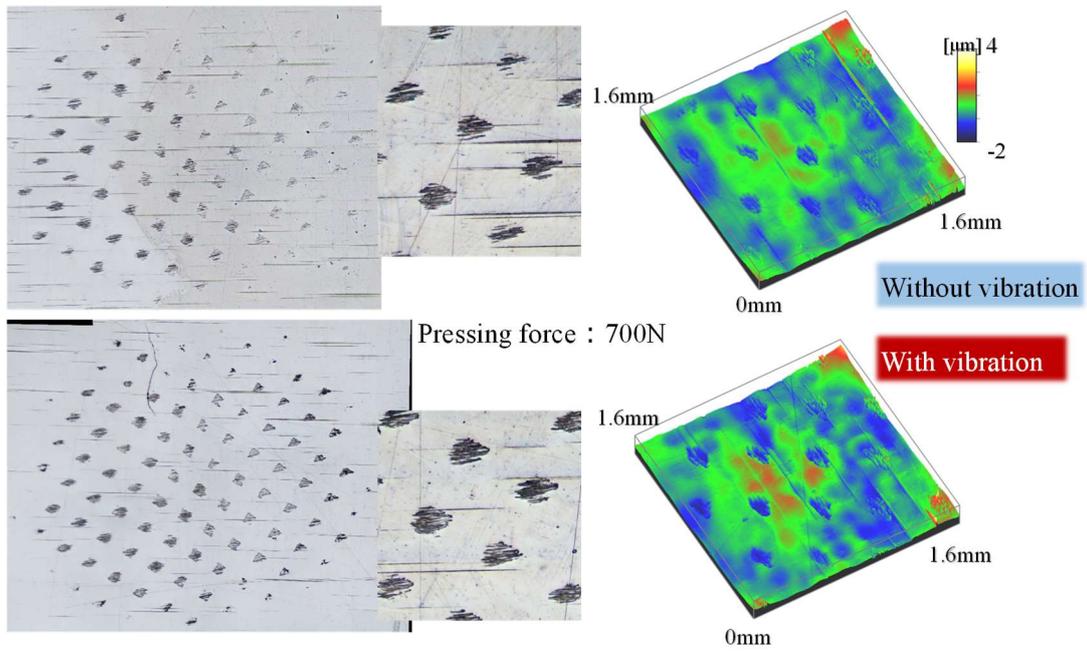


Fig.9 Texture formed on A7075P

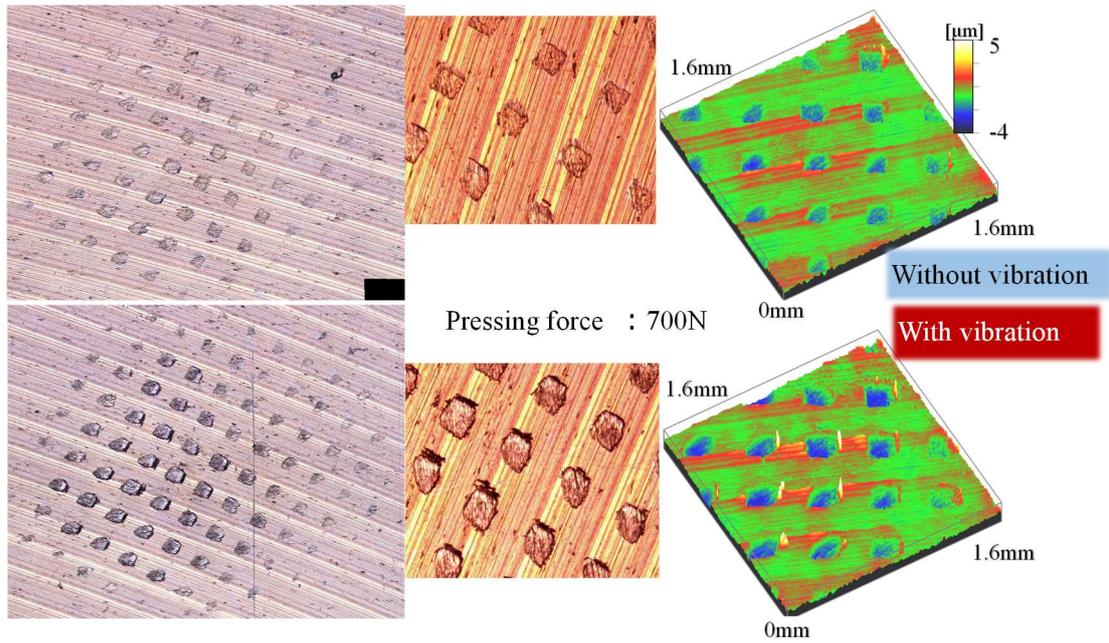


Fig.10 Texture formed on C1100P

以上の結果から、ローレット加工に超音波を複合することで、大面積のしゅう動面へ微細凹凸を効率的に創成することが可能であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka	4. 巻 23-3
2. 論文標題 A Fundamental Experiment for Micro Ultrasonic Knurling Technology Creating High Precision Texture on Sliding Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 205-212
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka	4. 巻 23-1
2. 論文標題 Study on Application of Ultrasonic Vibration to Manufacturing (Examples of Application and Future Aspect)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 25-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka	4. 巻 24-2
2. 論文標題 Reduction of Pressing Force and Friction Force in Micro Ultrasonic Knurling Technology Creating High precision Texture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 117-122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 高精度テクスチャを創生する超音波応用転写加工技術の開発（押付力と摩擦力の低減）
3. 学会等名 山梨講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 超音波応用転写加工技術を用いた格子状平面テクスチャの転写
3. 学会等名 電子情報通信学会超音波研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka
2. 発表標題 Reduction of Pressing Force and Friction Force in Micro Ultrasonic Knurling Technology Creating High Precision Texture
3. 学会等名 The Tenth International Conference on Information (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久、劉士豪
2. 発表標題 高精度テクスチャを創生する超音波応用転写加工技術の開発 (基礎的実験)
3. 学会等名 日本機械学会Dynamics and Design Conference2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka
2. 発表標題 Micro Ultrasonic Knurling Technology for Creating High Precision Texture on Sliding Surface (Fundamental Experiment)
3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 超音波振動を利用した転写加工技術のための基礎研究
3. 学会等名 電子情報通信学会超音波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久、劉士豪
2. 発表標題 高精度テクスチャを創生する超音波応用転写加工技術の開発（格子状平面テクスチャの転写）
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第57期総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 機械加工における超音波振動の応用例と今後の展望
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告会 強力超音波
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 超音波応用加工例と塑性加工への応用の展望
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第56期総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru Aoki, Yasunori Sakai, Tomohisa Tanaka
2. 発表標題 Micro Ultrasonic Knurling Technology Creating High Precision Texture on Sliding Surface in Mechanical System (Fundamental Experiment)
3. 学会等名 ASME 2021 Pressure Vessels & Piping Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 高精度テクスチャを創成する超音波応用転写加工技術の開発（加振振動数の影響）
3. 学会等名 山梨講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木繁、酒井康徳、田中智久
2. 発表標題 テクスチャ転写技術への超音波振動の応用
3. 学会等名 電子情報通信学会超音波研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	田中 智久 (Tanaka Tomohisa) (70334513)	東京工業大学・工学院・准教授 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	酒井 康德 (Sakai Yasunori) (70774769)	芝浦工業大学・システム理工学部・助教 (32619)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関