

学位論文の要旨

Abstract of Thesis

研究科 School	自然科学研究科
専攻 Division	産業創成工学専攻
学生番号 Student No.	51501755
氏名 Name	坂井 辰彦

学位論文題目 Title of Thesis (学位論文題目が英語の場合は和訳を付記)

連続波レーザー光の斜角入射・高速走査による表面微細構造形成メカニズムの研究

学位論文の要旨 Abstract of Thesis

本論文は、連続波レーザー光の高速走査による金属表面の微細構造の形成メカニズムに関する研究について述べたものである。表面微細構造とはナノメートルからマイクロメートルオーダーで形成された凹凸形状であり、金属表面への新機能の付与や改善が可能である。期待される表面機能としては、異種材との接着性、摩擦係数、濡れ性等が挙げられる。レーザー加工法はショットブラスト等の機械的加工法に比べ、加工箇所の選択制御、周期構造の形成等の利点を持つ。レーザー光源としてはパルスレーザーが用いられることが多く、ピコ秒やフェムト秒レーザーを用いて金属の蒸発除去であるアブレーション現象を活用する研究がこれまで多く報告されている。しかし、パルスレーザーの平均出力は比較的小さいため、加工プロセスの速度に限界がある。一方で、近年、高い集光性を持つ連続波シングルモードファイバレーザーの高出力化と安価化が急速に進んでおり、これを用いて所望の表面微細構造を形成する技術を実現すれば、高い平均出力性能を活かした高速プロセスが可能となり、高効率、低コストの表面加工プロセスを実現できる可能性がある。ただし、連続波レーザーによる表面加工はアブレーション現象とは異なる熔融現象が主体である。従って、表面加工の効率化と制御技術の実現には熔融金属の発生から凝固に至る一連の挙動を解析し、微細構造が形成されるメカニズムを解明する必要がある。

以上の観点から、本研究は連続波シングルモードファイバレーザーを用いた効率的な表面微細加工法としてレーザー光の斜角入射・高速走査加工法を提案し、レーザー照射部で発生する熔融金属の挙動を詳しく解析する研究を行ったものである。

第1章の緒論では、研究の背景、目的、および論文の構成と概要について述べた。

第2章では、レーザー光の斜角入射・高速走査加工法の発想の起点について述べ、軟鋼を主な加工試料として、本加工法で得られる表面微細構造形成現象とその検証について述べている。その中でレーザー光の入射側に突起、反射側に溝が形成される特異な現象を見出し、レーザー光入射角、走査速度、焦点位置、および試料の材質が形成される微細構造へ及ぼす影響について解析した。その結果、レーザー光照射により発生した熔融

氏名 Name	坂井 辰彦
------------	-------

金属の大半が残存し、その流動によって表面形状を変えて凝固することで表面微細構造を形成することが判明し、またレーザ光入射角の増大と走査速度の高速化が顕著な溝と突起を形成する条件であることを明らかにした。

第3章では、熔融金属の挙動を実験的に明らかにするため、高速度ビデオカメラを用いてレーザ光照射点で発生した熔融金属の流動、飛散、およびキーホールから噴出する金属蒸気であるプルームの動的観察を行った。また高温の熔融金属からの自発光輝度による放射測温を行い、熔融金属の温度分布を解析した。これらの試料表面の観察結果から、レーザ光反射側では熔融金属の一部がスパッタとして飛散して溝形成の要因となること、またレーザ光入射側の熔融金属は高温状態を維持したまま反射側に向かって流動し、突起を形成する一要因になることを明らかとした。

第4章では、本プロセスの熱流体解析モデルを構築し、レーザ光の吸収、昇温、熔融、熔融金属の流動、蒸発、凝固に至る一連の挙動を詳しい解析を行った。実験で得られた表面微細構造の断面形状、および高速度ビデオカメラ観察結果との比較により本モデルの解析精度と再現性の限界を議論し、レーザ光の斜角入射・高速走査によって発生する熔融金属の特徴的な挙動が定性的に解析可能であるとの結論を得た。本熱流体解析により、表面からは観察不可能であったキーホール周辺の金属蒸気空洞底部における熔融金属の流動は表層とは逆に反射側から入射側に向かうことが明らかになった。このような特徴的な熔融金属の流動が発生する原因はレーザ光走査速度に依存したキーホール形状の変化にあると仮定して、実験とモデル解析結果を基に考察を行った。その結果、走査速度の高速化にともなって傾斜するキーホールにより金属蒸気空洞底部の熔融金属はレーザ光反射側から入射側に向かって流動し、入射側に蓄積することが示された。蓄積された熔融金属は急冷凝固によってレーザ光入射側で隆起して高い突起となった。以上の議論から、連続波レーザ光の斜角入射と高速走査加工において発現するレーザ光反射側の溝、および入射側の突起から成る特異な表面微細構造の形成メカニズムを明らかにすることができた。

第5章では、表面微細構造による軟鋼試料の表面機能を評価するため、レーザ光の斜角入射加工法によって線状の表面微細構造を周期的に形成し、汎用エンジニアリングプラスチックであるポリアミドとの接着性を実験的に検討した。その結果、表面から斜角に隆起する突起形状によって接着面の耐剪断応力に異方性が発生することを実証した。また線状の表面微細構造の形成密度と剪断応力の関係を定量化し、機械的な表面粗度付与技術であるエアブラスト処理試料と同等以上の接着強度を得る微細構造形成条件を明らかにした。さらに本レーザ加工方法の実用化を想定して、レーザ光走査の高速化と安定化に適したポリゴンミラー型レーザ光走査加工装置の具体的な設計案を提示し、面積処理速度等の加工能力の試算を行い、本手法の実用的展開に必要な要素も示した。

第6章では、本研究によって得られた成果を各章ごとに総括するとともに、今後の研究課題として、レーザ光照射条件による表面微細構造制御と応用展開について述べた。

以上、本研究では連続波レーザ光の斜角入射・高速走査加工を題材に、熔融金属の挙動解析に基づく表面微細構造形成メカニズムを解明し、パルスレーザによるアブレーション主体の加工とは異なる熔融現象主体の新しい表面微細加工の新シーズ技術の可能性を示すことができた。