

審査の結果の要旨

氏名 高田 知樹

本論文は、レーザーピーニングにおいて発生した衝撃力をAE法によって評価しin-situかつ非破壊な検査手法を確立することを目指し研究を行ったものである。レーザーピーニングは金属表面にレーザー照射を行うことでアブレーションを起こし、その衝撃力を用いて表面加工を行うものである。残留応力の付与には衝撃力の値が重要であり、衝撃力を上昇させるためにはレーザー出力を上げる方法がある。しかし、レーザーのパワー密度の高くなると、レーザー誘起絶縁破壊が起こり衝撃力は飽和する。本論文では、レーザーピーニング時の現象の解明および衝撃力を向上させる方法について検討している。

第1章では、レーザーピーニングおよび本論文で研究対象とした現象について述べている。レーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊および絶縁破壊による衝撃波の発生についてまとめている。キャビテーションバブルとは、水中の圧力差が生じた箇所に発生する微小なバブルであり崩壊時に強い衝撃を伴う。衝撃力を向上させるための課題、および本論文の目的について述べている。

第2章では、研究に用いた装置類について詳しく述べている。レーザーピーニングの実験装置を作製し、レーザーエネルギー、水層の温度、粘度、厚さの影響を評価した。誘起絶縁破壊の実験を行う際には、水中にレーザーを集束させることで再現した。金属試料の裏面と水中にそれぞれAEセンサを設置しAE計測を行った。動的現象を観察するためにシャドウグラフ法による高速度カメラ撮影を行った。さらに、レーザーピーニングの残留応力への影響を調べるために、有限要素シミュレーションによる衝撃力と残留応力の評価を行った。金属試料に直接衝撃圧力を荷重することでアブレーションのシミュレーションを行った。また水中に半球状のバブルを設定し、時間経過とともに収縮する様子のシミュレーションを行っている。

第3章では、得られた実験結果とシミュレーション結果について述べている。レーザーピーニング時の現象であるレーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊、レーザー誘起絶縁破壊について、それぞれAE計測と高速度カ

メラによって調べた。AE波形を逆解析することでピーニング時の衝撃力を評価した。レーザーアブレーションとバブル崩壊は同程度の衝撃力を発生させ、また液層の影響を受けていることが分かった。高速度カメラによりアブレーション、バブル崩壊、絶縁破壊の際の衝撃波の発生と伝播を捉えている。アブレーションのシミュレーションにより、衝撃圧力の残留応力への影響を評価できた。バブル崩壊のシミュレーションにおいては、バブル崩壊時に衝撃波を伴い、また発生した残留応力はバブルの最大半径とともに増加したことを示している。

第4章では、第3章で得られた実験結果について考察を行っている。アブレーション時の衝撃力は水層の衝撃インピーダンスが上昇することで上昇する、キャビテーションバブルの衝撃力は水層の厚さに強く依存する、絶縁破壊の衝撃力はレーザーエネルギーの上昇とともに上昇する、などの知見を得ている。水中のAEセンサによって材料表面以外で起こった現象も計測でき、水中伝播AEによるレーザーピーニングのモニタリングが有効だという結果を得ている。

アブレーションのシミュレーションでは、2GPa以上の衝撃圧力を加えると、一部の残留応力値が低下することが分かり、ユゴニオ弾性限界を用いて説明している。アブレーションとバブル崩壊のシミュレーションを組み合わせた結果から、バブル崩壊も残留応力を増加させるために有効であるという結論を得ている。またバブルの崩壊時間は、シミュレーション結果、実験結果、理論式でほぼ一致した値になった。シミュレーションで予測される残留応力の深さ方向の分布は、残留応力分布の実験結果とほぼ一致することを示している。

第5章においては、これまでの内容を総括しており、以下の結論を得ている。AE計測と高速度カメラの観察からレーザーアブレーションだけではなく、バブルの崩壊やレーザー誘起絶縁破壊の衝撃力を評価することができた。シミュレーションにおいてもキャビテーションバブル崩壊による残留応力への影響を確認できた。水中伝播AEを活用することで、材料伝播AEではとらえることが難しい現象も計測することができた。残留応力のシミュレーション結果は実際の実験結果とほぼ一致することがわかった。

以上、本論文はレーザーピーニング時の衝撃力の評価を AE 法によって行うことを提案しており、またピーニング条件が衝撃力へ与える効果も明らかにしている。本論文の手法によって、レーザーピーニング時の衝撃力の向上、および残留応力の非破壊な推定が可能となり、マテリアル工学および製造現場への寄与が大きいと判断できる。

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。

審査の結果の要旨

氏名 高田 知樹

本論文は、レーザーピーニングにおいて発生した衝撃力をAE法によって評価しin-situかつ非破壊な検査手法を確立することを目指し研究を行ったものである。レーザーピーニングは金属表面にレーザー照射を行うことでアブレーションを起こし、その衝撃力を用いて表面加工を行うものである。残留応力の付与には衝撃力の値が重要であり、衝撃力を上昇させるためにはレーザー出力を上げる方法がある。しかし、レーザーのパワー密度の高くなると、レーザー誘起絶縁破壊が起こり衝撃力は飽和する。本論文では、レーザーピーニング時の現象の解明および衝撃力を向上させる方法について検討している。

第1章では、レーザーピーニングおよび本論文で研究対象とした現象について述べている。レーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊および絶縁破壊による衝撃波の発生についてまとめている。キャビテーションバブルとは、水中の圧力差が生じた箇所に発生する微小なバブルであり崩壊時に強い衝撃を伴う。衝撃力を向上させるための課題、および本論文の目的について述べている。

第2章では、研究に用いた装置類について詳しく述べている。レーザーピーニングの実験装置を作製し、レーザーエネルギー、水層の温度、粘度、厚さの影響を評価した。誘起絶縁破壊の実験を行う際には、水中にレーザーを集束させることで再現した。金属試料の裏面と水中にそれぞれAEセンサを設置しAE計測を行った。動的現象を観察するためにシャドウグラフ法による高速度カメラ撮影を行った。さらに、レーザーピーニングの残留応力への影響を調べるために、有限要素シミュレーションによる衝撃力と残留応力の評価を行った。金属試料に直接衝撃圧力を荷重することでアブレーションのシミュレーションを行った。また水中に半球状のバブルを設定し、時間経過とともに収縮する様子のシミュレーションを行っている。

第3章では、得られた実験結果とシミュレーション結果について述べている。レーザーピーニング時の現象であるレーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊、レーザー誘起絶縁破壊について、それぞれAE計測と高速度カ

メラによって調べた。AE波形を逆解析することでピーニング時の衝撃力を評価した。レーザーアブレーションとバブル崩壊は同程度の衝撃力を発生させ、また液層の影響を受けていることが分かった。高速度カメラによりアブレーション、バブル崩壊、絶縁破壊の際の衝撃波の発生と伝播を捉えている。アブレーションのシミュレーションにより、衝撃圧力の残留応力への影響を評価できた。バブル崩壊のシミュレーションにおいては、バブル崩壊時に衝撃波を伴い、また発生した残留応力はバブルの最大半径とともに増加したことを示している。

第4章では、第3章で得られた実験結果について考察を行っている。アブレーション時の衝撃力は水層の衝撃インピーダンスが上昇することで上昇する、キャビテーションバブルの衝撃力は水層の厚さに強く依存する、絶縁破壊の衝撃力はレーザーエネルギーの上昇とともに上昇する、などの知見を得ている。水中のAEセンサによって材料表面以外で起こった現象も計測でき、水中伝播AEによるレーザーピーニングのモニタリングが有効だという結果を得ている。

アブレーションのシミュレーションでは、2GPa以上の衝撃圧力を加えると、一部の残留応力値が低下することが分かり、ユゴニオ弾性限界を用いて説明している。アブレーションとバブル崩壊のシミュレーションを組み合わせた結果から、バブル崩壊も残留応力を増加させるために有効であるという結論を得ている。またバブルの崩壊時間は、シミュレーション結果、実験結果、理論式でほぼ一致した値になった。シミュレーションで予測される残留応力の深さ方向の分布は、残留応力分布の実験結果とほぼ一致することを示している。

第5章においては、これまでの内容を総括しており、以下の結論を得ている。AE計測と高速度カメラの観察からレーザーアブレーションだけではなく、バブルの崩壊やレーザー誘起絶縁破壊の衝撃力を評価することができた。シミュレーションにおいてもキャビテーションバブル崩壊による残留応力への影響を確認できた。水中伝播AEを活用することで、材料伝播AEではとらえることが難しい現象も計測することができた。残留応力のシミュレーション結果は実際の実験結果とほぼ一致することがわかった。

以上、本論文はレーザーピーニング時の衝撃力の評価を AE 法によって行うことを提案しており、またピーニング条件が衝撃力へ与える効果も明らかにしている。本論文の手法によって、レーザーピーニング時の衝撃力の向上、および残留応力の非破壊な推定が可能となり、マテリアル工学および製造現場への寄与が大きいと判断できる。

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。

審査の結果の要旨

氏名 高田 知樹

本論文は、レーザーピーニングにおいて発生した衝撃力をAE法によって評価しin-situかつ非破壊な検査手法を確立することを目指し研究を行ったものである。レーザーピーニングは金属表面にレーザー照射を行うことでアブレーションを起こし、その衝撃力を用いて表面加工を行うものである。残留応力の付与には衝撃力の値が重要であり、衝撃力を上昇させるためにはレーザー出力を上げる方法がある。しかし、レーザーのパワー密度の高くなると、レーザー誘起絶縁破壊が起こり衝撃力は飽和する。本論文では、レーザーピーニング時の現象の解明および衝撃力を向上させる方法について検討している。

第1章では、レーザーピーニングおよび本論文で研究対象とした現象について述べている。レーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊および絶縁破壊による衝撃波の発生についてまとめている。キャビテーションバブルとは、水中の圧力差が生じた箇所に発生する微小なバブルであり崩壊時に強い衝撃を伴う。衝撃力を向上させるための課題、および本論文の目的について述べている。

第2章では、研究に用いた装置類について詳しく述べている。レーザーピーニングの実験装置を作製し、レーザーエネルギー、水層の温度、粘度、厚さの影響を評価した。誘起絶縁破壊の実験を行う際には、水中にレーザーを集束させることで再現した。金属試料の裏面と水中にそれぞれAEセンサを設置しAE計測を行った。動的現象を観察するためにシャドウグラフ法による高速度カメラ撮影を行った。さらに、レーザーピーニングの残留応力への影響を調べるために、有限要素シミュレーションによる衝撃力と残留応力の評価を行った。金属試料に直接衝撃圧力を荷重することでアブレーションのシミュレーションを行った。また水中に半球状のバブルを設定し、時間経過とともに収縮する様子のシミュレーションを行っている。

第3章では、得られた実験結果とシミュレーション結果について述べている。レーザーピーニング時の現象であるレーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊、レーザー誘起絶縁破壊について、それぞれAE計測と高速度カ

メラによって調べた。AE波形を逆解析することでピーニング時の衝撃力を評価した。レーザーアブレーションとバブル崩壊は同程度の衝撃力を発生させ、また液層の影響を受けていることが分かった。高速度カメラによりアブレーション、バブル崩壊、絶縁破壊の際の衝撃波の発生と伝播を捉えている。アブレーションのシミュレーションにより、衝撃圧力の残留応力への影響を評価できた。バブル崩壊のシミュレーションにおいては、バブル崩壊時に衝撃波を伴い、また発生した残留応力はバブルの最大半径とともに増加したことを示している。

第4章では、第3章で得られた実験結果について考察を行っている。アブレーション時の衝撃力は水層の衝撃インピーダンスが上昇することで上昇する、キャビテーションバブルの衝撃力は水層の厚さに強く依存する、絶縁破壊の衝撃力はレーザーエネルギーの上昇とともに上昇する、などの知見を得ている。水中のAEセンサによって材料表面以外で起こった現象も計測でき、水中伝播AEによるレーザーピーニングのモニタリングが有効だという結果を得ている。

アブレーションのシミュレーションでは、2GPa以上の衝撃圧力を加えると、一部の残留応力値が低下することが分かり、ユゴニオ弾性限界を用いて説明している。アブレーションとバブル崩壊のシミュレーションを組み合わせた結果から、バブル崩壊も残留応力を増加させるために有効であるという結論を得ている。またバブルの崩壊時間は、シミュレーション結果、実験結果、理論式でほぼ一致した値になった。シミュレーションで予測される残留応力の深さ方向の分布は、残留応力分布の実験結果とほぼ一致することを示している。

第5章においては、これまでの内容を総括しており、以下の結論を得ている。AE計測と高速度カメラの観察からレーザーアブレーションだけではなく、バブルの崩壊やレーザー誘起絶縁破壊の衝撃力を評価することができた。シミュレーションにおいてもキャビテーションバブル崩壊による残留応力への影響を確認できた。水中伝播AEを活用することで、材料伝播AEではとらえることが難しい現象も計測することができた。残留応力のシミュレーション結果は実際の実験結果とほぼ一致することがわかった。

以上、本論文はレーザーピーニング時の衝撃力の評価を AE 法によって行うことを提案しており、またピーニング条件が衝撃力へ与える効果も明らかにしている。本論文の手法によって、レーザーピーニング時の衝撃力の向上、および残留応力の非破壊な推定が可能となり、マテリアル工学および製造現場への寄与が大きいと判断できる。

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。

審査の結果の要旨

氏名 高田 知樹

本論文は、レーザーピーニングにおいて発生した衝撃力をAE法によって評価しin-situかつ非破壊な検査手法を確立することを目指し研究を行ったものである。レーザーピーニングは金属表面にレーザー照射を行うことでアブレーションを起こし、その衝撃力を用いて表面加工を行うものである。残留応力の付与には衝撃力の値が重要であり、衝撃力を上昇させるためにはレーザー出力を上げる方法がある。しかし、レーザーのパワー密度の高くなると、レーザー誘起絶縁破壊が起こり衝撃力は飽和する。本論文では、レーザーピーニング時の現象の解明および衝撃力を向上させる方法について検討している。

第1章では、レーザーピーニングおよび本論文で研究対象とした現象について述べている。レーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊および絶縁破壊による衝撃波の発生についてまとめている。キャビテーションバブルとは、水中の圧力差が生じた箇所に発生する微小なバブルであり崩壊時に強い衝撃を伴う。衝撃力を向上させるための課題、および本論文の目的について述べている。

第2章では、研究に用いた装置類について詳しく述べている。レーザーピーニングの実験装置を作製し、レーザーエネルギー、水層の温度、粘度、厚さの影響を評価した。誘起絶縁破壊の実験を行う際には、水中にレーザーを集束させることで再現した。金属試料の裏面と水中にそれぞれAEセンサを設置しAE計測を行った。動的現象を観察するためにシャドウグラフ法による高速度カメラ撮影を行った。さらに、レーザーピーニングの残留応力への影響を調べるために、有限要素シミュレーションによる衝撃力と残留応力の評価を行った。金属試料に直接衝撃圧力を荷重することでアブレーションのシミュレーションを行った。また水中に半球状のバブルを設定し、時間経過とともに収縮する様子のシミュレーションを行っている。

第3章では、得られた実験結果とシミュレーション結果について述べている。レーザーピーニング時の現象であるレーザーアブレーション、キャビテーションバブルの崩壊、レーザー誘起絶縁破壊について、それぞれAE計測と高速度カ

メラによって調べた。AE波形を逆解析することでピーニング時の衝撃力を評価した。レーザーアブレーションとバブル崩壊は同程度の衝撃力を発生させ、また液層の影響を受けていることが分かった。高速度カメラによりアブレーション、バブル崩壊、絶縁破壊の際の衝撃波の発生と伝播を捉えている。アブレーションのシミュレーションにより、衝撃圧力の残留応力への影響を評価できた。バブル崩壊のシミュレーションにおいては、バブル崩壊時に衝撃波を伴い、また発生した残留応力はバブルの最大半径とともに増加したことを示している。

第4章では、第3章で得られた実験結果について考察を行っている。アブレーション時の衝撃力は水層の衝撃インピーダンスが上昇することで上昇する、キャビテーションバブルの衝撃力は水層の厚さに強く依存する、絶縁破壊の衝撃力はレーザーエネルギーの上昇とともに上昇する、などの知見を得ている。水中のAEセンサによって材料表面以外で起こった現象も計測でき、水中伝播AEによるレーザーピーニングのモニタリングが有効だという結果を得ている。

アブレーションのシミュレーションでは、2GPa以上の衝撃圧力を加えると、一部の残留応力値が低下することが分かり、ユゴニオ弾性限界を用いて説明している。アブレーションとバブル崩壊のシミュレーションを組み合わせた結果から、バブル崩壊も残留応力を増加させるために有効であるという結論を得ている。またバブルの崩壊時間は、シミュレーション結果、実験結果、理論式でほぼ一致した値になった。シミュレーションで予測される残留応力の深さ方向の分布は、残留応力分布の実験結果とほぼ一致することを示している。

第5章においては、これまでの内容を総括しており、以下の結論を得ている。AE計測と高速度カメラの観察からレーザーアブレーションだけではなく、バブルの崩壊やレーザー誘起絶縁破壊の衝撃力を評価することができた。シミュレーションにおいてもキャビテーションバブル崩壊による残留応力への影響を確認できた。水中伝播AEを活用することで、材料伝播AEではとらえることが難しい現象も計測することができた。残留応力のシミュレーション結果は実際の実験結果とほぼ一致することがわかった。

以上、本論文はレーザーピーニング時の衝撃力の評価を AE 法によって行うことを提案しており、またピーニング条件が衝撃力へ与える効果も明らかにしている。本論文の手法によって、レーザーピーニング時の衝撃力の向上、および残留応力の非破壊な推定が可能となり、マテリアル工学および製造現場への寄与が大きいと判断できる。

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。