

令和元年6月7日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06010

研究課題名(和文) 金属と樹脂のレーザー接合における接合面温度の非接触測定と電場増強現象の解明

研究課題名(英文) Non-contact measurement of welding surface temperature in laser welding of metal and resin parts

研究代表者

早川 伸哉 (Hayakawa, Shinya)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10314080

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：金属と樹脂のレーザー接合における接合面温度を非接触で測定することを目的として、レーザー接合中に放射温度計出力に重畳して測定を妨げる信号の原因解明を行った。その結果、この信号の原因は接合用レーザーの反射光であり、光学フィルタを用いて除去できることがわかった。また、接合加工の進行に伴って時々刻々と変化する接合面の放射率がこの重畳信号を利用することで測定できることを着想した。これにより接合加工中の接合面温度の非接触測定が実現できる見込みが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射温度計による温度測定を妨げると考えられた重畳信号が、温度測定に不可欠な放射率の測定にむしろ有用であることを示したことは学術的な価値が高い。放射率を加工中に測定できることは、サンプルによる事前の検定作業を不要にするほか、接合加工の進行に伴って放射率が変化することにも対応できるようになるため測定精度の向上につながる。これにより接合加工中の接合面温度の測定と管理が可能になることで接合品質と生産性の向上が期待される。

研究成果の概要(英文)：This study investigated a signal superimposing on the output signal of radiation thermometer in order to realize the non-contact measurement of welding surface temperature in laser welding of metal and resin parts. Since the superimposing signal disturbs the temperature measurement, the cause of the signal was first clarified using a monochromator. It was found that the cause of the superimposing signal measured during the laser welding is laser light reflected from the welding surface. This result suggests that the superimposing signal can be eliminated using an appropriate optical filter. Then we invented that emissivity of the welding surface, which varies with progress of the welding process, could be measured during the welding process using the superimposing signal. From these results, non-contact measurement of welding surface temperature in laser welding of metal and resin parts was moved toward the realization.

研究分野：生産加工

キーワード：レーザー接合 接合面温度 放射温度計 放射率 インプロセス測定 非接触測定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属と樹脂のレーザー接合では、接合面の温度が低いと接合ができず、反対に温度が高くなりすぎると樹脂が発泡したり焦げたりして不良となるため、接合面温度を適切な範囲に制御することが望ましい。しかし、接合加工中の接合面温度を測定する技術は確立されておらず、レーザー出力や走査速度などの加工条件は試し加工によって試行錯誤的に決められている。

そこで、放射温度計を用いて接合加工中の接合面温度の測定を試みたところ、未接合の試験片に対してレーザー照射が始まると放射温度計の出力に温度とは別の信号が重畳する現象が観察された。図1はその一例であり、比較のために熱電対による測定も同時に行っている。放射温度計の出力にこのような信号が重畳することは温度測定の妨げとなるため、その原因を解明して重畳信号を除去する必要がある。一方、レーザー接合の状況下で何らかの電場増強作用が生じているとすれば、未知の物理現象として興味深い。

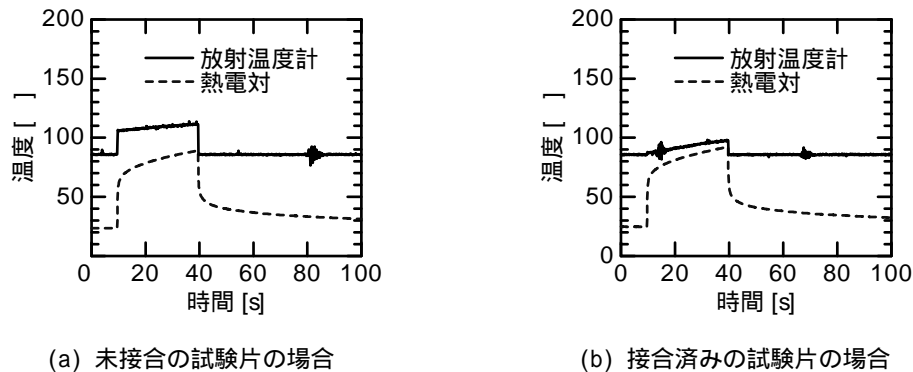


図1 レーザ照射時の温度測定 (放射率設定 = 1.0)

2. 研究の目的

本研究の目的は、金属と樹脂のレーザー接合において放射温度計による接合面温度の測定を妨げている電場増強現象を解明し、接合加工中の接合面温度を非接触で測定する方法を確立することである。

3. 研究の方法

- (1) レーザ接合中の放射温度計の出力に温度とは別の信号が重畳する原因を解明するために、放射温度計に入射している電磁波の分光スペクトルをモノクロメータを用いて観測した。
- (2) 放射温度計の測定系に接合用レーザーの反射光が混入することを防止するための光学フィルタを導入し、温度測定が適切に行えることを確認する実験を行った。
- (3) 接合用レーザーの混入がある場合とない場合の放射温度計出力を比較することで接合面の放射率を求めることができるという着想を検証するために、放射温度計を2台使用して一方にのみ光学フィルタを取り付けて、出力を比較する実験を行った。
- (4) 放射温度計を2台使用してそれぞれが測定対象を狙う方法では2台の取付精度が測定結果に大きく影響するため、それを改善する方法として分岐型光ファイバを使用して2台に均等に導光することを試みた。

4. 研究成果

(1) レーザ接合中の放射温度計の出力に温度とは別の信号が重畳する原因を解明するためには、電場増強が特定の波長で生じているのか、広範な波長にわたって生じているのかを調べるのが手掛かりとなる。そこで、レーザー接合中に放射温度計に入射している電磁波の分光スペクトルをモノクロメータを用いて観測した。はじめに放射温度計の測定波長の範囲内 (1950nm ~ 2500nm) について調査したところ、電場増強が確認されなかった。そこで、放射温度計の測定波長の範囲外まで調査範囲を広げたところ、接合用レーザーの反射光 (波長 920nm) が重畳信号の原因である疑いが生じた。

そこで次に、接合用レーザーを放射温度計に直接照射したときの応答を調査したところ、仕様上は応答しないはずであるにもかかわらず出力信号が増大した。

これにより重畳信号の原因は接合用レーザーの反射光であると特定された。

(2) 放射温度計の出力に温度とは別の信号が重畳する原因は接合用レーザの反射光に放射温度計が反応するためであることが上記(1)の実験でわかった。本研究で使用している放射温度計の測定波長は1950nm～2500nmであり、接合用レーザの波長920nmには応答しないはずであったが、放射温度計の構成部品である光検出器は接合用レーザの波長に反応するタイプである可能性が考えられた。そこで、接合用レーザの波長を透過せず、仕様上の測定波長は透過する光学フィルタ（カット帯域1020nmのロングパスフィルタ）を測定系に挿入して温度測定を試みた。測定結果の妥当性を確認するために熱電対も同時に使用した。その結果、このフィルタを使用すれば温度測定が正常に行えることが確認された（図2）。

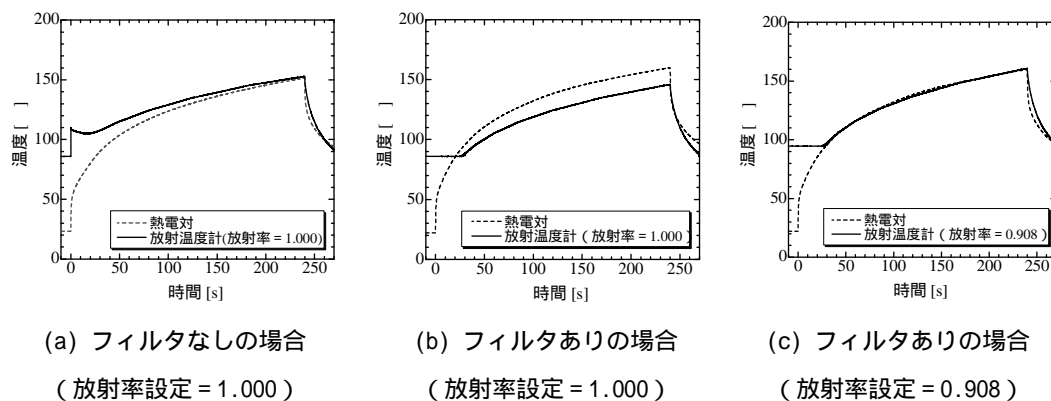


図2 レーザ接合中の接合面温度の測定結果

(3) 放射温度計による温度測定を行うには、測定対象の放射率の値が必要である。通常は測定対象のサンプルを用意して、熱電対など他の温度測定法を併用して検定を行うことで放射率の値を事前に調べることが行われる。しかし、レーザ接合では接合面の放射率の値が接合の状態によって（接合の進行とともに）変化することが図1の結果（接合前と接合後の比較）から推測された。すなわち、接合加工中の温度を測定するには時々刻々と変化する放射率の値をインプロセスで測定することが必要であり、接合中の接合面温度の測定を実現するうえで大きな課題といえる。

それに対して上記(2)の結果から、光学フィルタを挿入しない場合と挿入した場合の放射温度計の出力の差をとれば反射光の強度を求めることができ、接合面における接合用レーザの反射率や接合面の放射率が求められることを着想した。そこで、同じ型番の放射温度計を2台設置し、接合用レーザの反射光を除去する光学フィルタを一方にのみ取り付け測定を行い、前述の原理を検証する実験を行った。その結果、2台の取付精度の影響が大きいため十分な精度で放射率の値を得ることはできなかった。しかし、当初は温度測定を妨げると考えられた重畳信号から温度測定に不可欠な情報を得られる可能性を示したことは価値のある成果だといえる。

(4) 上記(3)の実験では2台の放射温度計の取付精度が課題であった。そこで、分岐型光ファイバを導入して、2台の放射温度計に均等に導光することを試みた。しかし、2台ともフィルタなしの場合でも出力信号が完全には一致せず、フィルタの有無による出力差から放射率の値を十分な精度で求めることはできなかった。また、放射温度計の出力値は構成部品である光検出器の出力に増幅やオフセットなどの演算処理が施された後の値であり、入射光の強度に比例した出力値ではないことも測定データの処理を難しくした。そのため、着想した原理で接合面の放射率を求めるには、放射温度計を2台使用するのではなく、光検出器を2個使用するシンプルな測定系を構築することが必要であると考えられた。

(5) 以上、本研究は金属と樹脂のレーザ接合における接合面温度を放射温度計を用いて測定する方法を確立することを目的として、測定を妨げている重畳信号の原因の解明と対策、および、新たに着想した放射率の測定方法の検証を行った。その結果、測定を妨げる重畳信号の原因は接合用レーザ光の反射光であることがわかり、光学フィルタを使用することで対策できることを実証した。これにより当初に目指していた接合面温度の測定（事前に放射率の検定を行う方式）は行えるようになった。

接合用レーザの反射光に放射温度計が反応することは当初の想定とは異なる状況であったが、この現象を利用することで、接合状態（接合の進行）によって時々刻々と変化する接合面の放射率の値を接合加工中にその場で測定できることを着想し、その検証を試みた。本研究の研究期間内には放射率の値を十分な精度で求めるまでには至らなかったが、装置上の問題が明確になったことで測定できる見込みは得られたといえる。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

早川伸哉，山本充章，糸魚川文広，中村 隆：金属と樹脂のレーザー接合における接合面温度の非接触測定，第224回電気加工研究会，2018年．

山本充章，早川伸哉，糸魚川文広，中村 隆：金属と樹脂のレーザー接合における接合面温度の非接触測定に及ぼすレーザー反射光の影響，電気加工学会全国大会(2017)，2017年．

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究分担者

(2)研究協力者

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。