

# 固体表面の塑性変形・加工メカニズムの ナノスケール～連続体を通じた理解

研究代表者 新藤 斎 研究員  
共同研究員 井原 透 研究員

## 研究概要:

工具初期摩耗の期間を予測するために初期摩耗機構を調べた。まず、仕上面観察結果より被削材介在物の挙動を推測し、次いで同推測に基づく模擬実験を原子間力顕微鏡を用いて実施した。実験結果より、介在物が工具表面の高い凸部を、除去すると同時に塑性変形(凸部を押し潰し凹部を盛り上げる)を生じさせることが分かった。同機構の結果、工具表面は平らになり、このとき、初期摩耗が終了して定常摩耗に移行すると予想できる。

## 研究背景と目的:

無人化工場では摩耗による工具寿命を99.99%で予測する必要がある。急激な摩耗を生じる信頼性の低い初期摩耗を避けるために、初期摩耗後の工具を使用することが望まれる。しかしながら、初期摩耗の期間が予測できないために、通常は定常摩耗まで進んだ工具を使用することになり、工具費用や仕上げ面精度における無駄が嵩んでいる。そのため、初期摩耗期間をより正確に予測することが希求されている。

そこで本研究では、初期摩耗期間を正確に予測するために初期摩耗の機構を調べることを目的とした。

## 実験及び考察:

### 実験1:

初期摩耗期間内の仕上面に残る摩耗痕を観察した<sup>1)</sup>。図1に示すように、100secだけ切削した仕上げ面には10 $\mu$ mほどに引き伸ばされた介在物の空隙が残されている。図2に示す元素分析結果より、空隙の端にAl, SiとともにCやOが検出された。このことから、介在物はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiCといった非金属介在物とされる。サイズは3~5 $\mu$ mほどであったので、同介在物はスリップや振動/回転などを伴いながら工具面上を擦過したと推測される。なお、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は破碎されていたことが分かった。これに対し、SiO<sub>2</sub>, SiCは破碎されていない。

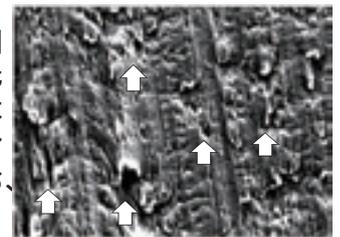


図1 仕上げ面の引き伸ばされた介在物の空隙

### 実験2:

SiO<sub>2</sub>介在物の挙動を原子間力顕微鏡を用いて模擬した<sup>1)</sup>。球形のSiO<sub>2</sub>プローブで超硬工具面上を擦過する実験を、スリップ挙動はコンタクトモード、振動/回転挙動はタッピングモードを用いて模擬した。その結果、図3に示すようにコンタクトモードでは凸部となる30nm程度の超硬粒子が剥離破壊され除去される。この作用は超硬粒子を把持している焼結面や結合剤の把持力が弱いために生じたのであろう。また、図4に示すようにタッピングモードでは超硬表面のあらさが塑性変形のために70nm程度小さくなり、平坦化された。

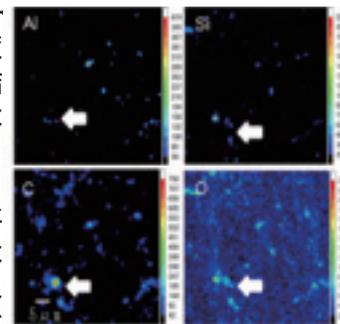


図2 空隙周辺の元素分析

### 考察:

どういった場合に破壊が生じ、どういった場合に塑性変形が生じるのかは、摩擦の異方性と非対称性<sup>2)</sup>に依存すると考えられる。また、本模擬実験の擦過速度(1 $\mu$ m/sec= $1 \times 10^{-6}$ m/sec)は実際の切削速度(30m/min= $0.5$ m/sec)とは異なるが、速度による変化は衝撃力になると考えられるので、応力波の伝播速度が2000m/secに対しては切削速度でも静的変化と見做すことができる。したがって、模擬実験で静的ならびに動的な力学機構は捉えられていると考えられる。ただし、超硬よりも低硬度のSiO<sub>2</sub>プローブで塑性変形が生じ、超硬と同程度硬度のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が破碎されることは熱衝撃が影響すると考えられるため、熱的機構に関しては今後課題が残る。

以上を要するに、初期摩耗の要因は被削材中の介在物がスリップや振動/回転することによる超硬粒子の剥離破壊や塑性変形と考えられるので、被削材中の介在物の統計的分布が分かれば初期摩耗期間は推定可能だと思われる。

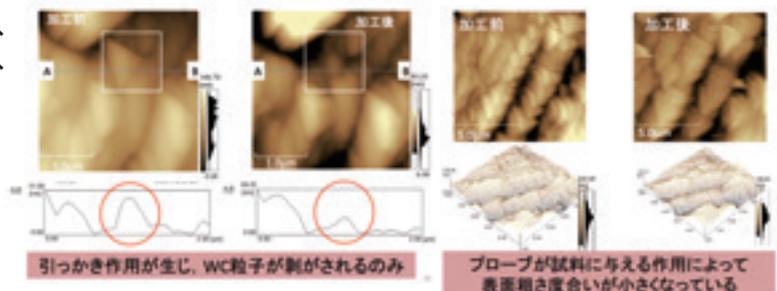


図3 コンタクトモード擦過実験

図4 タッピングモード擦過実験

文献 1)西村他 2015秋精密工学会講演論文集F32 2) Shindo, Namai, Phys. Chem. Chem. Phys. 5(2003)616