

# 熱交換器用塑性加工部品へのレーザークラディング技術の開発

群馬大学工学部 機械システム工学科  
助手 荘司 郁夫  
(平成 13 年度研究開発助成 AF-2001023)

キーワード：レーザークラディング，ろう，熱交換器

## 1. 研究の目的と背景

複雑形状の塑性加工部品から形成される熱交換器は、コジェネレーションシステムの構築等には必須のものであり、省エネルギーシステムの実現に向け、その重要性はますます高まっている。現在実用化されている熱交換器材料としては主に銅あるいは銅合金が用いられ、塑性加工技術にて熱交換に適した複雑な形状に成形された後に、それらの接合はりん銅ろうによるろう付にて行われる<sup>1, 2)</sup>。熱交換器の塑性加工部品は複雑形状を有しているため、接合用のろう材の供給がその接合部の品質を大きく左右する。現在、ろう材の供給は、薄膜を適当な形にカットして接合部に挟み込む方式が多く採用されている。しかし、部品形状の複雑化および部品の小サイズ化に伴い、従来法では、適量のろう材供給が困難となっており、ろう材の形態をペースト状やメッシュ状に変更するような手法も開発されているが、生産性の向上は図られていない。

そこで、本研究では、銅を主たる材料とする複雑形状の熱交換器用塑性加工部品の表面にろう材をレーザークラディングする技術を開発することを主たる目的とした。予め部品表面にろう材がクラディングされていれば、接合部に新たにろう材を供給する必要がないため、複雑形状の部品に対してもろう付を低コストで容易に行うことが可能となる。また、レーザー装置によるクラディング技術は、自動化が容易であるので、従来の人手によるろう材供給方法を削除し、自動化工程構築に貢献しうる可能性がある。

## 2. 実験方法

本研究では、レーザーによる銅基板上へのりん銅ろうのクラディング技術を検討するために、半導体レーザーを使用して実験を実施した。表 1 に本研究で使用した半導体レーザー装置の主な仕様を示す。本研究で用いた半導体レーザー装置は、ガイド光機能が付いており、ガイド光にてレーザー照射位置を予め位置決めすることが可能であった。

クラディング用のろう材として、Cu-7mass%P ろう (BCuP2) の、薄膜材 (0.1mm 厚)、ペースト材およびメッシュ材 (Cu-7P ろう粉末をバインダーによりメッシュ状

に固めたもの、0.1mm 厚) を準備した。

レーザークラディングは、厚さ 1mm の銅板上にろう材をセットし、窒素雰囲気 (流量：3 l/min) にて実施した。

## 3. 実験結果および考察

本研究では、ろう材として、薄膜材、ペースト材およびメッシュ材を用いたが、ペースト材およびメッシュ材を用いた場合には、ろう材の熔融は認められたが、銅板上への濡れは確認されなかった。そのため、以下では、薄膜材を用いた結果について報告する。

### 3. 1 スポット照射

図 1 に、レーザー出力 20W および 25W にて、スポット照射を行った結果をまとめて示す。レーザー出力 20W の場合には、照射時間 5s において、ろう材の熔融が認められ、照射時間の増加とともに、熔融面積も増大する傾向がみられたが、ろう材の銅板への濡れは認められなかった。一方、レーザー出力 25W の場合には、照射時間 5s においても、レーザー出力 20W 照射時間 15s と同程度の熔融面積が得られることがわかる。また、レーザー出力 20W の時と異なり、照射時間が増加しても、熔融面積の増加はほとんど認められない。照射時間 15s の試料においては、照射時間 5s および 10s の時と比べ、熔融面積は減少している。これは、銅板とろう材の間のギャップに起因したものであり、ギャップが大きくなるほど、熔融状態が不安定となる傾向を示した。レーザー出力 25W、照射時間 10s および 15s の場合には、ろう材熔融部の銅板上への濡れが認められた。従って、レーザー出力 25W 程度で 10s 以上の照射を行うことにより、スポット溶接的な接合が可能となることが明らかとなった。

表 1 半導体レーザー装置仕様。

項目	仕様
最大出力	300W
波長	940nm
スポット径	1.47 x 1.57 mm <sup>2</sup>
ガイド光波長	670nm

次に、短時間でスポット接合を可能とする条件を検討するため、照射時間を5sに固定して、レーザー出力を増加させて評価を実施した。その結果を、図2にまとめて示す。レーザー出力30Wの場合には、0.5mm径程度の熔融部が認められたが、銅板への濡れは観察されなかった。レーザー出力が35W以上になると、熔融部は、数mm径程度となり、レーザー出力35W~50Wの範囲では、熔融部の面積はほとんど変化しないことが観察された。また、レーザー出力35W~45Wの条件においては、熔融ろう材の銅板への濡れも観察された。レー

ザー出力35Wおよび45Wの場合には、熔融したろう材は、熔融部端部の特定箇所集まる現象が観察された。レーザー出力35Wの場合には、そのろう材集合部近傍において、ろう材の銅板への濡れが観察された。レーザー出力45Wの場合には、レーザー照射中心部から、ろう材集合部にわたって、ろう材の銅板への濡れが認められた。

一方、レーザー出力40Wの場合には、ろう材の熔融端部への集合は認められず、熔融部が銅板上に均一に存在することが確認され、その一部においては銅板へ

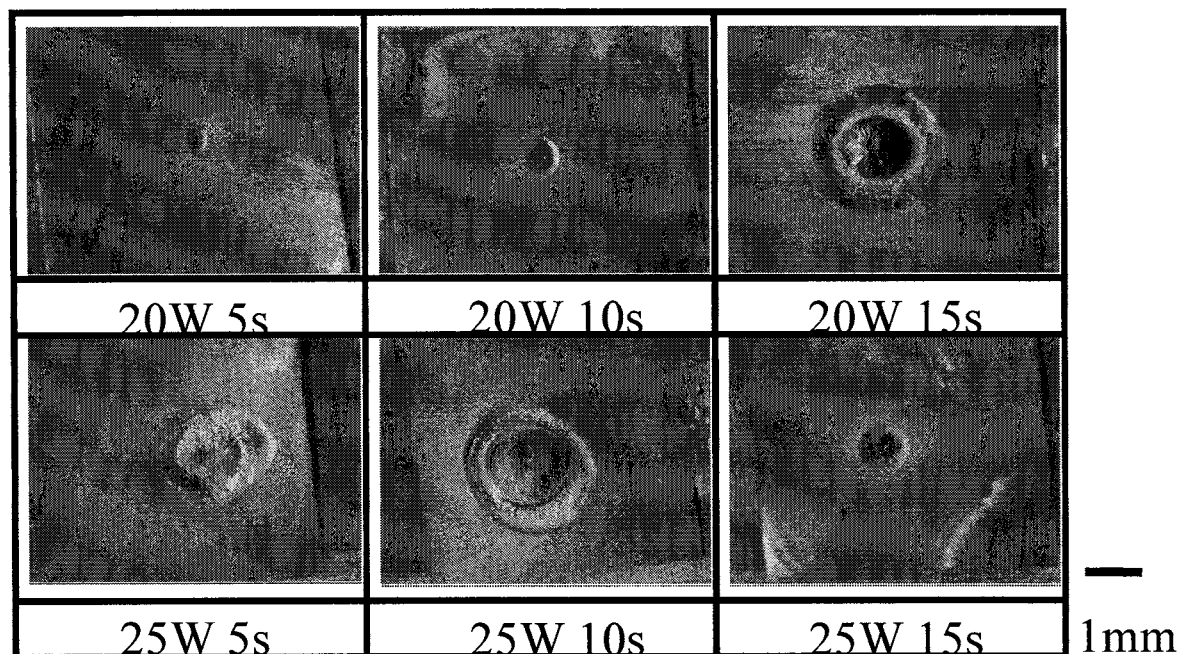


図1 スポット照射結果（レーザー出力：20Wおよび25W）。

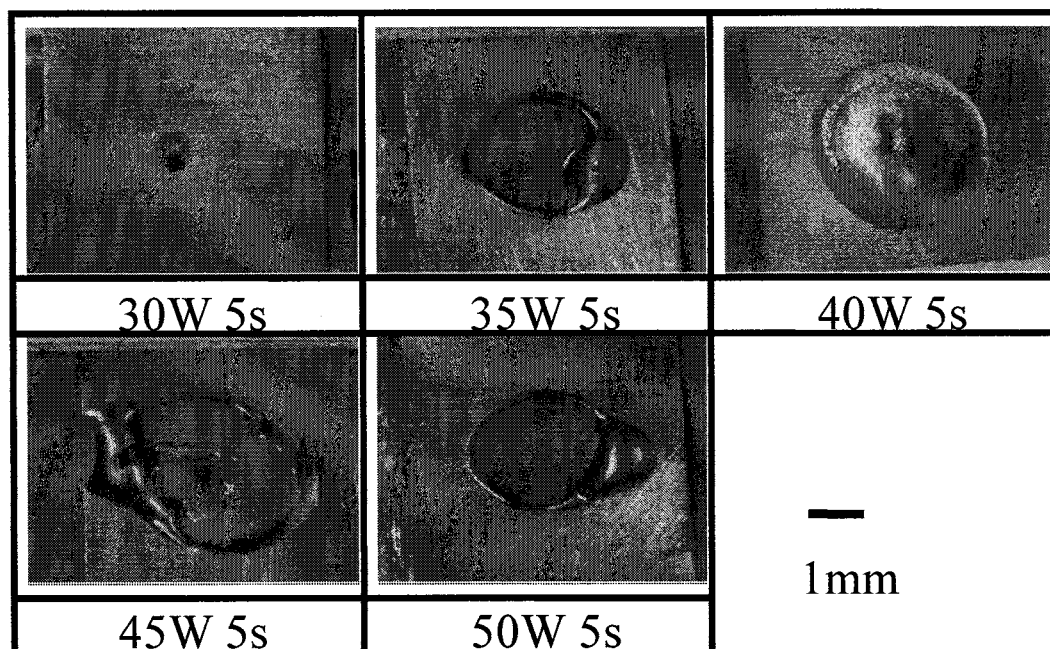


図2 スポット照射結果（レーザー照射時間：5s）。

の濡れが確認された。レーザー出力 35W および 45W の場合と 40W の場合における差異は、ろう材と銅板とのギャップに支配されるものと考えられる。すなわち、レーザー照射中にろう材と銅板とのギャップが小さな場合には、溶融したろう材は、溶融端部に集まりにくくなる傾向を示すものとする。この適正ギャップに関しては、クラディングの重要パラメーターとなるものと考えられるため、今後更なる検討が必要である。

レーザー出力 50W の場合には、溶融部の面積は、レーザー出力 35W~45W の場合と同程度であったが、溶融ろう材の銅板への濡れは認められなかった。レーザー出力が大きくなると、ろう材の溶融およびそれに引き続く溶融端部での溶融ろうの球状化が、銅板への濡れよりも速やかに起こるため図 2 のような結果が得られたものとする。

### 3. 2 レーザークラディング検討

図 3 に、各種レーザー出力および送り速度にてレー

ザークラディングを実施した結果をまとめて示す。本研究では、銅板上にりん銅ろう薄膜をセットした試料をステージ上に固定し、ステージを一定速度で移動させることにより、レーザー送り速度を変化させた。なお、レーザー照射は、図 3 の試料において、右方向から左方向に向かって行われた。

送り速度 0.45m/min の場合には、レーザー出力 30W~50W のいずれの条件でも、ろう材の溶融は認められたが、ろう材の銅板への濡れは観察されなかった。レーザー出力 50W では、溶融ろうは溶融部の両端部に融け分かれ、銅板への濡れは、認められなかった。レーザー出力 40W の場合には、溶融面積はレーザー出力 50W の場合と同程度であり、溶融部はクラディング終端部を除いては、50W の場合とは異なり、銅板上に均一に存在する。レーザー出力 30W の場合には、溶融面積は、レーザー出力 50W および 40W の場合と比較して、減少することが確認できる。溶融部は、40W の場合と同様、

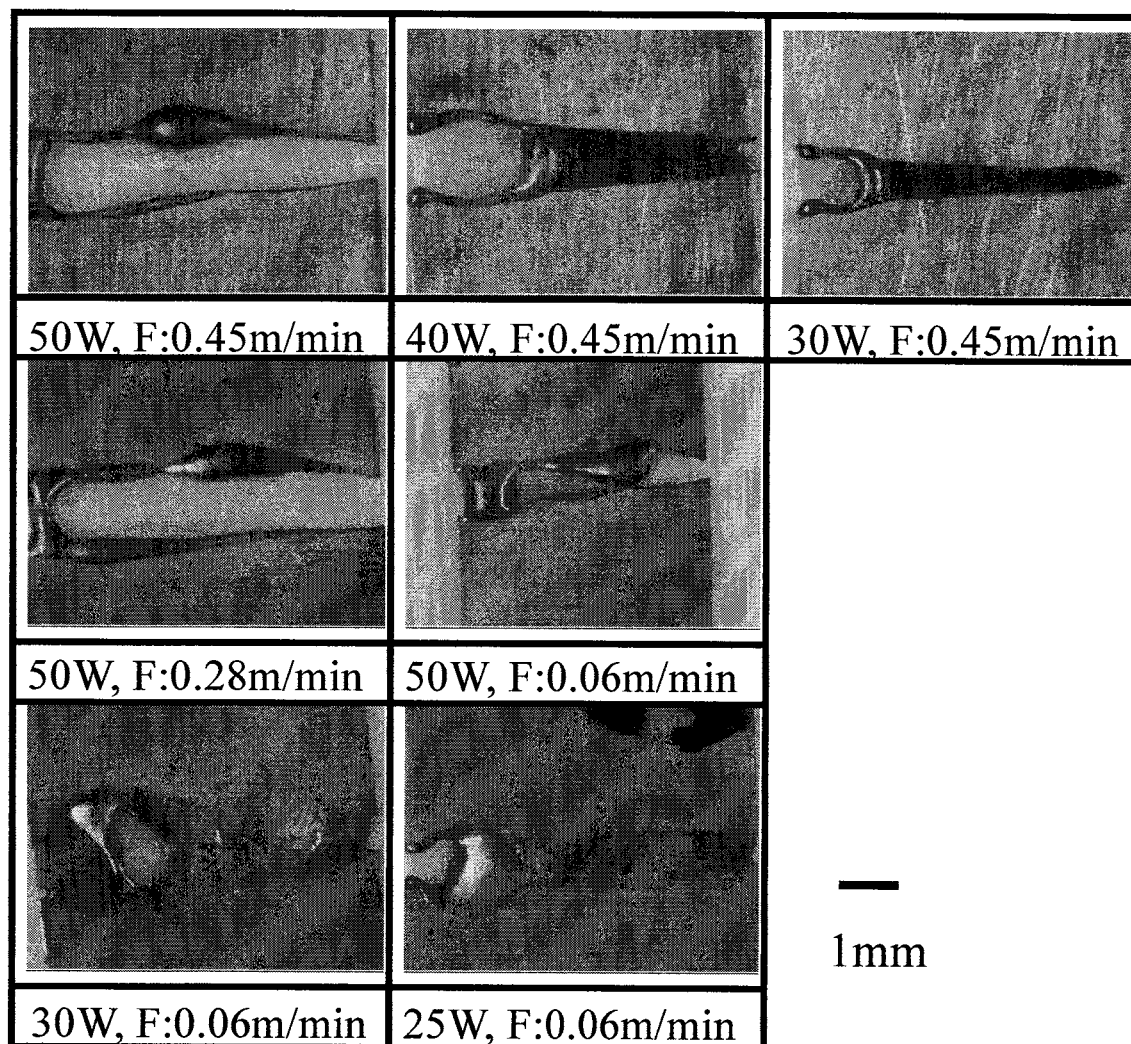


図 3 レーザークラディング後のりん銅ろう薄膜材の外観観察結果（レーザー送り方向：右側から左側）。

銅板上に均一に存在することが確認されたが、レーザー出力 40W および 30W の場合とも、溶融ろうの銅板への濡れは、観察されなかった。

レーザー出力 50W にて、送り速度を 0.28m/min に減少させても、図 3 に示すように送り速度 0.45m/min の場合とほぼ同様の結果が得られ、改善は認められなかった。そこで、レーザー出力 50W にて送り速度を更に、0.06m/min に減少させたところ、溶融面積の減少がみられ、ろう材の溶融両端部への融け分かれが起こらない箇所もみられるようになった。この結果から、送り速度 0.06m/min にて、レーザー出力を減少させればろう材の融け分かれを防止できる可能性が示された。そこで、送り速度 0.06m/min にて、レーザー出力をスポット照射にて良好な結果が得られた 30W および 25W に変更して実験を実施したところ、図 3 に示したように、ろう材の融け分かれが防止できることが確認された。しかし、送り速度 0.06m/min、レーザー出力 30W および 25W の照射条件において、ろう材の融け分かれを防止することは可能となったが、溶融ろうの銅板上への濡れは認められなかった。

図 3 に示した実験においては、銅板上にセットしたろう材を左右に横切るようにレーザー照射を実施した。そのため、レーザー照射開始部および終端部にあたるろう材端部において、ろう材の溶融部形状が銅板上において均一とならない傾向がみられた。そこで、ろう材部の端部ではなく、中央部をスポット照射した後に、引き続きレーザー照射を実施する工法を検討することとした。図 4 に、レーザー出力 25W、送り速度 0.06m/min にて、スポット照射とそれに引き続くレーザー照射を実施した例を示す。図 4 の試料においては、ろう材中心部に 10s 間レーザー照射を行い、その後レーザーを照射したままでステージを移動させて、中心部→左端部→左端部にて 10s 保持→右端部→右端部にて 10s 保持→左端部の順で照射を実施した。図 4 に示したように、はじめにスポット照射によって、ろう材の一部を銅板上に濡れさせた後に、クラディングを行うことにより、ろう材の融け分かれを引き起こすことなく銅板上へのりん銅ろうのクラディングを可能とする条件が存在することが示された。



1mm

図 4 スポット照射後にクラディングを実施した例  
(レーザー出力：25W、送り速度：0.06m/min)。

#### 4. 結言

本研究では、銅板上にりん銅ろうをレーザークラディングすることを目的として、半導体レーザーを用いて有効クラディング条件の検討を行った。得られた成果を以下にまとめる。

- (1) スポット接合に関しては、レーザー出力 25W にて 10s 以上の照射時間が有効である。
- (2) クラディングの際のレーザー送り速度およびレーザー出力を、それぞれ 0.06m/min および 25W または 30W とすることにより、ろう材の融け分かれを防止できる。
- (3) クラディング工法としては、初めにスポット照射にてろう材の一部を銅板に接合した後に、クラディングを行う工法が有効である。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けたことを付記し、財団および関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 飯塚堇・山中敏昭・出口隆彦：溶接技術，1999年4月号，(1999)，108.
- 2) 日本塑性加工学会，接合，(1990)，197.