

微小切込み時における研削機構の実験的評価 Experimental Evaluation of Grinding Mechanism in Micro Depth of Cut

○湯下大樹¹, 三浦浩一², 山田高三², 李和樹²
*Hiroki Yuge¹, Takazo Yamada², Kohichi Miura² and Hwa-Soo Lee²

Abstract: In order to make clear the grinding mechanism in micro depth of cut, micro grinding test with a diamond indenter having defined geometrical shape is carried out. As the experimental results, it is clarified that the ratio of two force components and the swell-out residual ratio in micro grinding have different tendencies from ordinary grinding area. Based on these results, it can be estimated that the grinding mechanism in micro grinding differs from the ordinary grinding mechanism

1. 緒 論

砥石は、砥粒が複雑かつランダムに配置された構造をしているため、砥石をある設定切込量で工作物を研削しても、砥粒一粒の切込量は砥粒毎に異なる。また、砥粒毎に形状が異なるため、砥粒一粒あたりの研削機構を明確化するのが難しいのが現状である。

そこで本研究では、形状の定まっているダイヤモンド圧子を砥粒に見立て、微小領域で研削を行うことにより、研削機構を解明することを目的としている。ある設定切込量で研削を行い、その際の接線抵抗、法線抵抗を測定した。除去形態が変わると、接線抵抗と法線抵抗の大きさおよび比が変化すると考え、それらの比である研削二分力比で研削形態を評価した。また、切りくずの生成状態を調べるため、研削後の断面形状から見かけの除去量と盛り量の面積比である比盛り切残し量を算出し除去形態を評価した。

2. 除去形態の評価方法

除去形態の評価のために、研削二分力比と比盛り切残し量を用いた。

研削二分力比とは次式に示すように接線抵抗 F_t に対する法線抵抗 F_n との比を示したものである。

$$\mu = \frac{F_n}{F_t} \quad (1)$$

研削二分力比は通常、2~4 程度となるが、良好な研削が行われなときは大きな値となる傾向にあり、研削形態を評価する一つのパラメータでもある。そこで本研究では、除去形態が変わると、この研削二分力比が異なるものと考え、評価に用いることにした。

比盛り切残し量とは図 1 に示すように、研削痕における盛り量 $m_1 + m_2$ と見かけの除去量 M との比を示し、次式に表すことができる。

$$\eta = \frac{m_1 + m_2}{M} \quad (2)$$

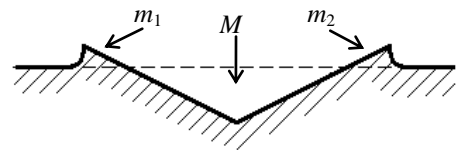


Figure 1. Cross section of ground groove

切りくずが良好に排出された場合、研削部の盛り量に対して除去量が多くなる。そのため、比盛り切残し量は小さいほうが良好な研削が行えたことを示す。

3. 実験方法

高精度 CNC 旋盤(株式会社 PMT 社製, UAM-A3S)の主軸に工作物を取り付け、工具にはマイクロビッカース試験用ダイヤモンド圧子を用いて研削を行った。研削時の法線抵抗と接線抵抗は、三分力センサを用いて測定した。なお、工作物の材料には S45C を使い、予め加工面は鏡面加工を行い、算術平均粗さ $Ra0.01\mu\text{m}$ 以下にしたものを用いた。

実験手順はまず、 2000min^{-1} (周速度約 3.5m/s)で回転している工作物に対して工具を送り量 $0.1\mu\text{m}$ ずつ近づけていき、接触時の力を感知した時点まで切込量 $0.1\mu\text{m}$ とする。次に工具を後退させ、研削位置を工作物中心方向に $10\mu\text{m}$ 移動させ、任意の設定切込量で研削を行う。以上の工程を設定切込量 $1.4\mu\text{m}$ まで繰返し行い、3 つの工作物で 3 回ずつ同様の実験を行った。また、AFM を用いて研削後の工作物の断面形状から、研削痕深さの測定および比盛り切残し量の算出を行った。

4. 実験結果

図 2 に研削痕深さと研削二分力比の関係を示す。図 2 より、研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ 以下においては、研削二分力比が 1~7 に大きくばらついていることがわかる。これに対して、 $0.5\mu\text{m}$ 以上では 2~4 となっており、良好な研削が行えていることを示している。

次に、図 3 に研削痕深さと比盛り切残し量の関係を示す。図 3 より、工具と工作物の干渉量を徐々に増加させていくと、研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ 付近で比盛り切残し量が減少し始めることがわかる。これは切りくずの発生を示すため、図 3 における研削二分力比の変化は切りくずの発生に起因すると考えられる。また図 3 において、比盛り切残し量が 1 より大きい値をとっている。これは、除去量に対して盛り量のほうが大きいことを示しており、適切な研削が行われていないものと考えられる。

以上の研削二分力比と比盛り切残し量の結果から、研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ を境に、研削形態が異なるものと考えられる。

そこで、研削痕深さと接線抵抗の関係について検討した。図 4 に研削痕深さと接線抵抗との関係を示す。図 4 より、研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ 付近で接線抵抗の傾きが大きく変わっていることがわかる。研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ 以下では、抵抗の値は小さく、傾きも小さくなっている。そのため、微小領域での研削では、切りくずを排出する力が小さくなり、良好な研削が行われず、図 2 の研削二分力比においては値が大きくなり、図 3 の比盛り切残し量も盛り量のほうが大きくなったものと考えられる。

研削時の形態には、図 5 に示すように弾性的上滑りを起こすラビング領域、塑性的上滑りを起こすプローイング領域、そして正常に切りくずを排出するカッティング領域の三形態が存在する^[1]。そこで本研究での結果を見てみると研削痕深さ $0.5\mu\text{m}$ で研削抵抗に遷移点が見られたことから、この付近にプローイング領域とカッティング領域の遷移点があるものと考えられる。

以上の結果から研削時には、研削二分力比や比盛り切残し量を用いることで、プローイング領域とカッティング領域を明確化できることがわかった。

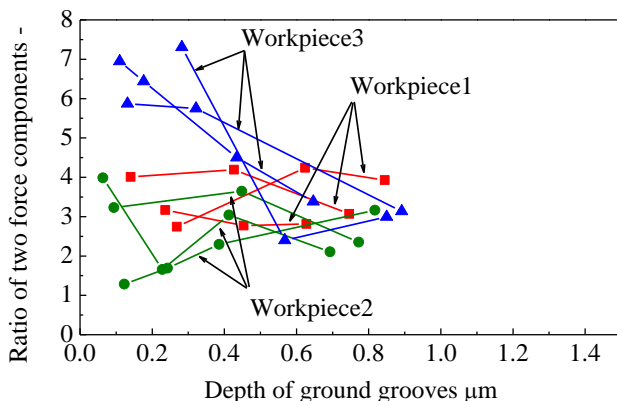


Figure 2. Relation between depth of ground groove and ratio of two force components

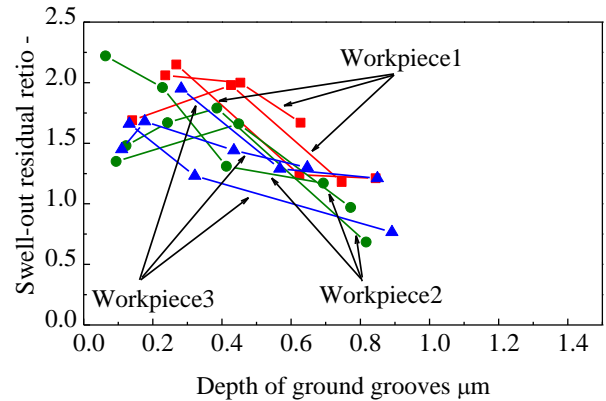


Figure 3. Relation between depth of ground grooves and swell-out residual ratio

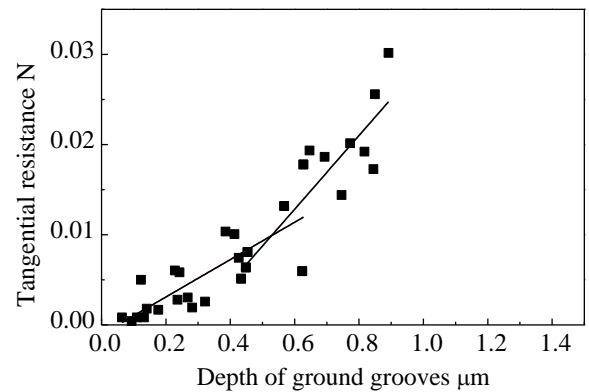


Figure 4. Relation between depth of ground groove and tangential resistance

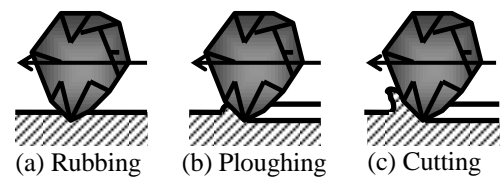


Figure 5. Schematic diagram of three phase actions of abrasive grain to workpiece

5. 結論

- 微小研削領域では、研削二分力比と比盛り切残し量が大きく、工具と工作物の干渉量が増加するにつれて減少することがわかった。
- 研削二分力比と比盛り切残し量を用いて、プローイング領域とカッティング領域を明確化できることがわかった。

6. 参考文献

- [1] R.S. Hahn, On the nature of the grinding process, Proceedings of the 3rd International Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, U.K., published by Pergamon Press (1962)129-154