

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04120

研究課題名(和文) ハイレシプロ研削用砥石の開発と耐熱合金の高効率研削への応用

研究課題名(英文) Development of grinding wheels for high-speed reciprocation grinding and high-efficiency grinding of heat-resistant alloy

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) 3,300,000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研削メカニズムに対応した砥石を開発し、研削条件の最適化および難削材加工への応用を実現することである。そのため研削実験を行い、砥粒切込み深さが砥石摩耗に与える影響を明らかにした。また、砥粒切込み深さが大きくなる研削条件では研削温度が低く、砥石摩耗を抑制できることを明らかにした。さらに、この性質を応用することにより、耐熱合金の高精度・高効率研削が可能となることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インコネル718やワスパロイなどのニッケル基耐熱合金は航空産業など広く使用されるようになっている。しかし、これらの材料の熱伝導率は低く、研削熱の影響が大きくなるため砥石寿命が短くなることが問題となっている。ハイレシプロ研削の研削メカニズムを解明し、それに適用した砥石を選定することにより、これら難削材の高精度・高効率加工が実現する。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is to develop a grinding wheel corresponding to the grinding mechanism of high-speed reciprocation grinding, to optimize the grinding conditions and to realize the application to the machining of difficult-to-cut materials. Therefore, grinding experiments were conducted to clarify the effect of the depth of cut of the abrasive grains on the wear of the grinding wheel. It was also clarified that the grinding temperature is low under the grinding conditions where the depth of cut of the abrasive grains is large, and the wear of the grinding wheel can be suppressed. Furthermore, it was shown that by applying this property, high-precision and high-efficiency grinding of heat-resistant alloys becomes possible.

研究分野：工学

キーワード：ハイレシプロ研削 難削材 高効率研削 研削面粗さ 砥石摩耗

1. 研究開始当初の背景

研削加工において高能率化は非常に大きな課題である。高能率化を達成する手法としてクリープフィード研削法とハイレシプロ研削法が用いられている。クリープフィード研削とは工作物送り速度を低くし、砥石半径切り込み深さを大きくする高能率研削法である。一方、ハイレシプロ研削は工作物を高速反転運動させ、砥石半径切り込み深さを小さくする高能率研削法である。クリープフィード研削に関しては古くから多くの研究がなされているが、ハイレシプロ研削に関しては研究報告が極めて少ない。そのため、ハイレシプロ研削の基本的な研削特性を明らかにし、最適な研削を実現する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的はハイレシプロ研削の研削特性を解明し、最適な砥石の開発および研削条件の選定指針を明らかにすることである。

ハイレシプロ研削は実用的な研削盤の開発が遅くなったため、クリープフィード研削ほど広く用いられていない。そのため、どのような砥石がハイレシプロ研削に適しているかを学術的に研究することは未だなされていない。そこでハイレシプロ研削における研削面創成メカニズムの解明を行い、ハイレシプロ研削に適した研削条件の選定、難削材加工への応用について検討する。

3. 研究の方法

(1) ハイレシプロ研削における砥石摩耗に関する研究

ハイレシプロ研削領域の工作物往復周波数を含めて研削実験を行い、工作物往復周波数と砥石摩耗量の関係を測定する。また、難削材の研削も行い、ハイレシプロ研削の有効性を確認する。

(2) 砥粒分布を考慮した研削面粗さに関する研究

工作物往復周波数が研削面粗さに及ぼす影響に関しては、これまでも研究されていたが、実験値と計算値の間に差があった。これは砥石作業面上の砥粒分布モデルが実際の分布と異なるためであると考えられる。そこで砥石作業面の観察を行い、実際に近い砥粒分布モデルに基づく研削面粗さの解析を行う。

4. 研究成果

(1) ハイレシプロ研削における砥石摩耗に関する研究

工作物送り速度を v 、砥石半径切り込み深さを Δ 、砥石直径を D 、砥石周速を V 、連続砥粒切れ刃間隔を a とすると、図 1 に示す最大砥粒切り込み深さ g_m は次式で表される。

$$g_m = 2a \frac{v}{V} \sqrt{\frac{\Delta}{D}} \quad (1)$$

ハイレシプロ研削は工作物送り速度 v が大きく、砥石半径切り込み深さ Δ が小さい研削法である。したがって同式から、ハイレシプロ研削は最大砥粒切り込み深さが大きい研削法であることがわかる。その結果、図 2 に示すように砥粒 1 個に加わる力が大きくなり、脱落型摩耗の促進されるものと考えられる。

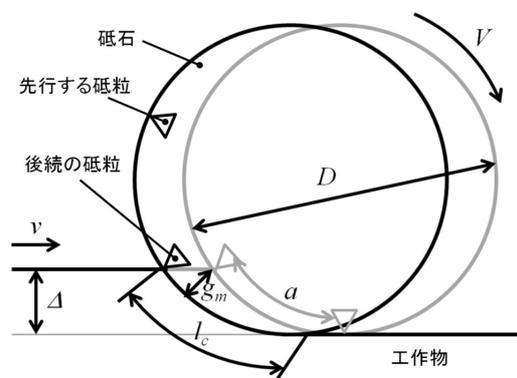
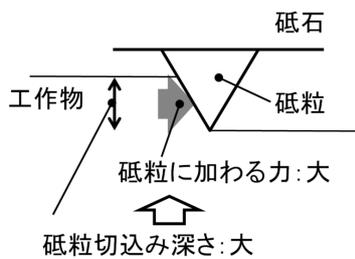
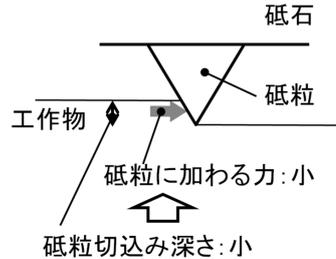


図 1 研削モデル

その結果、図 2 に示すように砥粒 1 個に加わる力が大きくなり、脱落型摩耗の促進されるものと考えられる。



(a) 砥粒切込み深さ g_m が大きい場合



(b) 砥粒切込み深さ g_m が小さい場合

図2 最大砥粒切込み深さの違いによる砥粒に加わる力の変化

実際に研削実験を行った結果を図3に示す。同実験では通常の砥石を用いており、予測された通り、砥粒切込み深さが大きくなるハイレシプロ研削条件においては摩耗が促進していることがわかる。

ハイレシプロ研削は脱落型の摩耗が促進されることが確認された。しかし一方で、ハイレシプロ研削では上滑り領域が短く、冷却区間が長くなるため研削熱の影響が小さい研削法であると考えられている。そのため熱伝導性が低く、研削熱が問題となる耐熱合金の研削には適していると考えられる。そこで脱落型摩耗の促進を防止するため、砥粒保持力を高めた砥石を用いて耐熱合金の研削を行った。結果を図4に示す。砥石以外の研削条件は図3と同様である。図3の傾向とは逆に、工作物往復周波数が高くなるほど、砥石摩耗量が小さくなることがわかる。これは脱落型の砥石摩耗が抑制された一方で、研削熱の影響も抑制された結果であると考えられる。

このように、ハイレシプロ研削が脱落型の砥石摩耗が促進される研削法であること、および研削熱が低い研削法であることを確認し、これらの特性を考慮した砥石を開発することにより、難削材として知られる耐熱合金なども高能率・高精度に加工することが可能であることがわかった。

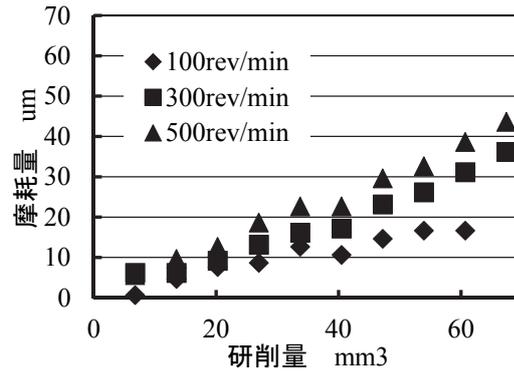


図3 工作物往復周波数と砥石摩耗の関係 (通常の砥石を用いた場合)

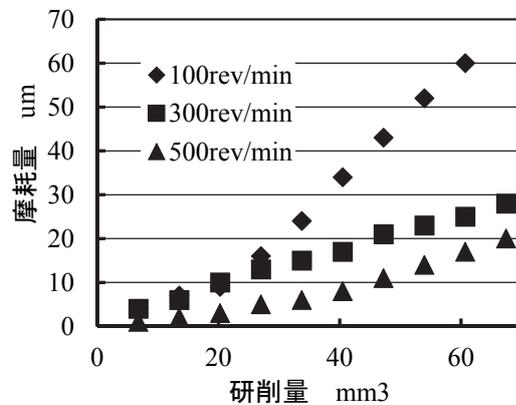


図4 工作物往復周波数と砥石摩耗の関係 (砥粒保持力を高めた砥石を用いた場合)

(2) 砥粒分布を考慮した研削面粗さに関する研究

本研究では研削面粗さの解析に統計的研削理論を用いる。統計的研削理論のモデルを図5に示す。ここでOは砥石の回転軸、Dは砥石直径、 Δ は砥石切り込み量、AXは工作物の理想的な仕上がり面である。また砥粒形状は半頂角 α の円錐形状と仮定され、砥粒の座標を (θ, δ) と定める。この理論における研削仕上げ面の最大高さ粗さ H_m は次式で与え

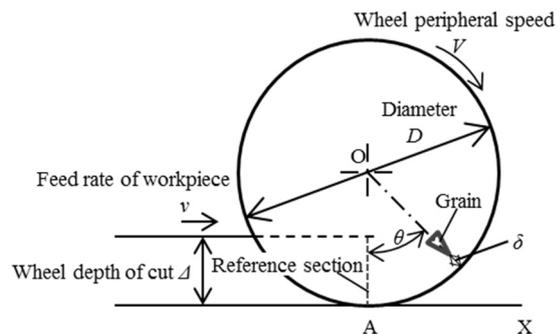


図5 粗さを検討するときの研削モデル

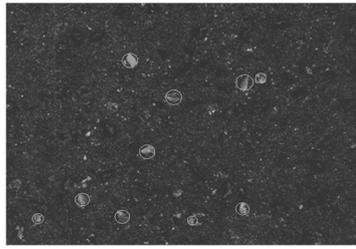


図6 砥石作業面の観察例

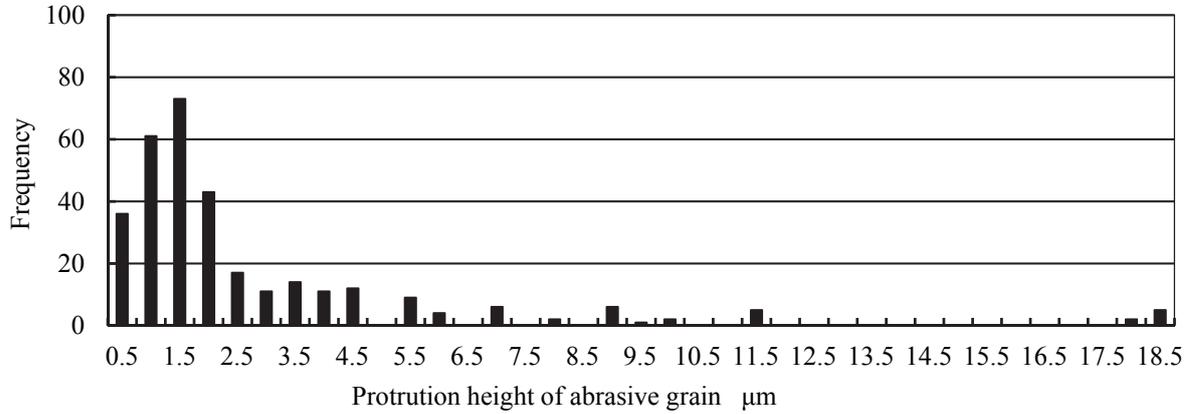


図7 砥粒突き出し量の分布

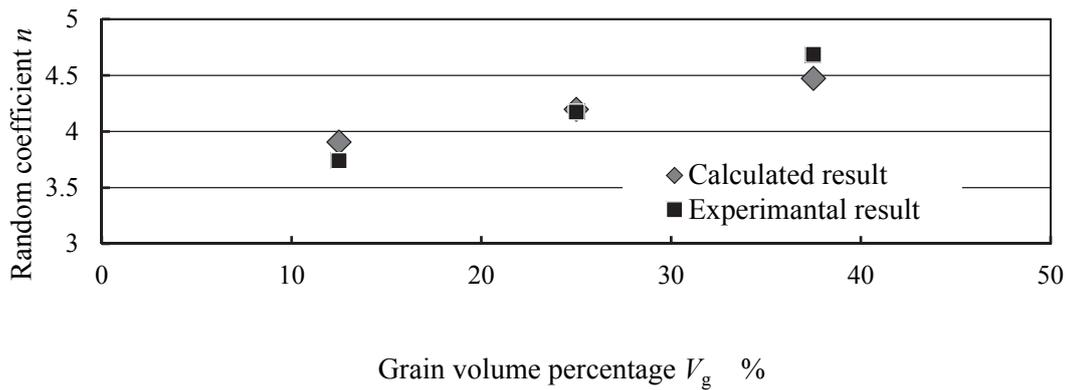


図8 ランダム係数の比較

られる。

$$\frac{16}{15} \frac{V}{v} D^{0.5} H_m^{2.5} \tan \alpha - \frac{64}{105} \frac{V}{v} D^{-0.5} H_m^{3.5} \tan \alpha = nW_0 \quad (2)$$

ここで W_0 は砥粒 1 個が占める平均体積である。また n はランダム係数と呼ばれるもので、過去の研究において実験的に求められ、その平均値は 3.3 であると報告されている。しかし実際は砥石の分散状態によって変化する値であり、3.3 であるとは限らないと考えられる。

そこで実際の砥石作業面を観察し(図 6)、砥粒突き出し量の分布を測定した。砥粒突き出し量の分布を図 7 に示す。これまで砥粒分布が均一であることを前提にランダム係数の解析をおこなっていたが、同図より均一ではないことがわかる。そこで図 7 に示した実際の砥粒分布に基づくランダム係数と、実験結果の研削面から得られるランダム係数を比較した。結果を図 8 に示す。砥粒分布を考慮することにより、実際のランダム係数に近い値が得られることがわかる。

これにより、ハイレシプロ研削により得られる研削面粗さの理論解析が正確になり、高い精度で研削条件の最適化が可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nobuhito Yoshihara, Masahiro Mizuno	4. 巻 16
2. 論文標題 Optimization of Nano-Topography Distribution by Compensation Grinding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 32-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/ijat.2022.p0032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nobuhito Yoshihara, Haruki Takahashi, Masahiro Mizuno	4. 巻 16
2. 論文標題 Effect of the Abrasive Grain Distribution on Ground Surface Roughness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 38-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/ijat.2022.p0038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 吉原信人, 嶋田慶太, 水野雅裕, 厨川常元	4. 巻 88
2. 論文標題 軸対称非球面研削における研削条件の最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 193-197
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2493/JJSPE.88.193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 吉原信人
2. 発表標題 Roughness of Traverse Ground Surface
3. 学会等名 13th MIRAI Conference（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉原信人, 小野雅生, 西川尚宏, 水野雅裕
2. 発表標題 ハイレシプロ研削法による難削材の研削
3. 学会等名 2019年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuhito Yoshihara, Masaki Ono, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno
2. 発表標題 Effect of the grinding efficiency on ground surface roughness
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関