

滑りバニシング加工に及ぼす表面性状の影響

Effects of Surface Roughness on Sliding Burnishing

福井高専（正） *加藤 寛敬

Hiroataka Kato

National Institute of Technology, Fukui College

1. はじめに

バニシング加工は、工具を材料の表面に押し付けながら回転または相対運動させて、材料表面に塑性変形を生じさせつつ滑らかな仕上げ面を得る方法である。とくに、工具を回転させずに材料表面に押し付けて相対運動を与える滑りバニシング加工を行った材料表面は、摩擦の巨大塑性ひずみにより組織が超微細化・ナノ結晶化して硬度が上昇し、耐摩耗性の向上が期待できる。また、旋盤などの汎用機械で加工が可能で特殊な加工装置を必要としない、といった特徴もある。これまで丸棒の外周面を加工対象とした研究¹⁻³⁾が行われているが、平面を加工対象とした研究は少なく、とくに加工前の表面性状がバニシング加工面に及ぼす影響や⁴⁾、その摩擦方向が摩耗特性に及ぼす影響について明らかにされているとはいえない。そこで本研究では、表面性状の異なる試験片に、旋盤を用いて滑りバニシング加工（Sliding Burnishing, 以下 SB 加工）を行い、SB 加工前の表面性状と加工条件が SB 加工面に及ぼす影響、さらに SB 加工の摩擦方向と摩耗試験の摩擦方向の関係が摩耗特性に及ぼす影響について調査した。

2. 実験方法

まず、炭素鋼 S45C (HV 250) のディスク試験片（直径 60 mm、厚さ 5 mm）の平面部に、コーナ半径 0.4 mm の超硬チップを用いて送り速度 f を変化（0.1 mm/rev～0.5 mm/rev）させ旋削加工を行い、異なる表面粗さ（Ra 1.1 μ m～Ra 12.9 μ m）をもつ試料を作製した。その旋削面に、旋削加工と同じ方向に、Fig. 1 に示すような SB 加工を施した。旋盤の主軸にディスク試験片を固定し回転させ、ボール固定用治具を刃物台に固定し、旋盤の自動送り装置によってボールに送りを与えた。ボール治具の中にばねを内蔵させて、ボールをディスクに押し付けることで、治具の押し込み量に応じたばねの反発力によりディスクに荷重を与えられるようにした。この押し付け荷重は、刃物台に取り付けた 3 次元切削動力計により計測した。SB 加工条件は、ボール材質 Si_3N_4 、ディスク回転速度 800 rpm、ボール送り速度 0.01 mm/rev、加工回数 1 回、潤滑油無しとし、ボールの直径（ ϕ 6.35 mm と ϕ 12.7 mm）と、押し付け荷重（250 N と 500 N）を変化させた。SB 加工後、触針式表面粗さ計を用いて加工面の表面粗さを測定した。

また、SB 加工面から摩耗試験片を切り出し、ボールオンディスク摩耗試験により SB 加工の摩擦方向と摩耗試験の摩擦方向の関係が摩耗量に及ぼす影響を調査した。摩耗試験条件として、相手材のボール材質は SUJ2 または超硬合金とし、潤滑油無しの乾燥した Ar ガス（99.999 %）中で、押し付け荷重 40 N、摩擦速度 0.016 m/s、試験時間 10 分で行った。

3. 実験結果

3.1 SB 加工面の表面性状

Figure 2 に、旋削送り 0.3 mm/rev. と 0.5 mm/rev. のそれぞれの旋削面に、ボール直径 ϕ 12.7 mm、押し付け荷重 250 N で SB 加工した面のマイクロスコープ画像と粗さ曲線を示す。0.3 mm/rev. の旋削面の凹凸は、SB 加工によって塑性変形して平滑化され、飛躍的に表面性状が向上していることがわかる。一方、0.5 mm/rev. の旋削面では凹凸が非常に大きいため、SB 加工面に旋削痕の凹凸が残り、表面性状はあまり良くならなかった。

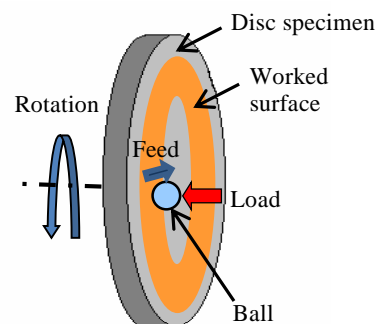


Fig. 1 Schematic diagram of burnishing method

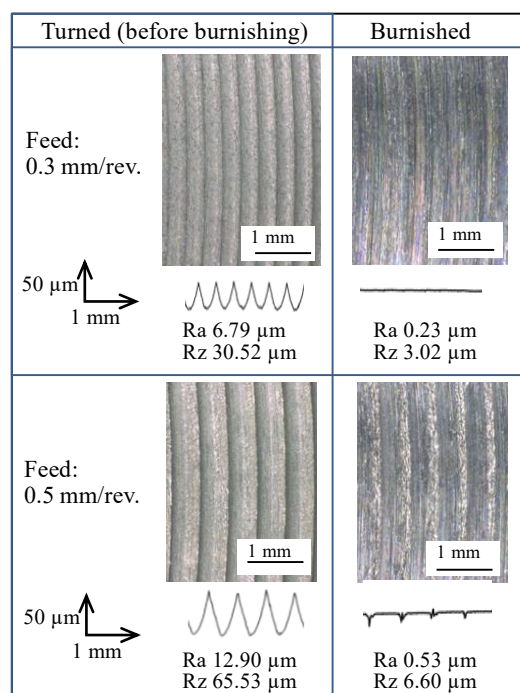


Fig. 2 Microscope images and surface profile graphs for turned surface and burnished surface (ϕ 12.7 mm, 250 N)

Figure 3 (a)に、ボール直径 $\phi 6.35$ mm で SB 加工した場合の旋削面 (SB 加工前) の送り f と SB 加工面の R_a の関係を示す。押し付け荷重 250 N において、旋削面の f が 0.3 mm 以下では、SB 加工により R_a が約 0.2 μm に平滑化された。しかし、旋削面の f が 0.3 mm を超えると、SB 加工面に旋削痕の凹凸が残り R_a は増加した。すなわち、加工前の表面粗さが大きいと旋削面の凹凸が SB 加工面に残り、平滑化できる SB 加工前の旋削送りには限界値 (f^*) が存在する (この場合 $f^*=0.3$ mm) ことがわかった。一方、押し付け荷重 500 N では f^* は 0.4 mm となり、250 N と比べて大きくなった。これは高荷重の方が SB 加工面における塑性変形の程度が強くなり、凹凸を平滑化しやすいためである。なお、平滑化された SB 加工面の表面粗さは、加工前の表面粗さや押し付け荷重の影響を受けないことがわかった。

Figure 3 (b)に、ボール直径 $\phi 12.7$ mm で SB 加工した場合の旋削面の f と SB 加工面の R_a の関係を示す。押し付け荷重 250 N では $f^*=0.4$ mm、500 N では f^* は 0.5 mm 以上となり、ボール直径が大きい方が f^* は大きくなった。ボール直径を大きくするとヘルツ接触面積が増加し、ディスクの回転に伴うディスク単位面積当たりのボールの接触回数が増加して表面の凹凸を平滑化しやすくなると考えられる。なお、これらの f^* の値はヘルツ接触幅 (直径) と関係していた。

3.2 SB 加工面の硬さ

Figure 4 にボール直径 $\phi 6.35$ mm で SB 加工した面の表面硬さ (試験荷重 2.94 N) を示す。SB 加工前の表面粗さは、加工後の表面硬さに影響しないことがわかった。また、押し付け荷重 250 N に比べ、500 N は表面硬さが高くなった。これは、高荷重を用いることでディスク表面での摩擦力が大きくなり、材料の塑性歪み量が増加したためである。

3.3 SB 加工面の摩耗試験結果

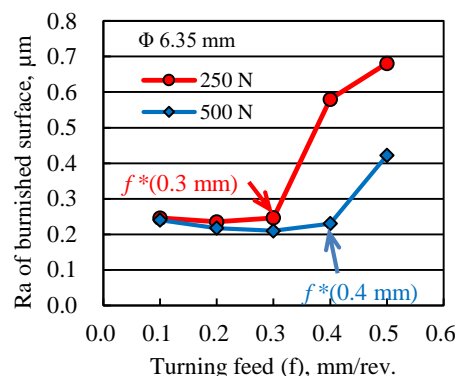
Figure 5 に、旋削送り 0.1 mm/rev. の旋削面にボール直径 $\phi 6.35$ mm で SB 加工した加工面のボールオンディスク摩耗試験におけるディスク角度が摩耗量に及ぼす影響を示す。ディスク角度 0° は、SB 加工と摩耗試験の摩擦方向が逆向き、 90° と 270° は垂直、 180° は同じ向きである。相手材が SUJ2、超硬合金の両者で、ディスク角度 0° の摩耗幅が最も少なく、 90° と 270° の摩耗幅が 180° の摩耗幅より大きくなっている。すなわち、摩擦方向が垂直 (90° 、 270°) の場合は逆向き (0°) や同じ (180°) の場合より摩耗が多いと言える。

4. 結論

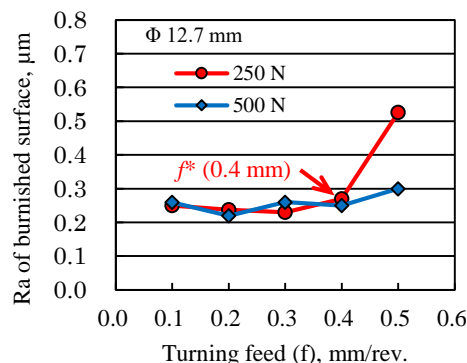
加工前の表面性状が滑りバニシング (SB) 加工に及ぼす影響について以下の結論が得られた。(1) 加工前の表面粗さが大きいと表面の凹凸が SB 加工面に残り、平滑化できる SB 加工前の旋削送りには限界値 (f^*) が存在する。(2) f^* の値は、押し付け荷重とボール直径が大きいほど増加する。(3) f^* より小さい旋削面への SB 加工面の表面粗さは、加工前の表面粗さや押し付け荷重の影響を受けない。(4) 加工後の表面硬さは加工前の表面粗さの影響を受けない。(5) SB 加工面の耐摩耗性は、SB 加工と摩耗試験の摩擦方向が逆向きの場合において、摩擦方向が同じや垂直の場合と比較して良くなる。

文献

- 1) W. L. Li, N. R. Tao & K. Lu: Scripta Mater., 59 (2008) 546
- 2) 薬師寺・渡辺・後藤・戸高: 日本機械学会論文集, 80, 818 (2014) 1.
- 3) 田中・石井・柳: 塑性と加工, 52, 606 (2011) 116.
- 4) M. Korzynski: J. Mater. Proc. Technol., 209 (2009) 625.



(a) 6.35 mm of a ball diameter



(b) 12.7 mm of a ball diameter

Fig. 3 Relationship between turning feed and R_a of burnished surfaces

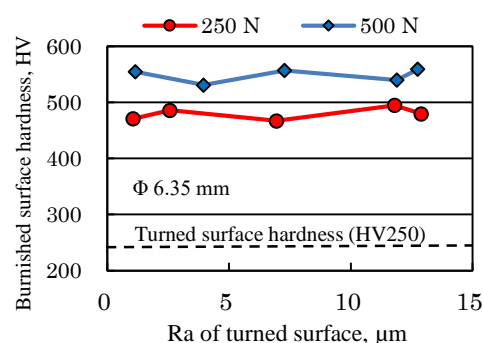


Fig. 4 Effects of R_a of turned surfaces on burnished surface hardness ($\phi 6.35$ mm)

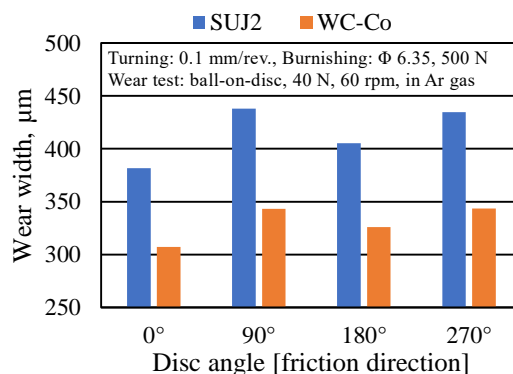


Fig. 5 Effects of friction direction on wear width of burnished surface