

## フライス工具摩耗のインプロセス検出に関する研究

村田, 光昭

<https://doi.org/10.15017/1398356>

---

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏名・(本籍・国籍)	むら た みつ あき 村 田 光 昭 (山口県)
学 位 の 種 類	博士 (工学)
学 位 記 番 号	工博甲第2269号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 機械工学専攻
学位論文題目	フライス工具摩耗のインプロセス検出に関する研究
論文調査委員	(主 査) 教授 黒 河 周 平 (副 査) 教授 雫 本 信 哉 名誉教授 土 肥 俊 郎

## 論 文 内 容 の 要 旨

マシニングセンタを用いた3次元切削加工は、高効率かつ低コストの点から、今日の金型製作の主流となっている。しかし金型製作では、加工形状が複雑になると、仕上げ加工に要する時間が非常に長くなり、場合によっては十数時間の加工時間が必要となる。加工中に切削工具の損耗が起これば、加工完了後の金型研磨工程に大きく影響を及ぼすため、金型メーカーにとって、仕上げ加工中の長時間におよぶ切削工具の状態監視をどのように行うかが課題となっている。

工具損耗のインプロセス検出に関する研究は、これまで様々な検出方法が研究されている。しかし、仕上げ加工中の工具摩耗のインプロセス検出に関しては、未だ決定的な手法が確立されていないのが現状である。特に断続切削における仕上げ加工領域では、工具が被削材にアプローチする際の振動および一刃あたりの判定時間の短さがモニタリングをさらに難しくしている。

本論文では、断続切削での仕上げ加工における工具摩耗のインプロセス検出の手法として、工具逃げ面摩耗が進行した際の工具・被削材間の接触面積変化について着目した。この接触面積の変化は、工具・被削材間の接触電気抵抗の変化をもたらすものと仮定し、正面フライス工具を用いた断続切削時の工具・被削材間接触電気抵抗変化と工具逃げ面摩耗の進行との対応を検討した。本論文は、この工具・被削材間接触電気抵抗変化を切削加工中に測定するための装置の開発ならびに実用化に向けての検討についての研究結果を纏めたものであり全5章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、狙いについて述べた。

第2章では、工具摩耗の進行に伴う工具被削材間熱起電力および熱電流の変動特性をテーマとして、実験を行なうために必要なシステム構成と熱起電力波形および熱電流波形の測定方法について検討を行なった。その結果、測定装置に様々な工夫を施すことで、高額かつ複雑なセンサや信号処理系の配置を必要とせず、簡単に高S/N比の熱起電力波形を観察することができた。つぎに、測定装置によって得られる熱起電力波形および熱電流波形が、工具摩耗の進行によってどのような波形変化が観察できるかについて検討を行なった。その結果、工具摩耗の進行に伴う工具・被削材間熱起電力ならびに熱電流波形の変化は、工具・被削材間接触電気抵抗変化が大きく関与していると考察した。

第3章では、第2章で考察した工具・被削材間接触電気抵抗が本当に工具摩耗の進行によって変化

をするのかについて検討を行なった。検討を行なうための理論として Holm の接触理論を用いた。3次元 CAD により切れ刃摩耗モデルを作成し、工具と被削材の接触面積の変化によって接触電気抵抗がどのように変化するかを求めた。その結果、数ミリオームという大変小さな変化量であるが、逃げ面摩耗が進行し、工具と被削材との接触面積が増大すると、それに伴った接触電気抵抗は減少することがわかった。この理論を実証するために、工具・被削材間接触電気抵抗をインプロセスで測定する装置の開発を行なった。測定原理は、オームの法則を用いたもので、測定装置の終端抵抗を自動で切り替えることで、熱起電力と熱電流を測定し、それらから切削中に切れ刃毎の接触電気抵抗を求めることに成功した。この装置による測定結果からも、Holm の接触理論による工具・被削材間接触電気抵抗変化と同様の結果を得ることができた。しかし、工具が新品の状態では、理論値と測定値に大きなずれが生じることがわかった。これは、実験の結果、工具が新品の状態でも、ほんのわずかではあるが、被削材の弾性変形によって工具逃げ面が被削材と接触していることが原因であることがわかった。この接触量を理論値に反映させた結果、理論値と実験値がほぼ等しい値を示すことがわかり、工具・被削材間接触電気抵抗をインプロセスで測定することで、工具の逃げ面摩耗幅を推定する可能性を見出した。

第4章では、第3章で開発した工具・被削材間接触電気抵抗測定装置をより実用化に近づけるための検討を行なった。これまでの実験で使用していた被削材絶縁物が除去可能かを検討するために、被削材短絡状態で接触電気抵抗が測定できるかについて検討を行なった。その結果、被削材絶縁状態に比べて変化量が小さくなったが、逃げ面摩耗の進行に伴う接触電気抵抗変化を測定することができた。次に、切れ刃コーティングの影響について、超硬合金のみ、TiCN, TiAlN コーティング工具にて比較実験を行なった。コーティング膜 (PVD, 3 $\mu$ m 厚) による静的な電気抵抗は、超硬合金のみの場合と比較して、TiCN は、ほぼ同じ抵抗値、TiAlN は、約5倍の抵抗値を示した。切削実験を行なった結果は、どの工具ともほぼ同じ接触電気抵抗値を示すことがわかった。Holm の接触理論において、接触荷重が大きくなると集中抵抗が支配的となり被膜抵抗（ここではコーティング膜）の影響はほとんどなくなるという報告との整合性が取れている。したがって、切削加工での接触電気抵抗の測定において、コーティング膜の影響は考慮する必要がないことがわかった。最後に、測定装置を将来的にボールエンドミルによる3次元加工に対応させるため、新たな測定装置を開発した。この装置は、切れ刃が加工中に非常に短い時間、定電流を流すことで、工具・被削材間接触電気抵抗をリアルタイムで測定を行なうものである。測定結果が工具・被削材間熱起電力の影響を受けることがわかったので、その影響をほぼリアルタイムで除去するための装置を開発した。その結果、切削速度に依存せず、各切れ刃の切削開始から7ms で接触電気抵抗を測定することに成功した。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果と今後の課題を纏めた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、工具摩耗の進展に伴う工具・被削材間の熱起電力および熱電流の変動特性を加工中に把握するための測定手法を提案するとともに、工具・被削材間の接触面積変化と接触電気抵抗変化の関係に対する理論的考察を行い、その考察にもとづき工具・被削材間接触電気抵抗と工具逃げ面摩耗との関係を実験的に検証した上で、工具逃げ面摩耗を加工中に推定できる手法を考案し、さらに実用化に近づけるため被削材絶縁物の除去の可能性の検討を行い、コーティングの影響調査およびボールエンドミルによる3次元加工に対応可能なインプロセス計測手法の提案を行った研究であって、機械工学上寄与するところが極めて大きい。よって、本論文は

博士（工学）の学位論文に値するものと認める。