

# 超音波振動援用旋削による焼入鋼への 高速テクスチャリング技術の開発と機能性の評価

## Faster generation of surface texture on hardened steel by ultrasonic vibration cutting and its functionality

長岡技科大・工（学）\*高島 孝太 長野高専（正）柳澤憲史 秋田高専（非）辻 尚史  
一関高専（非）原 圭祐 長岡技科大・工（非）川村 拓史,（非）磯部 浩巳

Kota Takashima\*, Kenji Yanagisawa\*\*, Naofumi Tsuji\*\*\*, Keisuke Hara\*\*\*\*, Hirofumi Kawamura\*, Hiromi Isobe\*

\*Nagaoka University of Technology, \*\*Nagano KOSEN, \*\*\*Akita KOSEN, \*\*\*\*Ichinoseki KOSEN

### 1. 諸言

表面テクスチャリングは摺動面に  $\mu\text{m}$  スケールの粗さを有するディンプルを創成する手法で、摩耗粉の捕集や油だまりによる摺動特性の改善効果が報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、現在のテクスチャリング技術は専用工程の必要性や単位時間あたりの創成面積が小さいという課題から、生産性が低く産業的には限定された適用領域に应用されている。これに対して、切込方向の超音波振動切削を用いて高効率にテクスチャリングする試みがある。本技術は切込方向の高い振動速度と数十  $\text{m/min}$  の機械加工における実用的な切削速度が重畳された工具相対運動軌跡が被加工面に転写されることから、極めて生産性の高いテクスチャリング技術である。本研究では高い切削速度による加工プロセスである特長を活かして、摺動部材として用いられる焼入鋼に対して本技術の適用を検証した。

### 2. 実験方法

Figure 1 に端面旋削による加工プロセスの概要と、創成されるテクスチャ形状の模式図を示す。背分力方向に超音波振動する工具によって、送り方向には工具の先端形状が転写され、切削方向には旋盤の主軸回転にともなう切削送りと工具振動による相対運動軌跡  $TR$  が転写される。切削方向を  $x$  軸とすれば、 $TR(x)$  は以下の式で表される。

$$TR(x) = a \cdot \cos\left(\frac{2\pi f_u}{V_c} x\right) \quad (1)$$

ここで、 $a$ ：超音波振動振幅、 $f_u$ ：超音波振動周波数、 $V_c$ ：切削速度である。したがってテクスチャピッチは、送り方向では主軸一回転あたりの送り量で決定され、切削方向では超音波振動周波数と切削速度の比によって決定される。

Figure 2 に加工装置の外観と、Table 1 に加工条件を示す。旋盤の刃物台に超音波振動ホーンを取り付けた。超音波振動ホーンは縦振動の腹となる位置に旋削チップ（三菱マテリアル、NP-CCGW060202GA2 BC8120）を取り付け、背分力方向に  $a = 1.7 \mu\text{m}_{\text{p-p}}$  で振動する。被削材は SCM415 の浸炭焼入・焼戻材を用い、被加工面のビッカース硬さは 700 HV であった。旋削チップはホーニングが施された CBN 工具を用いた。テクスチャ加工は焼入による硬化層（ $\sim 400 \mu\text{m}$ ）よりも浅くするため  $50 \mu\text{m}$  の切込でおこなった。したがって、本実験条件では切込量が浅く、 $130 \mu\text{m}$  のホーニング長さ以下であるため、負のすくい角（ $-25^\circ$ ）によって加工がおこなわれる。式 (1) より、切削方向の断面プロファイルは正弦波形状であることから、摺動時に凸部が接触する。そこで、2 次加工によ

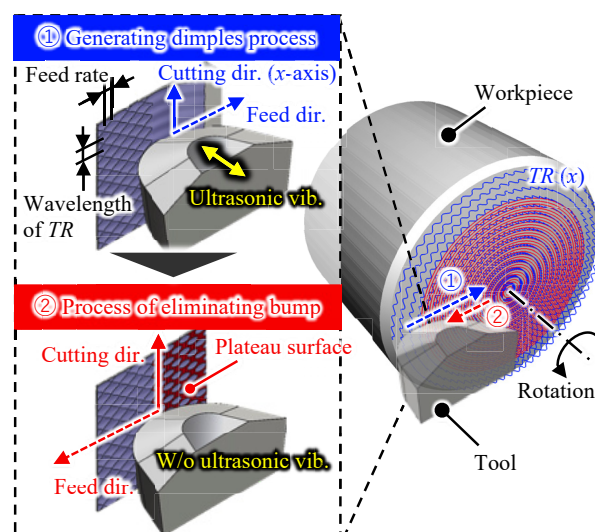


Fig. 1 Overview of texturing and theoretical model

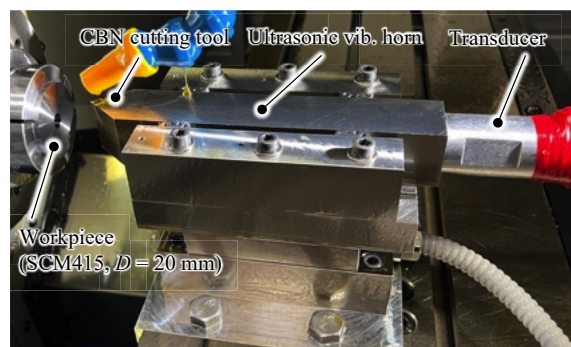


Fig. 2 Cutting apparatus for generating texture

Table 1 Cutting conditions

|                                     | Process ①                                  | Process ② |
|-------------------------------------|--|-----------|
| Spindle speed, $\text{min}^{-1}$    | 2170                                       | 2170      |
| Feed rate, $\mu\text{m}/\text{rev}$ | 30   | 10        |
| Depth of cut, $\mu\text{m}$         | 50   | 0         |
| Ultrasonic vib.                     | 28.4 kHz<br>$1.7 \mu\text{m}_{\text{p-p}}$ | Without   |
| Cutting tool geometry               |  |           |

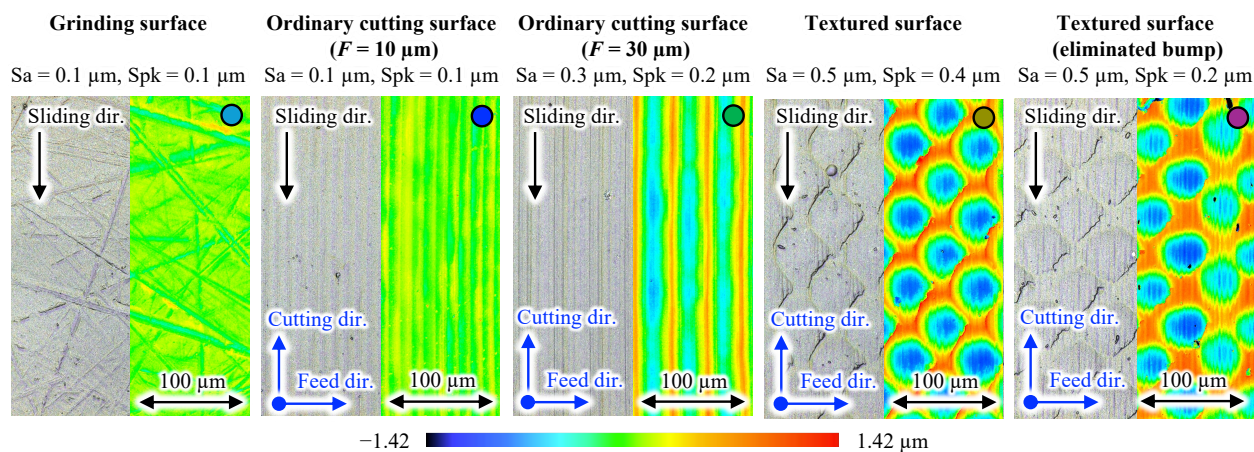


Fig. 3 Laser microscopy images and surface roughness of each surface

って  $TR$  の凸部のみを除去する工程を行った。まず、被削材外周から主軸回転中心へ超音波振動切削を行い (①), 切込をおこなわずに外周へ向かって慣用旋削を行った (②)。

### 3. 実験結果

#### 3.1 テクスチャの加工

Figure 3 に摺動試験に供する表面のレーザ顕微鏡像を示す。摺動特性の比較のために、研削面、慣用加工面 (送り方向ピッチ  $F = 10, 30 \mu\text{m}$ ), テクスチャ加工面 (凸部あり, 送り方向ピッチ  $30 \mu\text{m}$ , 切削方向ピッチ  $60 \mu\text{m}$ ), テクスチャ加工面 (テクスチャ加工面の凸部のみ除去) を作製した。図中の切削および送り方向は、1 次加工における各方向を示している。算術平均高さ ( $Sa$ ) および突出山部高さ ( $Spk$ ) はレーザ顕微鏡による観察結果から算出した。これらの結果から、 $700 \text{HV}$  程度の硬さを有する焼入鋼に対しても理論どおりのピッチを有するテクスチャを創成することができた。

#### 3.2 トライボロジー特性の評価

ボールオンディスク試験をおこないテクスチャの効果を検証した。相手材は軸受鋼球 ( $62-67 \text{HRC}$ ,  $Ra 0.05 \mu\text{m}$ ) とし、摺動界面を粘度  $100 \text{cSt}$  のシリコンオイルで満たし、摺動速度:  $0.09 \text{ m/s}$ , 加重  $1 \text{ N}$  で実験をおこなった。Figure 4 に各表面の時間経過に対する摩擦係数の変化を示す。10 秒ごとに起動・停止を繰り返し、図中のプロットとエラーバーは各サイクルの平均値および標準偏差 ( $3\sigma$ ) を意味する。摩擦係数の平均値はテクスチャ加工面 (凸部のみ除去) が最も小さくなり、標準偏差も最も小さかった。これは、ディンプルによる摩耗粉の捕集効果や、加工硬化による接触剛性の向上効果が複合的に作用した結果と考えられる。テクスチャ加工面 (凸部あり) も平均値は低いが標準偏差は大きくなった。これは凸部が過大な接触応力を生じさせ、摩耗を促進させたためと考えられる。以上の結果より本技術によって焼入鋼の摩擦係数を低減できることがわかった。

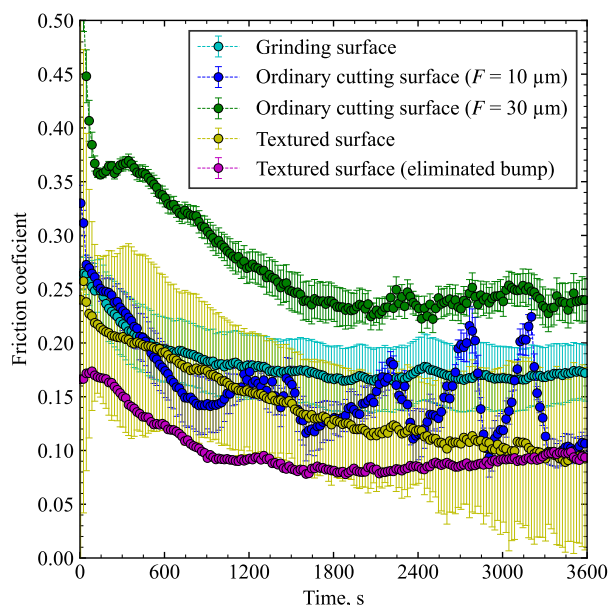


Fig. 4 Comparison of relationship between time and friction coefficient on each surface

### 4. 結言

超音波振動切削を用いた焼入鋼に対する高効率なテクスチャ加工技術を提案した。2 次加工によってテクスチャ加工面の凸部を除去することで摩擦係数の平均値を研削加工面の半分程度に低減でき、摺動中における摩擦係数の変動も小さくなった。今後は摺動後の摩耗状態を評価するとともに、加工後の残留ひずみ分布からメカニズムをより詳細に考察し、本技術の有用性について明らかにする。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、野口精機株式会社に被削材のご提供および、硬さ試験、研削加工を行なっていただきました。ここに感謝申し上げます。また、本研究は JSPS 科研費 24KJ1176, 工作機械技術振興財団および永井知覚科学振興財団の助成を受けたものである。

### 文献

- 1) Bai L et al.: Friction Behavior of a Textured Surface against Several Materials under Dry and Lubricated Conditions, Materials, 18, 14, (2021) 5228.