

レーザー樹脂溶着の高品質化に関する研究

(汎用の材料であっても接合強度や気密性の低下が起きないレーザー樹脂溶着技術の開発)

電子情報科 主任研究員 田中博樹

工業製品の製造工程において、樹脂同士を接合する方法の一つにレーザー樹脂溶着^[1]がある。レーザー樹脂溶着には、バリが発生しない、接合部近傍への熱影響が少ない等のメリットがあり、近年注目を集めている。しかし、レーザー樹脂溶着では材料間の隙間に起因する接合強度や気密性の低下が問題となる。本研究では、多品種少量生産時にも適用可能な方法で上記課題を解決する技術を開発する。研究内容としては、まず、加工用光源に Yb ファイバーレーザーを用いたレーザー樹脂溶着用の実験装置を作製した。次に、専用の型を用いることなく吸収材に突起部を成形する前処理手法を考案し、その検証実験を行った。実験では数種類のパラメーターを変化させて突起部を成形したサンプルを作成し、突起部断面を顕微鏡観察して突起部の高さを測定した。その結果、成形条件によっては、平均 80 μm 程度の高さの突起部を成形できることがわかった。最後に、考案した前処理手法の有効性を確認するための評価試験として、スペーサーを用いて意図的に隙間を作った材料に対してレーザー溶着を行い、前処理をしたサンプルの方が高い接合強度を得られることを確認した。

1. 緒言

工業製品の製造工程において、樹脂同士を接合する場合、接着剤を利用するのが最も一般的である。しかし、接着剤には、ランニングコストがかかる、接着剤の管理が煩雑、硬化時間が必要、経年劣化により気密性が失われる、といったデメリットがある。このようなデメリットが問題となる場合、熱を加えて接合する技術が用いられる。また、加熱接合は気密性が得られやすいため、一度封止して開封する必要がないのであれば、パッキンを用いたネジ止めの代替となり、ネジコストの削減、製造工程の簡素化、製品の小型化が可能、といったメリットが得られる。

樹脂の加熱接合では、熱源として熱板や超音波を利用する方法がある。熱板を熱源とする接合には、サイクルタイムが遅い、バリや糸引きの発生といったデメリットがある。超音波を熱源とする接合には、振動による内部部品へのダメージ、バリや粉塵の発生といったデメリットがある。これらより新しい技術として、熱源にレーザー光を利用する方法(レーザー樹脂溶着)もあり、この方法では上記のようなデメリットはない。ただし、接合する材料の一方がレーザー光を透過し、もう一方はレーザー光を吸収する必要があるため、材料に工夫が必要である。

今後 IoT が進展すると、様々な場所にセンサーが設置されることになるが、風雨にさらされる環境下、高湿度環境下、水中および粉塵の多い環境下等で用いるセンサーには容器の気密性が要求される。バリや部材内部への影響がなく、小型の容器を封止できるレー

ザー樹脂溶着は、そのようなセンサーの製造と相性がよく、今後ますます活用されると考えられる。

レーザー樹脂溶着を行う際の課題として、材料間に見える隙間に起因する溶着品質の低下がある(図1参照)。一般的に調達できる樹脂材の表面には、ひげや傷等による凹みがあるため、材料を重ねた際に隙間ができる。その状態でレーザー照射を行うと、隙間部分がうまく溶着されず、接合強度や気密性の低下を引き起こす。この対策として、吸収側の材料のレーザー照射部分に予め突起を成形しておく方法^[2]が提案されている。しかし、この方法では、専用の型で突起部を成形する必要があり、汎用の板材等をそのまま使用してレーザー樹脂溶着を行うことはできず、多品種少量生産には不向きである。

2. 研究内容と結果

本研究では、レーザー樹脂溶着における材料間の隙間に起因する接合強度や気密性の低下を、多品種少量生産時にも適用可能な方法で改善する。このために、以下の研究項目を実施する。①レーザー樹脂溶着用の実験装置を作製する。②専用の型を用いることなく吸収材に突起部を成形する前処理手法を考案し、その検証実験を行う。③溶着状態や加工時間等に影響する複数のパラメーターを検討し、その検証実験を行う。④上記の実験データに基づいて評価用サンプルを試作し、それらサンプルの接合強度を測定する。

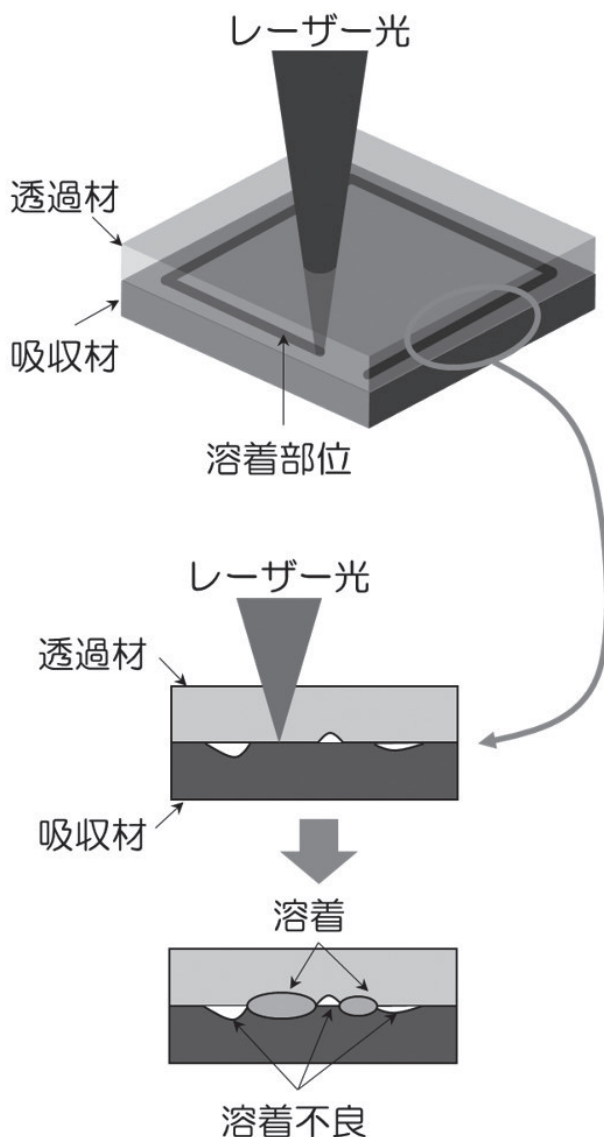


図1 レーザー樹脂溶着時の材料間の隙間に起因する溶着不良の模式図

2. 1 レーザー溶着実験装置の作製

上記①の研究項目について、その内容を以下に記述する。レーザー樹脂溶着用の光源には Yb ファイバーレーザー（パナソニック製 LP-Z250）を用いた。このレーザーの照射ヘッド内には、ガルバノモーターに取り付けられた X 軸ミラーおよび Y 軸ミラー、ならびに集光用 $f \theta$ レンズが内蔵されており、X 軸ミラーおよび Y 軸ミラーはガルバノモーターにより反射角を変えることができ、その反射角の組み合わせにより加工対象面の任意の場所に集光スポットを移動させることができる。この集光スポットの位置、移動軌跡および移動速度は装置制御用のコンピューターによって設定できる。また、レーザー出力等も同様に設定できる。

図2に作製した装置の写真を示す。レーザー照射

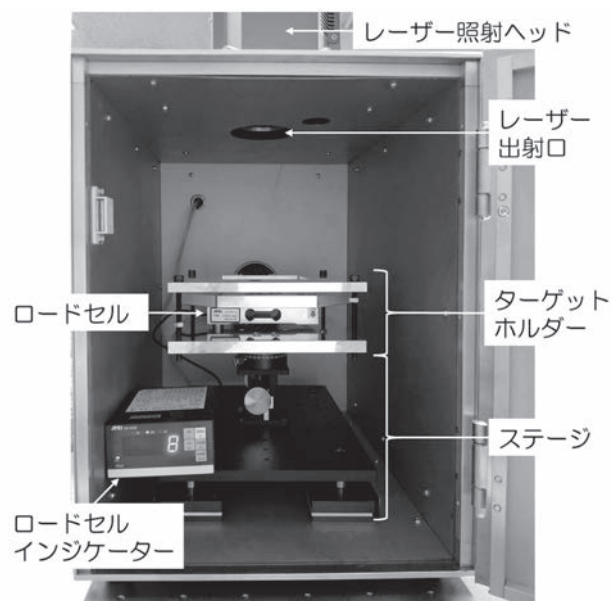


図2 作製した装置の写真

ヘッドの下部には、照射ターゲットとなる樹脂材料を設置するターゲットホルダーならびに高さおよび水平回転の可動軸を有する移動ステージがある。ターゲットホルダーには重ね合わせて設置した樹脂材料を加圧する機構があり、その加圧力を測定するためのロードセルをターゲットホルダーに組み込んでいる。

2. 2 突起部成形の検証実験

上記②の研究項目について、考案した前処理手法を用いてアクリル樹脂板に突起部を成形する検証実験で得られた結果の一部を以下に記述する。実験では数種類のパラメーターを変化させて突起部を成形したサンプルを作成し、突起部断面を顕微鏡観察して突起部の高さを測定した。

測定結果の一例として、突起部成形時の投入エネルギー量を変化させた場合の突起部の高さを表すグラフを図3に示す。各エネルギー量における突起部の高さは、9か所の断面を測定した平均値である。投入エネルギー量を増やすと、ある程度までは高さが単調に増加するが、その後、高さが減少に転じる。この投入エネルギー量が多く、高さが低下したサンプルの突起部断面を顕微鏡観察すると、一部で突起部の形状に乱れが発生しており、それが高さの減少につながったことがわかった。

図4は、成形速度を変化させた場合の突起部の高さを表すグラフである。各成形速度における突起部の高さは、9か所の断面を測定した平均値である。形成速

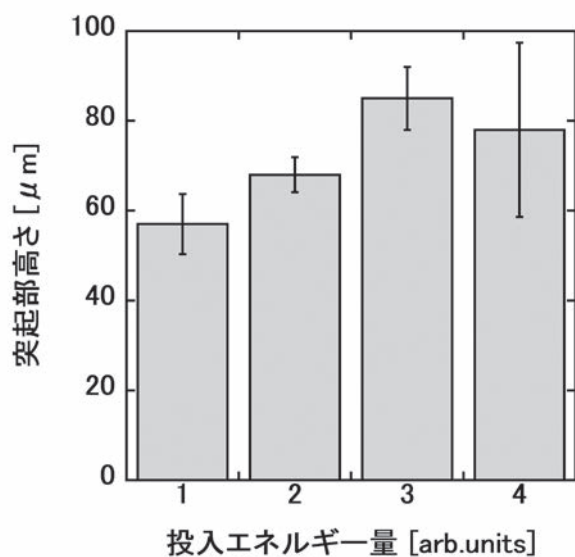


図3 投入エネルギー量を変化させた場合の突起部の高さ

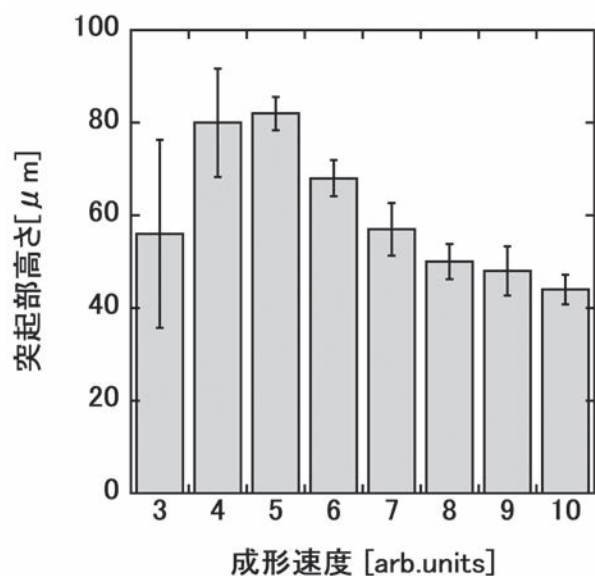


図4 形成速度を変化させた場合の突起部の高さ

度4では、高さ90 μm を超える突起部が得られることもあったが、ばらつきが大きく、高さ60 μm を下回るサンプルもあった。形成速度5では、高さ90 μm を超える突起部は得られなかったが、突起部の高さの平均値は全形成速度中で最も高かった。また、形成速度5では、突起部の高さのばらつきが小さく、高さ70 μm を下回ることにはなかった。また、突起部断面の顕微鏡観察から、形成速度が速くなるにつれて、突起部の高さの平均値は低くなるものの、突起部の形状の乱れは少なかった。一方で、形成速度が遅い場合は、突起部

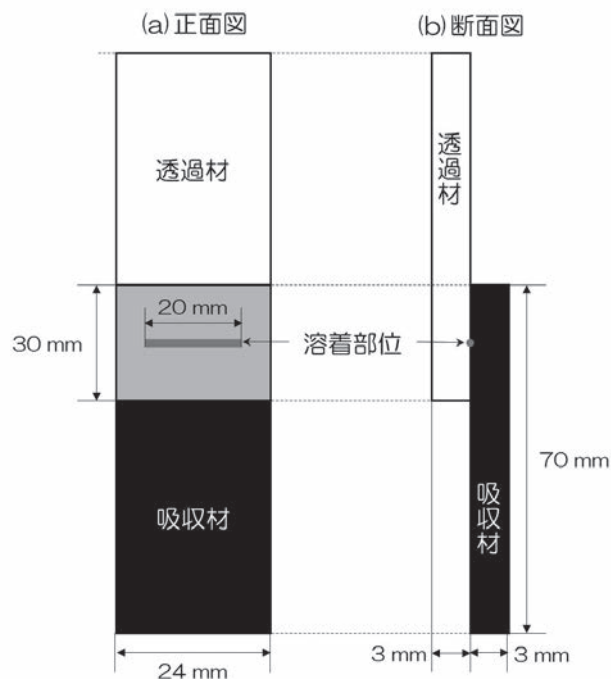


図5 樹脂材料の形状および溶着部位

の形状の乱れが大きくなり、それが突起部の高さ低下につながっていた。

検証実験の結果、突起部成形時の投入エネルギー量および形成速度を、突起部の形状が乱れない程度に調整することで、平均80 μm 程度の高さの突起部を成形できることがわかった。

2.3 レーザー樹脂溶着の検証実験

上記③の研究項目について、その内容を以下に記述する。検証実験では、レーザー出力、レーザー走査速度、加圧力等のパラメーターを変えながらアクリル樹脂板の溶着を行い、溶着後のサンプルの接合状態を確認した。重要な確認項目の一つに溶着後の接合強度があるが、その確認方法としては、引張りせん断試験を行うことにした。引張りせん断試験には、精密万能試験機(島津製作所製 AG-10kNX)を用いた。この引張りせん断試験を行うことを前提とし、検証実験で用いる樹脂材料の形状および溶着部位は図5のようにした。図5に示した形状の樹脂材料をレーザー溶着実験装置に配置する際には、別途作製した専用の固定治具を用いてターゲットホルダーに取り付けた。図6は、溶着後のサンプルを精密万能試験機にセットした様子である。溶着後のサンプルをそのまま試験機のエアチャックで把持すると、水平方向の位置がずれて不要

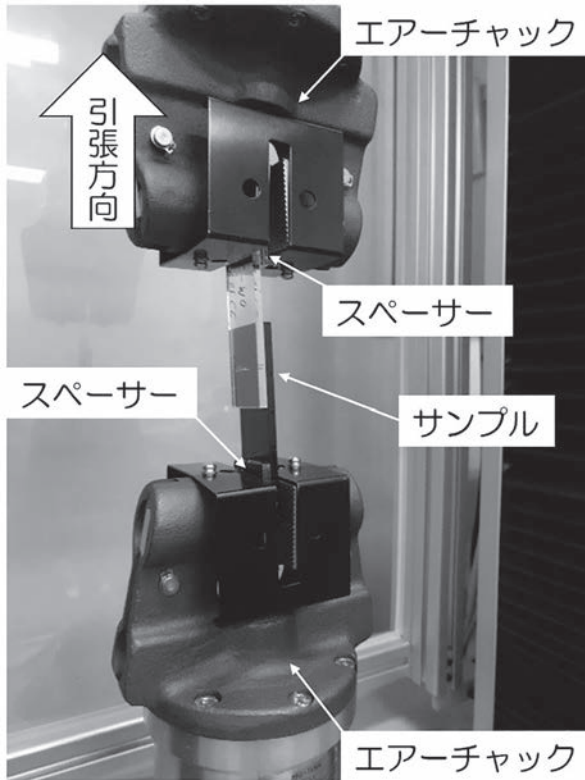


図6 溶着サンプルの精密万能試験機へのセッティングの様子

な応力がかかるため、各エアージャックの把持面に樹脂材料と同じ厚さ 3 mm の板材をスペーサーとして挿入した。

検証実験の結果の一例として、レーザー溶着時のレーザー出力を変化させた場合の最大点試験力を表すグラフを図7に示す。最大点試験力とは、溶着接合部が破断したときの試験力のことである。なお、引張りせん断試験時のチャック圧は 0.2 MPa で試験速度は 1 mm/min とした。全体的な傾向としては、レーザー出力を高くするほど最大点試験力が高くなった。すなわち、レーザー出力を高くするほど高い接合強度が得られることがわかった。ただし、出力を上げすぎると、ターゲットである樹脂材料近傍の治具等がダメージを受けるケースがあった。したがって、高出力域を常用するには、ダメージを受けにくい材料で治具等を作製するなどの対策が必要である。

条件によっては、図8に示すように、溶着接合部ではなく樹脂材料自体が破断するほど強い接合状態も得られた。一方で、次の研究項目では、突起部成形による効果を評価する試験が必要である。その際に、樹脂材料自体が破断するような強い接合状態になったら、正しい評価ができない。したがって、評価試験におい

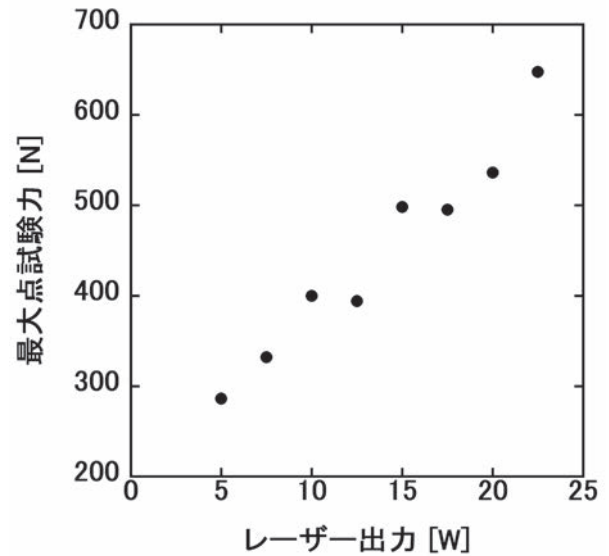


図7 形成速度を変化させた場合の突起部の高さ

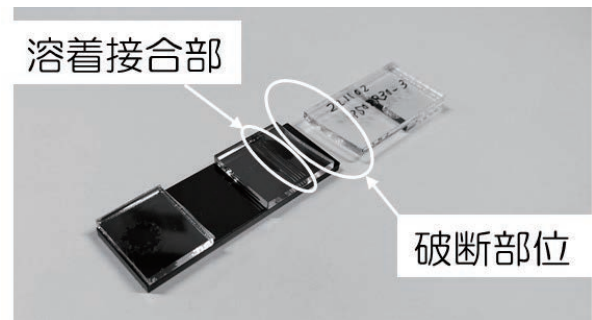


図8 溶着接合部とは別の部位が破断したサンプルの写真

ては、レーザー出力を調整するなどして、適度な接合強度になるように溶着を行う必要がある。

2. 4 評価試験

上記④の研究項目について、その内容を以下に記述する。考案した前処理手法の有効性を評価するために、前処理によりアクリル樹脂板に突起部を成形してレーザー溶着を行ったサンプルと前処理なしでレーザー溶着を行ったサンプルとを作成し、両者の比較を行った。

評価試験の一つとして、透過材と吸収材の間にスペーサーを挿入して隙間を作ったうえでレーザー溶着し、溶着後のサンプルの引張りせん断試験を行った。スペーサーには、厚さ 11 μ m、幅 10 mm の金属箔を用い、図9に示すように材料間に配置した。この材料を 9 N で加圧した状態で、出力 5 W のレーザーを照射して融着した。同条件で、前処理をしたサンプルと前処理をしていないサンプルを、それぞれ 10 個作成し、

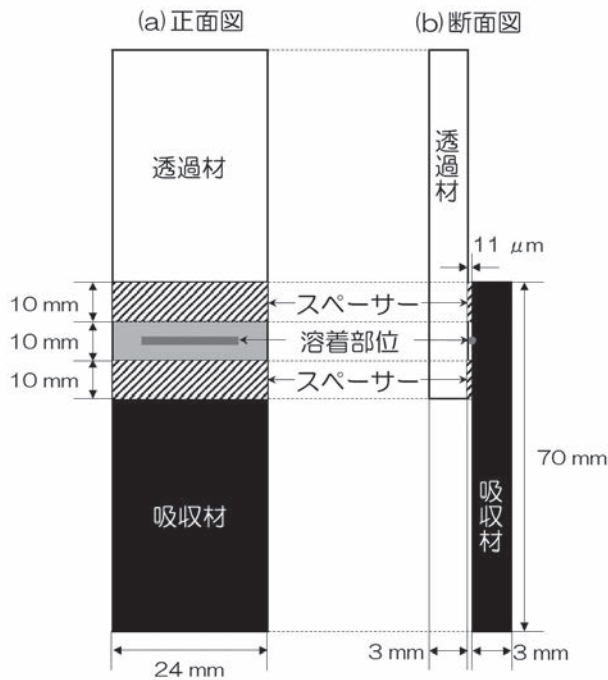


図9 材料間スペーサーの配置位置

2. 3節と同じ条件で引張りせん断試験を行った。試験の結果、前処理をしていないサンプルの最大点試験力の平均値が146 Nであったのに対して、前処理をしたサンプルの最大点試験力は185 Nであった。このように、考案した前処理手法が、材料間に隙間のあるレーザー溶着において、接合強度を高める効果があることを確認した。

3. 結言

本研究は、レーザー樹脂溶着において、材料間の隙間に起因する接合強度や気密性の低下を、多品種少量生産時にも適用可能な方法で改善する技術を開発することを目的としている。

本研究では、まず、その検証実験を行うための装置の作製を行った。レーザー溶着装置の光源にはYbファイバーレーザー用い、そのレーザー照射ヘッドの下部には、移動ステージおよびターゲット材料を加圧する機能を有するターゲットホルダーを設置した。ターゲットホルダーにはロードセルが組み込まれており、加圧力を調整可能である。

次に、専用の型を用いることなく吸収材に突起部を成形する前処理手法を考案し、その検証実験を行った。その結果、成形条件によっては、平均80 μm程度の高さの突起部を成形できることがわかった。

さらに、溶着状態に影響する各種パラメーターを変

えながら溶着実験を行い、評価試験に必要な加工条件のデータを取得した。

最後に、考案した前処理手法の有効性を確認することを目的とした評価試験を行った。その結果、スペーサーを用いて意図的に材料間に隙間を作った状態でのレーザー溶着において、前処理をしたサンプルの方が前処理をしていないサンプルよりも高い接合強度が得られることがわかった。以上のことから、考案した前処理手法が、レーザー樹脂溶着を行う際の材料間にできる隙間に起因する溶着品質の低下を改善する効果があることを確認した。

参考文献

- [1] 本間 精一:実践 二次加工によるプラスチック製品の高機能化技術、株式会社エヌ・ティー・エス、pp.126-130、2015.6.8.
- [2] 早河 毅、河本 保典:樹脂材のレーザー溶着方法、特開2008-302700、2008.12.18.