

氏名(本籍)	あら い たけ じ (東京都)				
学位の種類	農 学 博 士				
学位記番号	博 乙 第 643 号				
学位授与年月日	平成 3 年 1 月 31 日				
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当				
審査研究科	農 学 研 究 科				
学位論文題目	木材のレーザー加工特性に関する研究				
主査	筑波大学教授	農学博士	青 山 経 雄		
副査	筑波大学教授	農学博士	相 原 良 安		
副査	筑波大学教授	農学博士	吉 崎 繁		
副査	筑波大学教授	農学博士	大 庭 喜 八 郎		
副査	文部省高エネルギー 物理学研究所教授	工学博士	絵 面 栄 二		

論 文 の 要 旨

本論文はレーザーを木材加工に応用するため、木材にレーザーを作用した場合の諸現象を理論的に解明するとともに、実際にレーザー加工の適正作業条件を探求し、木材に対するレーザー加工技術の確立と工業化への指針を得ることを目的としている。その主要な構成はレーザー加工の熱現象としての理論的考察と基礎的実験、および実際の加工条件を検討した応用実験から成っている。

(1) レーザー照射装置

実験に使用したレーザー装置は出力 300W の炭酸ガスレーザーで、波長は $10.6\mu\text{m}$ である。炭酸ガスレーザーは、他の発振材料に比較して非金属材料に対して発振波長の吸収特性が優れているのが特徴である。GaAs レンズを用い、その焦点距離は 63, 130mm の 2 種で、焦点スポット径は $100\mu\text{m}$ で極めて小さく集光である。その焦点位置でのエネルギー密度分布はほぼガウス分布を示し、出力を増加すると、分布幅はあまり変わらずピークが高くなる傾向を示した。

(2) 熱影響層

レーザー加工は、本質的には木材の加熱による破壊現象である。従って切断表面には加熱によって生成する熱影響層を生ずる。この熱影響層の構造を調べるとともに、その到達温度をモデル実験によって求めた。

カツラ材のレーザー切断面の断層を、顕微鏡、軟 X 線による密着写真、マイクロデンストメーターによるフィルム濃度測定によって解析し、熱影響層の構造を調べた。この結果では、熱影響層は母材側から初期、中間期、末期熱分解層の 3 つの領域に区分された。初期熱分解層は外観は肉眼的には変化ないが、マイクロデンストメーターでは密度の低下が見られた。中間層は肉眼で変色が認められ、

熱による熔融と微小な割れが存在し、末期層は完全に炭化し、材面は粗く、熱劣化によって大きな炭素粒を生じていた。

熱影響層の深さは、レーザー照射時間とエネルギーパワー密度に依存し、送り速度が遅いほど、レーザー出力が大きいほど増加した。またアシストガスは、活性ガスより不活性ガスを用いた方が、はるかに影響層の深さは小になった。

熱影響層の形成過程を推論するため、赤外線分光法、X線回析法、X線写真を用いて化学的成分の変化、結晶化度の低下などを求めた。この結果では、初期熱分解層では結晶がやや分解し、中間期層ではかなり炭化が進行して結晶も減少し、末期層では構造的には無定形で炭化も進んでいた。結晶化度も、この順に低下し、(040)格子面は急速に消失するが、(002)面は最後までわずかながら残った。それで切断みぞ部の木材の消失部分は、明確な炭化段階を経ないでガス化してしまうのではないかと想像された。

このような熱分解現象に対して、内部到達温度を推定するため、熱による木材密度の変化を利用し、反応速度論を応用したモデル実験を行った。試料の一端を加熱して、その温度と、密度を軟X線写真の濃度から測定し、その対応関係を求め、写真濃度から温度を推定した。この結果では、照射時間が増すと温度分布の幅が大きくなり、照射時間が短いほど温度勾配は急になった。熱の伝導は繊維方向の方が繊維直角方向より高く、繊維方向の方が温度分布の幅は広がる。消失部分については、レーザーによる蒸発温度は少なくとも1000℃以上になると考えられた。

また理論解析に必要な木材の熱伝導率、熱拡散率、比熱の3種の熱定数を求めた。熱拡散率はレーザーフラッシュ法で、比熱は断熱型比熱測定装置で測定し、熱伝導率は両者から計算した。これらの熱定数の温度依存性や繊維方向による差などを確めた。

(3) 温度分布解析

以上の結果をもとにして、レーザー加工における穴あけと切断の場合の理論的な温度分布解析を行った。加工面上のレーザー照射による温度分布は、照射中心を原点としたガウス分布熱源と想定し、この条件による熱伝導方程式を解くことによって解析した。穴あけ加工では、温度分布は照射時間の増加とともに拡大するが、出力増加に対しては穴径は増加するが、温度分布はあまり変らない。枝目またはまき目面の縦断面照射では、繊維垂直方向に径の大きい長円形になるが、照射時間が短いほど、高温になるほど円形に近くなり、穴径も小さかった。温度勾配は中心に近づくにつれて急になり、蒸発部分に相当する温度として約1500℃を得た。

切断加工における温度分布解析としては、ガウス分布熱源から消失部分の円形部分と切断みぞの幅に相当するガウス分布熱源を差し引いたU字状熱源が切断方向に移動すると想定して、熱伝導方程式を解いた。この結果では、送り速度が遅いと、熱の関与時間が長くなり温度分布は横に広がる。熱影響層の深さも送り速度と反比例的になる。温度勾配は切断の前面で急激になり、側面から後方になるにしたがってゆるやかになり、分布の幅は広がる。熱伝導は繊維方向に良好なために、切断方向を繊維方向にとると、横方向に熱伝導が小さいので温度は上昇して、みぞ幅は増加し、熱影響層は減少する。繊維垂直方向に切断すると逆の傾向となる。また送り速度が早くなると、熱伝導の影響が減じて

繊維方向による差は小さくなる。以上のような理論的結論は、実際の加工実験によって実証された。

(4) レーザー加工特性実験

レーザーによる木材の切断加工を対象として、加工特性と加工条件の関連を追求し、適正な加工条件の検討のため、実際のレーザー切断実験を行った。

加工特性要因としては、加工装置側の機械特性要因があり、レーザー出力、送り速度、アシストガスなどが含まれる。加工される材料側の材料特性要因としては、樹種、密度、繊維方向、含水率があげられる。最後に加工結果を示す加工特性要因として、切断深さ、切断幅、切断面の平行度、熱影響層の深さ、表面あらさなどがある。これらの特性要因図を提示するとともに、加工特性に対する機械特性と材料特性の影響を検討した。

この結果では、切断深さは出力が高いほど、送り速度が遅いほど大きくなり、また射照面が木口面の方が縦断面の場合より深くなった。また切断深さは、材料密度が大なるほど、含水率が高いほど減少した。切断幅については、出力、送り速度とも影響は少なかった。表面あらさに対しては、送り速度が遅いとあらさも大きく、炭化も強くなったが、送り速度が300mm/min以上では良好な面が得られた。また木材の密度の差を、絶乾密度を考慮した実質質量係数として定義し、これを用いて切断深さを求める実験式を導いた。

以上のように、レーザーによる木材加工の基礎的な理論的解析と応用的実験によって、穴あけ、切断加工における加工機構の解明と加工実践上の重要な特性要因の関連が明確化され、レーザー加工の工業的利用への大きな示唆を与えた。

審 査 の 要 旨

レーザーは1960年に発見され、熱エネルギーとして材料加工に利用されるようになったのは新しく、木材加工への応用もその作用機構や応用技術について不明な点が多かった。

本研究は、レーザー加工の本質が熱による材料除去加工であることを基本概念として、加工特性の理論的解析と応用的実験を行っている。

研究の内容は、まずレーザー加工した木材の切断表面について熱影響層を定義し、これを3層に分類するとともにモデル実験により、その到達温度を推定した。つぎに加工の機構を解明するために、ガウス分布熱源に基づいた熱伝導理論により加工面の温度分布を解析し、穴あけと切断における温度分布を求め、実験結果と一致することを認めた。

さらに切断加工について応用実験を行い、出力、送り速度などの機械特性、密度、含水率などの材料特性による、切断深さ、熱影響層の深さなどの加工特性に与える影響を検討し、適正な加工条件を提示した。

以上のように、本研究は木材のレーザー加工特性について熱伝導理論を基礎にしてその加工の機構を解明するとともに、実験によって理論の正当性の証明と適正な加工条件を明らかにした。この成果は木材のレーザー加工における技術の発展に高く貢献し、学術的にも応用的にも極めて価値のあるも

のと評価できる。

よって、著者は農学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。