

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13315 号
------	---------------

氏 名 KIM Seunggwang

論文題目

Development of direct joining process of metals and polymers via additively fabricated anchor layer by laser induced in-situ reaction

(レーザ誘起その場反応型付加製造によるアンカー層を介した金属/ポリマー直接接合プロセス開発)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	小橋 眞
委員	名古屋大学	教授	宇佐美 徳隆
委員	名古屋大学	准教授	伊藤 孝至
委員	名古屋大学	准教授	高田 尚記
委員	産業技術総合研究所	グループ長	尾村 直紀

論文審査の結果の要旨

KIM Seunggwang 君提出の論文「Development of direct joining process of metals and polymers via additively fabricated anchor layer by laser induced in-situ reaction (レーザー誘起その場反応型付加製造によるアンカー層を介した金属/ポリマー直接接合プロセス開発)」は、金属と樹脂(ポリマー)の直接接合のため、複雑な構造を持つアンカー層を金属基板に付加製造するプロセスの提案を目的として、アンカー層の構造を制御できるプロセス条件の提案、実証するとともに、最適な接合条件を調査し明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の社会的・技術的背景及び目的を述べている。輸送機器の構造体においてアルミニウム(Al)、樹脂など軽量材料を適材適所に使用するマルチマテリアル化の必要性を述べ、接着剤や締結部品を使用しない金属/樹脂直接接合技術の重要性を示している。

第2章では、金属基板の表面処理が金属と樹脂の濡れ性に及ぼす影響を検討した。金属基板にエタノール洗浄、サンドペーパーによる研磨、大気圧プラズマ処理を行い、セシルドロップ法で濡れ性を評価した結果、大気圧プラズマ処理が最も効果的であることが分かった。大気圧処理は金属表面に酸化物を付与し、加工油及び大気由来の汚れを洗浄する効果があり、濡れ性が向上したことを明らかにしている。

第3章では、Al金属基板表面に複雑な構造を持つアンカー層を付与するプロセスを検討した。Al-Ti-C混合粉末をAl合金基板上に敷いてレーザーを照射することで数十～数百ミクロンサイズの粒状生成物で構成されるアンカー層を付加製造することができた。粉末がレーザーによって熔融された後、基板に濡れ広がらず粒状生成物が生成されるのは粒状生成物内部にTiCの生成によると明らかにされた。また、PA6との接合体を用いた接合強度測定及び破面観察の結果、粒状生成物とPA6が絡み合ったまま破壊し、効果的にアンカー効果が誘起されたことが示された。よって、付加製造型のアンカー層は金属/樹脂接合体の品質向上する上で有用な手法であることを示す知見である。

第4章では、ホットプレスを使用してAl/PA6接合体を作製するための最適な接合条件を調査した。PA6は半結晶性熱可塑性樹脂であり、その機械的特性は、樹脂に加わる熱履歴によって決定される樹脂の結晶特性に大きく影響される。アンカー層を作製したAl基板とPA6基板を、215℃に加熱されたホットプレート上に置き、60秒間加圧した後、所定の温度(215, 210, 190, 150℃)に炉冷し、接合体を空気中に取り出して急冷することで接合を完了した。Al/PA6接合体の強度と熱処理を適用した後のPA6の結晶特性を調査した。Al/PA6接合体の強度は、所定の温度を215℃から190℃に下げると増加し、190℃と150℃では一定となった。これは、PA6が190℃以下に炉冷することで充分結晶化したためである。

第5章では、Al-Ti-C混合粉末のCの組成がアンカー層の形態と微視組織、Al/PA6接合体の強度に及ぼす影響を検討した。Al:Ti:Cのモル比を1:1:MC (MC = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5)になるように混合した原料粉末でアンカー層を作製した。アンカー層の微視組織を観察し、アンカー層の構造をアンカー層の投影面積率及び接合率の観点から定量評価した。Cの組成が低い場合(MC ≤ 0.6)、Al₃Ti相がアンカー層とAl基板の界面に形成され、冶金学的な結合の形成が観察された。これはTi粉末とAl基板間にAl-Ti相が形成される反応による現象である。Cの組成が増えると(MC ≥ 0.8)、Al₃Ti相の生成量が減少し、アンカー層とAl基板の接合が不十分になった。TiC相が粒状生成物に骨格構造を形成するため、MCによるTiC相の形成に応じて投影面積率が変化した。高い投影面積率と高い接合率を持つアンカー層を介したAl/PA6接合体は、高い接合強度が示された。多数の粒状生成物がAl基板と強固に接合して、高い外力にも抵抗できるためである。

第6章では、レーザー走査速度と出力でレーザーのエネルギー密度を調整し、レーザーエネルギー密度がアンカー層の形態と微視組織、Al/PA6接合体の強度に及ぼす影響を検討した。アンカー層の構造は、アンカー層の接合率、投影面積率、粒状生成物の幅、高さ、アスペクト比で定量評価した。アンカー層の構造はレーザーエネルギー密度と相関していて、特にレーザーエネルギー密度が10 J/mmの時アンカー層の構造が大きく変化した。これはレーザーエネルギー密度が10 J/mmを超えるとAl-Ti-C混合粉末とAl基板との化学反応が顕著に起こることに起因することが微視組織の観察から分かった。Al/PA6接合体の強度は、粒状生成物のアスペクト比にも影響されることが実験的に検証された。高アスペクト比の粒状生成物がPA6との絡み合う体積が増加するため、外力を分散しやすくなったためである。以上の結果は、高接合強度のためのアンカー層の構造的な特性及びその製造方法を明らかにした有用な知見である。

第7章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では金属と樹脂の直接接合のため、複雑な構造のアンカー層を金属基板に付加製造及び接合に係るプロセスと共にその課題を明らかにしている。これらの得られた実験結果は、輸送機器のマルチマテリアル化への応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるKIM Seunggwang君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。