

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420039

研究課題名(和文)ハイレシプロ研削の研削特性解明と高能率・高精度加工への応用

研究課題名(英文) Study on the formation mechanism of high-speed reciprocation grinding and application to high-precision machining

研究代表者

吉原 信人 (YOSHIHARA, Nobuhito)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：80374958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ハイレシプロ研削の加工メカニズムを解明し、高精度・高能率な成形研削を実現することである。そのために新たに成形研削のモデルを提案し、研削抵抗と研削面粗さの理論解析を行った。また研削実験を行い、ハイレシプロ研削における研削条件と研削抵抗および研削面粗さの関係を明らかにした。その結果、成形研削面を高精度化するために最適な研削条件の選定が可能になった。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this study is to reveal the machining mechanism of high-speed reciprocation grinding and make high-speed reciprocation grinding high precision. To achieve this purpose, simulation model of form grinding is newly proposed. As a result, relationship between grinding condition and grinding force and roughness of ground surface is revealed theoretically. And based on this result, it is enabled to suggest the optimum grinding condition.

研究分野：工学

キーワード：ハイレシプロ研削 高能率加工 高精度加工 研削抵抗 研削面粗さ

1. 研究開始当初の背景

現在 仕上げ研削は、クロス送り量と工作物送り速度を小さく設定し、単位時間当たりに仕上げられる研削面の面積が小さい状態でなされている。その結果、研削工程に要する時間が長くなっている。

研削能率を高くするための一般的な研削法としてハイレシプロ研削法とクリープフィード研削法がある。ハイレシプロ研削とは工作物を高速反転運動させて研削を行う研削法である。工作物の送り速度が速いため、1回の工作物送りに対する砥石半径切り込み量が小さくなる。一方、クリープフィード研削法とは、砥石半径切り込み量を大きくし、工作物送り速度を遅くする研削法である。クリープフィード研削に関しては剛性の高い研削盤を用いた研究が多くなされている。しかしハイレシプロ研削は安定した高速反転運動の実現が難しく、スピードストローク研削と呼ばれる工作物を一方向に高速で送る研削法の研究にとどまっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ハイレシプロ研削の加工メカニズムを解明し、高精度・高能率な成形研削を実現することである。

ハイレシプロ研削盤を用いてトラバース研削を行う場合、工作物が1回送られるときに砥石に与えられるピックフィードは小さい。したがって研削点の大部分はスパークアウトの状態となり、良好な研削面が得られることが期待される。またトラバース速度を上げた場合も、ハイレシプロ研削条件下ではピックフィードは十分に小さな値に抑えることが可能である。したがってクロス送り速度が速い、高能率な仕上げ研削が可能になると期待される。そこでハイレシプロ研削の加工メカニズムを解明し、そこで明らかになるハイレシプロ研削の最適な運用方法を基に、高精度・高能率成形研削を可能とする。

3. 研究の方法

ハイレシプロ研削による成形研削の高精度・高能率化を実現するためには、ハイレシプロ化が研削抵抗と研削面粗さに与える影響について検討する必要がある。そこで研削抵抗と研削面粗さについて理論的に解析し、研削条件設定の指針を明らかにする。また、実際にハイレシプロ研削盤を用いてトラバース研削を行い、研削抵抗と研削面粗さを測定することにより確認をする。

4. 研究成果

(1) 研削抵抗

図1に研削モデルを示す。同図において v は工作物送り速度、 V は砥石周速度、 Δ は砥石半径切り込み深さ、 b は研削幅、 p は面圧である。このモデルをもとに研削抵抗の法線分力 F_n 、接線分力 F_t と研削条件の関係を導出した結果を次式に示す。

$$F_t = Cp \left(\frac{v\Delta b}{V} \right) + \mu F_n \quad (1)$$

ここで C は盛り上がり係数、 μ は工作物の摩擦係数である。

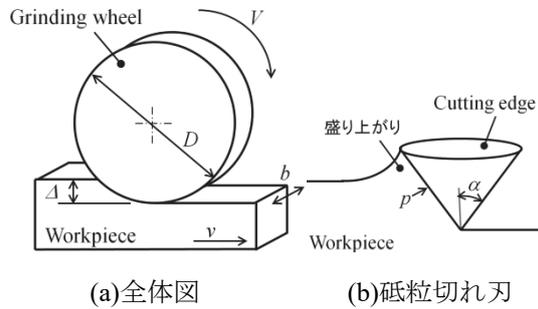


図1 研削モデル

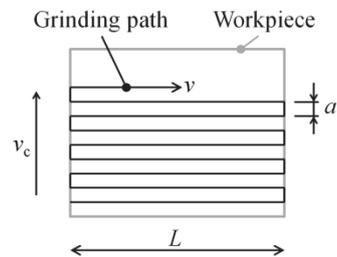


図2 成形研削における研削点の軌跡

図2に砥石に速度 v_c でクロス送りを与え、成形研削を行うときの研削点の軌跡を示す。同図においてピックフィード a が式(1)における研削幅 b に相当する。成形研削における単位時間当たりに創成される研削面の面積を Q とおくと、この Q はストローク L と v_c と用いて次式で表される。

$$Q = Lv_c \quad (2)$$

またピックフィード a は v 、 L 、 v_c を用いて次式のように表される。

$$a = v_c L / v = Q / v \quad (3)$$

同式より Q が一定のとき、ピックフィード a と工作物送り速度 v は反比例の関係にあることがわかる。また式(1)の研削幅 b に式(3)のピックフィード a を代入することにより、成形研削における研削抵抗と研削条件の関係は次式のように求められる。

$$F_t = Cp \left(\frac{\Delta Q}{V} \right) + \mu F_n \quad (4)$$

式(4)において工作物送り速度 v とピックフィード a は共に消去されている。これまでハイレシプロ研削ではピックフィード a が小さくなるため研削抵抗も小さくなると考えられてきた。しかし式(4)よりハイレシプロ化が研削抵抗に影響を与えないことが予測される。

このような予測を確認するために研削実験を行った。実験結果を図3に示す。同図より工作物送り速度が大きくなるほど、すなわちピックフィードが小さくなるほど研削抵抗が大きくなることがわかる。これは理論計算から得られた式(4)の結果と異なる。実際の研削においては、工作物送り速度が大きくなるほど削り残しが大きくなり、実質的な研削幅 b が大きくなるためであると考えられる。

これらの結果から、研削抵抗を小さく抑えるためには、仕上げ研削時の工作物送り速度は低くした方がよいことが明らかとなった。

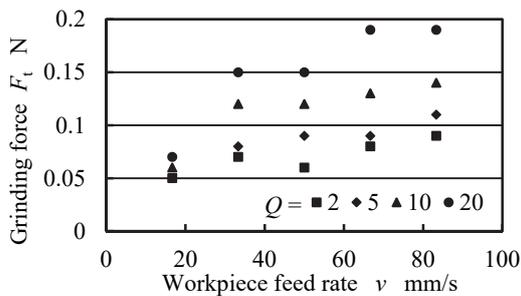


図3 研削抵抗の測定結果

(2) 研削面粗さ

統計的研削理論より、プランジ研削における研削面粗さと研削条件の間には次式のような関係があることがあきらかとなっている。

$$W_m(D, H_m, \alpha, V, v) = nW_o \quad (5)$$

ここで W_m は等高切削曲線と砥石表面で囲まれる部分の体積、 D は砥石直径、 H_m は最大高さ粗さ、 α は砥粒半頂角、 n はランダム係数、 W_o は砥粒1個が占める体積である。

ハイレシプロ研削による成形研削を考えるとき、図2に示したトラバース研削モデルを考慮する必要がある。このとき等高切削曲線と砥石表面で囲まれる部分の体積 W_m が b/a 個存在することになるため、式(5)は次式のように表される。

$$W_m(D, H_m, \alpha, V, v) \times b/a = nW_o \quad (6)$$

式(6)において不明な値は最大高さ粗さ H_m のみである。他は研削条件によって決まる値、あるいは定数である。したがって立体の体積 W_m を幾何学的に求めることにより、トラバース研削面の最大高さ粗さ H_m を計算することができる。計算した結果を図4に示す。同図より、工作物送り速度が大きくなるほど最大高さ粗さが大きくなり、最大高さ粗さが最小になる最適な研削条件が存在することがわかる。ただし研削能率が高くなるほど最大高さ粗さの最小値は大きくなる。

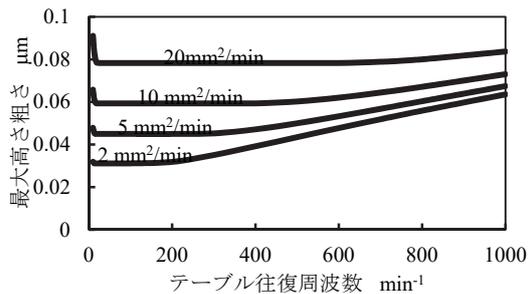


図4 テーブル往復周波数と最大高さ粗さの関係

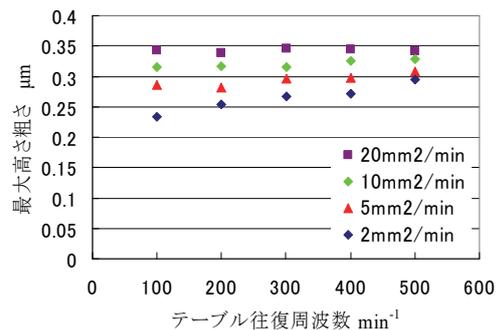


図5 実験結果

実際の実験結果を図5に示す。同図より研削能率が高いほど最大高さ粗さが大きくなること、工作物送り速度が高いほど最大高さ粗さが大きくなる傾向が確認される。したがって研削面粗さの観点からも、仕上げ研削時には工作物送り速度は低くした方がよいことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

① N. Yoshihara, Y. Fukuda, M. Houtan, N. Nishikawa and M. Mizuno, Grinding Characteristics of Waspaloy with High-Speed Reciprocation Grinding, Advances in Abrasive Technology XIX, 査読有, 2016, pp97-100.

〔学会発表〕(計5件)

① 吉原信人, 福田佑太, 宝満正嗣, 西川尚宏, 水野雅裕, ハイレスプロ研削法による耐熱合金の研削加工, 第11回生産加工・工作機械部門講演会, 2016.10.22-23. 名古屋大学(愛知県).

② Nobuhito Yoshihara, Syota Abe, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno, Effect of the grain depth of cut on surface roughness, International Symposium on Micro/Nano Mechanical Machining and Manufacturing, 2016.04.25-28, プラザホテル山麓荘(秋田県).

③ 吉原信人, 安部翔太, 中川智晴, 西川尚宏, 水野雅裕, 統計的研削法による研削面粗さの解析, 2015年度砥粒加工学会学術講演会, 2015.09.09-11, 慶応義塾大学(神奈川県).

④ 吉間睦紀, 吉原信人, 西川尚宏, 水野雅裕, ハイレスプロ研削における研削抵抗の解析, 2014年度精密工学会東北支部学術講演会, 2014.11.29, 弘前大学(青森県).

⑤ Nobuhito Yoshihara, Tomoharu Nakagawa, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno, Grinding characteristics of high-speed reciprocation profile grinding, International Symposium on Micro/Nano Mechanical Machining and Manufacturing, 2014.04.21-24, Xi'an, China.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉原 信人 (YOSHIHARA, Nobuhito)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号: 80374958