

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560203

研究課題名（和文） 固体ヒートシンクの伝熱制御によるポラス樹脂の CO2 レーザ溶着の研究

研究課題名（英文） A study on CO2 laser welding of porous plastics assisted by heat transfer control using a sold heat sink

研究代表者

黒崎 晏夫 (KUROSAKI YASUO)

電気通信大学・産学官連携センター・特任教授

研究者番号：70016442

研究成果の概要（和文）：

5種類の複合繊維不織布（ポリアミド、ポリエステル、レーヨンの配合割合が異なる）に対し、繊維を複合させたことによる溶着性能への影響を見出し、最適となる溶着条件を実験により求めた。熱可塑性でないレーヨン繊維を含まない不織布は引張強度のばらつきが比較的少なく安定した溶着が可能であり、レーヨン繊維を含む不織布は強度のばらつきが大きいが強い溶着強度を持った溶着が可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

The influence on welding performance was studied for five kinds of composite fiber nonwoven fabrics (Combination of Polyamide, polyester, rayon).

The welding conditions which become the optimal were searched for by experiment.

The nonwoven fabric which does not contain the rayon fiber as thermoplastic material has comparatively little variation in peel strength. However, it was confirmed that all tested materials are possible to be welded by our laser welding method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：伝熱工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：ふく射、熱伝導、ヒートシンク、ポラス樹脂、赤外線レーザー

1. 研究開始当初の背景

樹脂材同士の接合は、自動車、医療機器の産業ならびにマイクロデバイス、MEMS、バイオチップなどの精密加工において重要な技術として注目を浴びている。現在のところ、透明と不透明の樹脂を利用した重ね合わせた樹脂材同士の溶着では、現在、半導体レーザーを用いた溶着法が主流であり、ある程度の

成果が報告されている。しかしながら、半導体製造装置、化学プラントなどで使用されているフッ素系樹脂（例えば、テフロン（商品名）など）は難溶着樹脂であり、溶着に困難を極めている。更に、ポラス樹脂の熱損傷のない溶着が要求されてきているが、現在のところ確立した溶着技術は存在していない。

2. 研究の目的

本研究では、申請者らが伝熱工学的観点から開発した「ヒートシンク利用伝熱制御によるCO₂レーザの樹脂溶着技術」の基本原則を発展させて、ポーラスな樹脂材に関してポーラス材が有している柔軟性を維持しながら熱損傷なしに仕上げる溶着技術を放射と熱伝導が共存する熱工学的検討からの発展開発することを目的としている。

3. 研究の方法

レーザを用いた樹脂の溶着法において、ヒートシンク無い場合と、有る場合の溶着状況の概念図を図1に示す。ヒートシンク材は熱伝導が非常に良好で、樹脂表面を冷却し温度上昇を抑制することが出来る。また、ある深度以上に浸透したレーザ光のエネルギーは樹脂内部に蓄積され温度が上昇し内部溶着が実現される。

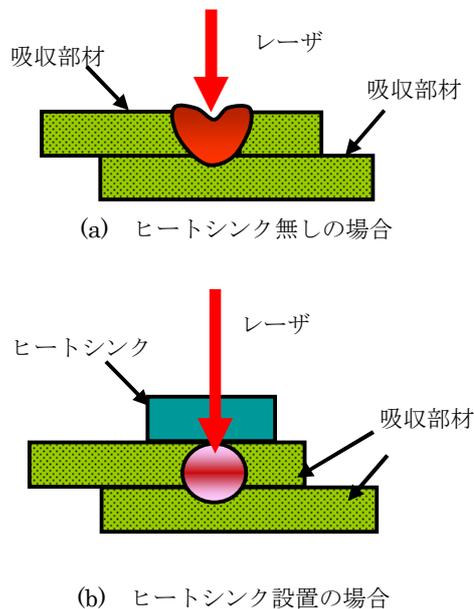


図1 ヒートシンク式レーザ樹脂溶着の原理

第一にポリプロピレン (PP) 不織布のレーザ溶着に関して、単一種類の繊維を用いた不織布に対する実験検討を行った。照射するレーザと樹脂材料の吸収性の相性から、CO₂レーザよりも波長 1.9 ミクロンのツリウム：ファイバーレーザを用いてのポーラス材の重合させ溶着を伝熱工学的に検討した。その理由は、一般の樹脂素材は近赤外線のほうが透過性が高く、ポーラス素材の深部まで光が到達しやすく、結果的に溶着可能な部材厚みが増すからである。

そこで本研究は 1.9 ミクロン以上の波長の赤外線レーザを用いてのポーラス樹脂材 (主として樹脂繊維の不織布) の重合させ溶着を

伝熱工学的に検討し、熱移動・熱蓄積現象の新しい利用を考案して次の特徴 (1)樹脂の表面をレーザによる熱損傷から守る。(2)同種樹脂材の溶着が可能。(3)レーザ光吸収剤の添加不必要、を有する技術の開発を目的としている。ただし、使用するレーザは、部材の性質によって、波長を変えて対応する意味で、他のレーザを用いる場合もある。

図2にレーザ溶着実験装置の概略を示す。複合繊維不織布の試料は、下敷として使用した厚さ 0.5mm のアルミ製板に乗せ、不織布台に置く。直径 40mm、厚さ 4mm の円柱形ファイアガラス製ヒートシンクに Tm:ファイバーレーザからレーザ光を照射する。レーザ照射口及び不織布固定装置は 3 軸制御ロボットにより動作を制御しており、不織布固定装置を走査速度 V で移動させることで幅 3mm 長さ 20mm の部分に溶着が行われる。不織布をヒートシンクに圧力をかけて接触させるため、ばね (K = 2, 9.5 - 67 mm) を 4 個、下敷の下にステンレス板 (t = 2.0 mm) を設置した。

本研究では、レーザ照射口からの距離は一定とし、ステンレス板の長さを変えて負荷圧力を変化させた。走査速度 V = 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100 mm/s で繊維成分の異なる 5 種類の不織布 (ポリアミド、ポリエステル、レーヨンの配合割合が異なる) に対し、最適となるレーザ出力を調査した。複合繊維不織布の成分、目付及び厚さを表 1 に示す。

溶着した試料を手による破壊及び目視による観察により定性的な評価を行い、良好に溶着された試料を選別した。選別した不織布を破壊試験にかけ溶着部分の引張強度を測定した。これにより、レーザ出力、走査速度、引張強度、外観評価、含有繊維比率の間の関係を求め、最適な溶着条件を見出した。

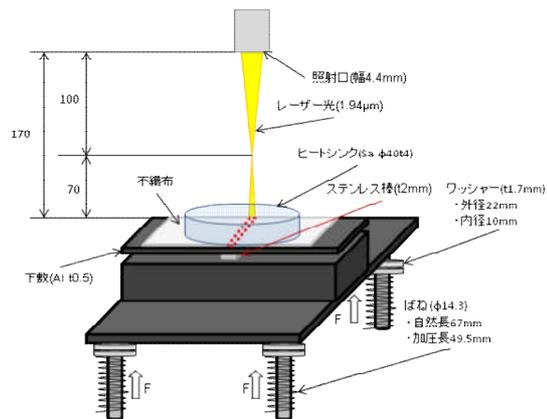


図2 不織布台に設置した不織布のレーザ溶着の概略

表 1 不織布の成分、目付及び厚さ

型番	成分比	目付(g/m ²)	厚さt(mm)
345-420	P:45% N:55%	60	0.47(0.11)
520-420	P:55% N:45%	80	0.95(0.12)
BX-10-420	P:50% R:50%	33	0.20(0.10)
BX-45-420	P:45% N:15% R:40%	90	0.54(0.18)
CX-4-420	P:50% R:50%	44	0.34(0.11)

※P:ポリエステル N:ナイロン R:レーヨン 括弧内は加圧時の厚さ

4. 研究成果

良好な不織布の溶着状態については、図 3 の拡大写真のように、レーザ照射した部分の外表面が硬化しておらず、元の繊維の状態を保っている状態として良品と規定した。



図 3 レーザ溶着部の拡大写真

図 4 に各不織布で良好に溶着された試料について、引っ張り強度と走査速度の関係を示す。レーヨン繊維を含まない型番 345-420 と型番 520-420 はほぼ同じ強度および傾向を示す曲線となっているのに対し、レーヨン繊維を含む型番 BX-10-420、型番 BX-45-420、型番 CX-4-420 では強度に大きな差があるものの、 $V = 8 \sim 10 \text{ mm/s}$ にピークがある。この中で型番 CX-4-420 で最も強い溶着強度を示している。このような良好な溶着試料に対する多くの結果より、高効率かつ溶着強度が強く、外観の優れた試料の条件を最適な溶着条件とし、この条件における溶着強度のばらつきを調査した。

型番 345-420 及び型番 CX-4-420 について、各引っ張り強度の頻度を表すヒストグラムを図 5 に示す。図よりレーヨン繊維を含まない樹脂繊維のみで構成される不織布は強度のばらつきが比較的小さく、レーヨンを含む不織布はばらつきが大きいことがわかる。また、CX-4-420 は非常に強度が大きいことがわかり、これは溶着しない素材であるレーヨンを含むことで溶着部の強度に影響を与えていると考えられる。

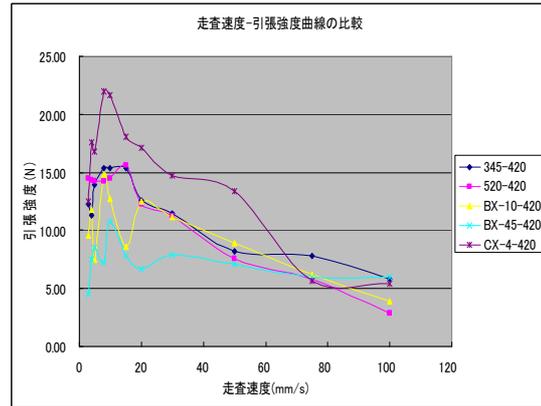


図 4 良好な試料の引張強度と走査速度の関係

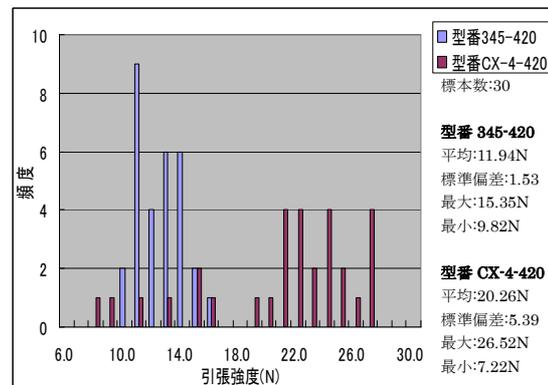


図 5 型番 345-420 及び CX-4-420 ヒストグラム

本研究では、5 種類の複合繊維不織布に対し、Tm:ファイバーレーザとサファイアガラス製ヒートシンクを用いたレーザ溶着を行い、その最適な溶着条件を検討した。その結果、レーヨン繊維を含まない不織布は引張強度のばらつきが比較的少なく安定した溶着が可能であり、レーヨン繊維を含む不織布は強度のばらつきが大きい強い溶着強度を持った溶着が可能であることが示された。このことから、レーヨンのような熱可塑性でない素材を用いると、不良の要因となるが、熱可塑性樹脂のみで構成される不織布であれば、ヒートシンク式レーザ溶着技術により、高品質高強度の溶着が実現できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

1." Fiber laser welding of plastics avoiding thermal damage with a solid heat sink transparent to laser beam ", Yasuo Kurosaki , Kimitoshi

Sato, ANTEC2010, Orlando, Florida, USA[2010].

2." A FIBER LASER WELDING OF PLASTICS ASSISTED BY A TRANSPARENT SOLID HEAT SINK TO PREVENT THE SURFACE THERMAL DAMAGE ", Yasuo Kurosaki , LANE2010, Erlangen, Germany [2010].

3." PP 不織布のレーザ溶着 ―赤外線透過固体ヒートシンクによる表面損傷低減化―", 橋爪郁博、宮原仁、佐藤慎也、佐藤公俊、黒崎晏夫、成形加工シンポジウム'10、神戸大学 (2010)

4. "LASER WELDING OF FLUOR PLASTICS ASSISTED BY A SOLID HEAT SINK TRANSPARENT TO INFRARED RADIATION -UTILIZING A CO LASER AND NONDESTRUCTIVE EVALUATION -", Kimitoshi Sato, Takuhei Oosawa and Yaasuo Kurosaki, Asian Workshop on Polymer Processing in China 2011 (2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒崎 晏夫 (KUROSAKI YASUO)

電気通信大学・産学官連携センター・特任教授

研究者番号：70016442

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし