

氏 名 大地 慶明

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第3886号

学位授与の日付 平成21年 3月25日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 大面積電子ビーム照射による表面改質に関する研究

論文審査委員 教授 宇野 義幸 教授 塚本 眞也 教授 藤井 正浩

准教授 岡田 晃

## 学位論文内容の要旨

本論文では、大面積電子ビーム照射による金型材料の表面改質効果の検討を行った。電子ビーム発生の前段階のプラズマを観察し、照射エネルギー密度とそれに影響するパラメータの関係を解析し、材料の特性に応じて最適な照射条件を見出す可能性を検討した。そして、大面積電子ビーム照射で照射面に生成されるクレータの発生状況の把握、工作物材質や組織がクレータ発生に及ぼす影響、ならびにクレータを抑制する方法について検討を行った。さらに、超音波振動を加えてクレータを抑制する装置を開発し、その実用性を検討した。

まず、大面積電子ビームを用いて金型加工や精密部品加工の仕上げ加工の新たなプロセスを考案した。その結果、短時間で直径 60 mm のエリアの表面の平滑化が可能であることが分かった。また、放電加工面の面粗さ、光沢度、耐食性が向上することがわかった。さらに、金型や精密部品の放電加工面の仕上げ加工の高効率化が可能であることが明らかとなった。

次に、プラズマの観察とともに、照射エネルギー密度と照射条件の関係のシミュレーションを行った。その結果、アノードプラズマの密度と均一性に及ぼす影響に関して、ソレノイド電圧、アルゴンガスの圧力の影響はアノード電圧の影響より大きいことがわかった。また、照射エネルギー密度はアノードプラズマの密度の影響より均一性への影響が大きいことがわかった。さらに、応答曲面法を用いて、照射エネルギー密度のモデルを構築し、材料の特性に応じて最適な照射条件を見出すことが可能となった。

さらに、クレータの発生状況の把握、工作物材質や組織がクレータ発生に及ぼす影響、また代表的な熱間用金型鋼 SKD61 に電子ビームによる表面改質を施し、熱疲労特性について調べた。その結果、材料中に含まれる非金属介在物(MnS)と炭化物がクレータ発生の要因の一つであることがわかった。また、均一な白層が形成されると、炭化物は白層中で分解されるため、MnS の分布がクレータ形成に大きく影響することがわかった。そして、真空溶解により材料中の不純物を取り除くことによってクレータの発生を抑制することができることがわかった。また、電子ビーム照射による改質によって SKD61 の熱疲労特性は向上し、ヒートクラック深さは 10 $\mu$ m 以下で、発生数も減少していることがわかった。さらに、ビーム照射後の肉盛溶接部の熱疲労特性も向上し、特にガス軟窒化処理を併用した場合には、熱影響部軟化域に生じる深いクラックの発生が抑制される。

照射面に生ずるクレータの発生を抑制する加工方法については、解析と実験の両面で検討を行った。まず、超音波振動の印加が電子ビーム照射表面の平滑化に対する有効性について、有限要素法によるシミュレーションを行って検証した。その結果、振動を外力として工作物に加えると、振動により生じたせん断応力と表面張力が表面の平滑化に影響することがわかった。さらに、最適な振幅と高周波数の振動条件を用いた場合、表面の平滑化を促進できることがわかった。

そこで、超音波振動によるクレータを抑制する加工方法を提案した。有限要素法による振動システムの数値モデルを構築し、振動モード解析、構造解析を行い、振動システムの妥当性を評価した。そして、超音波振動システムを製作し、超音波振動は電子ビーム照射時に発生するクレータの抑制に有効であることを検証した。

以上の研究によって、大面積電子ビーム照射を用いて金属の表面を改質すると、金型にとって重要な表面粗さ、耐食性、耐久性、光沢度等が向上すること、しかもその処理が極めて短時間に可能であること等が明らかとなった。これらの結果は、金型産業にとって大面積電子ビームを新しいツールとして適用するための有効な資料を提供するものである。

## 論文審査結果の要旨

本論文では、大面積電子ビーム照射による金型材料の表面改質効果の検討が行われた。まず、電子ビーム発生の前段階のプラズマを観察し、照射エネルギー密度とそれに影響するパラメータの関係を解析し、材料の特性に応じて最適な照射条件を見出す可能性を検討した。そして、大面積電子ビーム照射で照射面に生成されるクレータの発生状況の把握、工作物材質や組織がクレータ発生に及ぼす影響、ならびにクレータを抑制する方法について検討を行った。

まず、大面積電子ビームを用いて金型加工や精密部品加工の仕上げ加工の新たなプロセスを考案した。その結果、短時間で直径 60mm のエリアの表面の平滑化が可能であることが分かった。また、電子ビームを照射された放電加工面は面粗さ、光沢度、耐食性が向上することがわかった。さらに、金型や精密部品の放電加工面の仕上げ加工の高能率化が可能であることも明らかとなった。次に、プラズマの観察とともに、照射エネルギー密度と照射条件に関するシミュレーションを行った。その結果、照射エネルギー密度はアノードプラズマの密度の影響より均一性への影響が大きいことがわかった。さらに、クレータの発生状況の把握、工作物材質や組織がクレータ発生に及ぼす影響、および熱疲労特性について調べた。その結果、材料中に含まれる非金属介在物 (MnS) と炭化物がクレータ発生の要因の一つであることがわかった。照射面に生ずるクレータの発生を抑制する加工方法として超音波振動を付加する加工方法を提案した。有限要素法による振動システムの数値モデルを構築し、振動モード解析、構造解析を行い、振動システムの妥当性を評価した。そして、超音波振動システムを製作し、超音波振動は電子ビーム照射時に発生するクレータの抑制に有効であることを検証した。

以上の研究によって、大面積電子ビーム照射を用いて金属の表面を改質すると、金型にとって重要な表面粗さ、耐食性、耐久性、光沢度等が向上すること、しかもその処理が極めて短時間に可能であること等が明らかとなった。これらの結果は、日本のものづくりを基盤で支えている金型産業にとって、大面積電子ビームを新しいツールとして適用するための有効な資料を提供するものであり、工学的・工業的価値が高い。よって本研究は博士（工学）の学位に値するものと認められる。