

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 毛呂 俊夫

本論文は、「工具性能向上のための表面改質放電加工(EDC: Electric Discharge Coating)」と題し、放電加工を用いた実用的な表面改質法を確立することを目的に行った研究成果をまとめたものである。

本論文は、全4部、14章で構成されている。

第1部は、「序論」であり、第1.1章「序章」では表面改質放電加工法の原理、その工業的な位置付け、硬質被膜の形成方法について述べ、本論文の目的、構成、および本研究で開発する表面改質放電加工の開発指針について述べている。

第1.2章「実験に用いた装置および手法」では、本研究に用いる放電加工機、加工条件の選定、電極製造方法、被膜硬さの評価方法、摩擦磨耗試験方法を述べている。

第2部は、「表面改質放電加工法の解析」で、第2.1章「複合構造体電極法—粉末成形電極法—」では、複合構造体電極法の開発経緯、WC粉末を用いた1次処理、2次処理法、超硬材に対する金属Ti電極を用いたTiC被膜形成法を述べている。さらに、電極材と油中カーボンとの反応によって形成されるTiH₂圧粉体電極を用いた粉末電極成形法を述べ、工具刃先に適用した場合の寿命試験を実施し、実用化の示唆を得ている。

第2.2章「TiH₂圧粉体電極による成膜特性」では、実用化を前提にした場合の成膜特性を求め、被膜厚さと加工時間、硬さと加工時間の関係を詳しく分析している。電極消耗は、電極面積の影響を大きく受け、面積が大きくなると電極消耗速度が増大する面積効果を確認し、これらの成膜特性を極間に投入されるエネルギー基準で議論することを述べている。面積効果は、気化爆発力が最大化すること、および電極構造に起因すると考察している。

第2.3章「TiC焼結体電極による成膜特性」では、本格的な実用化を前提にTiC焼結体電極の開発背景を述べ、基本的な成膜特性を検討している。被膜は極めて緻密で薄い。膜厚は電気条件のパルス幅で決まり飽和特性をもつ。耐磨耗性は無処理に比較して数倍以上の性能を持ち、これを工具、金型へ応用した場合の適否に関して負荷条件を含め検討している。また、荒れた比較表面の硬さを信頼性高く計測する方法としてステップ研削法を考案し、被膜内部の傾斜性機能に関して母材表面まで研削しても十分硬さが残っていることを見出している。さらに、母材内部までTiC成分が拡散している様子を硬さ分布より説明している。

第2.4章「水素化チタン電極による被膜形成プロセスの検討」では、TiH₂圧粉体電極を用いEDCの過渡現象を被膜の成長率変化、被膜内の成分濃度変化、電極消耗速度変化を相互に関連づけ説明している。さらに、これらの過渡現象が被膜厚さ10μmで終了するメカニズムを一次元非定常熱伝導方程式より算出して述べている。

第2.5章「表面改質放電加工における堆積機構の検討」では、堆積現象が放電一発一発の累積で構成されることから最小単位の単発放電による堆積メカニズムを明らかにし、

全体としての成膜特性を論じている。また、堆積特性として被膜が加工時間とともに増加する成長型と一定の被膜厚さを維持したまま被膜表面が低下していく極めて特異な平衡型堆積特性を発見し、その発生メカニズムを考察している。

第3部は「表面改質放電加工の応用」で、第3.1章「放電加工による表面改質工具の実用化検討」では、EDC 被膜の耐久性を検証するため負荷条件が異なるドリル、エンドミル、ボールエンドミルにそれぞれ適用し、無処理、市販の PVD-TiN、EDC 被膜工具間の磨耗特性の違いを検討している。EDC 被膜は切削速度の速いエンドミルへの適用では PVD-TiN に対し寿命はやや劣るがその原因が刃先に作用する高い切削力およびせん断応力のため被膜表面のクラックがトリガーになって磨耗が進行するためと述べている。

第3.2章「工具寿命の要因と被膜結晶構造の検討」では、EDC 被膜が PVD-TiN 被膜に対して寿命が短くなる点に鑑みて EDC 被膜の結晶構造を詳細に CVD-TiC 被膜、TiC 焼結体と比較検討し、EDC 被膜はアモルファス構造に近く、格子定数が基準より小さくかつ TiC 分子構成比が TiC0.5 になっていると述べている。

第3.3章「表面改質放電加工の金型への応用」では、硬質被膜が得られる他の工法に比べ EDC 被膜の処理温度が常温に近く、熱ひずみが生じないこと、部分処理が可能で高精度加工が容易に実現できることを説明し、EDC 被膜の適用分野として金型が切削工具に比べ、負荷環境においても有利であることを述べている。その上で、プレス金型、曲げ金型、鍛造金型へ本EDC被膜を適用して無処理、および他のPVD-TiN被膜などと比較し、EDC被膜の高い耐久性を証明している。

第3.4章「EDCの工具および金型への適合性」では、EDC被膜を工具、金型へ適用する場合のガイドラインを示し、工具ではドリル加工が向くこと、金型では磨きを前提に転造金型を除いて十分適用可能であることを述べている。第3.5章「機上研削法の提案」では、被膜表面の面粗さを改善する手段として、EDC被膜を機上で研削し、被膜の面粗さおよび寸法精度を維持するもので、その実用的なシステム構成を述べている。

第4部「総括」では、本論文のまとめであり、本研究で明らかになった知見をまとめている。

以上のように、本論文に記された研究においては、「TiC 焼結体電極による成膜特性」および「被膜形成プロセス」を明らかにし、新しい表面改質放電加工法を開発している。開発した工法は、今後わが国だけではなく、広く世界に普及し、さらに新しい応用分野への利用拡大も大いに期待できる。本論文の研究成果は精密機械工学の発展に大きく寄与するものと言える。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。