

論文の内容の要旨

氏名：内 田 元

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：砥石表面の定量的評価と研削仕上面の予測に関する研究

本論文の目的は、砥石表面状態の定量的評価と砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮した研削仕上面を予測することであり、この目的を細分化すると次の通りとなる。

- (1) ドレッシング条件の違いにおける砥石表面状態の違いを定量的に評価するとともに、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響を明らかにすること。
- (2) 砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮した研削シミュレータを試作し、加工後の研削仕上面を予測すること。

研削加工は、工具に砥石を用いる除去加工の一種である。除去加工に代表される切削加工と比べ、高い寸法精度と良好な研削仕上面粗さ、加工変質層の少ない高品位な仕上面を実現できることから、研削加工は製品の仕上加工に広く用いられている。しかし、研削仕上面の創成に直接作用する砥石表層の砥粒切れ刃分布や各切れ刃形状を測定することは難しい。さらに、一般的に砥粒切れ刃が工作物に切り込まれる量は数 μm と非常に小さく、また剛性の低い砥石を工具として用いるため、砥粒および工作物の弾塑性挙動の影響が研削仕上面の創成に大きな影響を及ぼす。したがって、研削仕上面を前加工なしに把握することは困難であり、現状では最適な研削条件を決定するためには、熟練技能者のノウハウや勘に頼るか、予備的な前加工を繰り返し行い、研削条件を決定するしかないのが現状である。

そのような観点から、幾何学的に定義した砥石表面を用いて、砥石と工作物の相対的な運動軌跡により、研削仕上面粗さを理論的に算出しようとする研究が報告されている。しかしながら、これらの研究は砥石表面状態をどのように定義するかに一貫性がなく、正確に研削仕上面粗さを予測できていない。また、シミュレーションによる解析手法を用いて、砥粒および工作物の弾塑性挙動を加味した研削仕上面を予測する研究も報告されているものの、砥石全周を測定した結果を用いてない点や、非常に複雑な計算プロセスを必要とする点、事前に測定または評価すべき項目が多い点が問題として挙げられ、さまざまな研削条件へ適用するのは難しい。そのため、実測した砥石表面状態に基づき、かつ簡便に研削仕上面を予測できる手法が求められている。

以上より本論文では、砥石表面状態の定量的評価と砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮した研削仕上面を予測することを目的に、はじめに点合焦輪郭曲線法を応用した測定後焦点位置検出法と呼ぶ、新たな砥石表面測定法を提案した。この測定法によりドレッシング条件を変化させた砥石表面を測定し、ドレッシング条件の違いが砥石表面状態に及ぼす影響を明らかにした。さらに、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響を実験的に明らかにした。また、砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮し研削仕上面を予測することのできる、仕上面創成シミュレータを試作した。このシミュレータを用いることで、砥石全周を測定した結果をもとに研削仕上面形状および粗さを高精度に予測できることを明らかにした。

本論文は第1章から第6章までで構成されており、各章の構成および概要について要約すると以下の通りである。

第1章 序論

第1章では、本研究の背景として研削加工において研削仕上面を事前に把握することの難しさについて説明し、従来の研究で研削仕上面粗さを予測する手法の課題について明らかにした。このような背景から、新たな砥石表面測定法の提案と砥石表面状態の定量的評価、さらに砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮した研削仕上面の予測を目的としたことについて述べた。

第2章 点合焦輪郭曲線法を応用した測定後焦点位置検出法の提案

第2章では、砥石表面を高精度かつ高能率に測定することを目的に、点合焦輪郭曲線法を応用した測定後焦点位置検出法という測定法を提案した。この測定法は、点合焦輪郭曲線法における自動合焦を用いることなく砥石表面を高効率に測定する手法であり、その測定原理について説明し、試作した砥石表面測定装置について述べた。

第3章 測定後焦点位置検出法の測定精度の検証

第3章では、試作した砥石表面測定装置の測定精度について検証するため、鋼球と遊離砥粒、ビトリファイド砥石の測定を行った結果から、本測定装置の有効性を確認した。はじめに鋼球を測定した結果、提案した本測定法では傾斜角 60° 以下であれば鋼球を高精度に測定できることがわかった。これまでの研究より、砥石表面上の砥粒の傾斜角は 30° 程度であることから、砥石表面測定においては十分な測定精度を有していることが明らかとなった。また遊離砥粒を測定した結果、材質や屈折率などが異なる遊離砥粒 WA60, A60, GC60 に対して、どれも高精度に測定できることが確認できた。最後にビトリファイド砥石 WA60J7V を測定した結果、ビトリファイド砥石は砥石表面に光沢が多くレーザ測定が困難であるが、実画像と比べても高精度に測定できることを明らかにした。

第4章 砥石表面状態の定量的評価と砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響

第4章では、ドレッシング条件としてドレッシングリッドやドレッサの先端形状を変化させた砥石に対して、砥石表面状態の違いを定量的に評価した。さらに、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響について検討した。その結果、測定した砥石表面結果から砥粒切れ刃密度や砥粒接触面積率、連続切れ刃間隔、1切れ刃当たりの接触面積を算出することで、ドレッシング条件の違いが砥石表面状態に及ぼす影響を、ドレッサの砥石接触幅を考慮することで定量的に評価できることを明らかにした。また、研削仕上面粗さは算出した連続切れ刃間隔と、加工時の法線抵抗は1切れ刃当たりの接触面積と同様の傾向にあることがわかり、同一の加工条件であれば砥石表面を測定することで、研削仕上面粗さや法線抵抗を予測することが可能であることがわかった。

第5章 仕上面創成シミュレータによる研削仕上面の予測

第5章では、砥粒および工作物の弾塑性挙動として、砥粒の弾性変位量と工作物の弾性回復量、工作物の掘り起こしを考慮した、仕上面創成シミュレータを試作した。そして、実測した砥石表面結果を用いてシミュレーションを行い、実研削とシミュレーションの断面形状および研削仕上面粗さを比較した。その結果、研削パス回数ごとの結果を比較したところ、実研削結果とシミュレーション結果は、工作物断面形状および研削仕上面粗さともに非常によく再現できていることが確認できた。また、研削パス回数が増加するにしたがって、研削仕上面粗さが収束する様子が確認でき、スパークアウト研削回数の予測が可能であることがわかった。最後に、ドレッシングリッドの異なる砥石で研削した結果、各ドレッシングリッドにおいて実研削とシミュレーションの研削仕上面粗さが一致したことから、異なる砥石表面状態の砥石においても、本シミュレータにより研削仕上面粗さを予測できることを明らかにした。

第6章 結論

第6章では、結論として本論文の成果と今後の課題について述べた。本論文では、砥石表面状態の違いを定量的に評価し、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響を明らかにした。また、砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮したシミュレータにより、研削仕上面を高精度に予測できることを明らかにした。

以上