氏　　名	つじい　　てつや 辻　井　　哲　也
学位(専攻分野)	博　　士（工学）
学位記番号	博甲第３１６号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第３条第３項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　先端ファイブロ科学専攻
学位論文題目	プラスチックフィルムの接合強度に及ぼす成形条件の影響に関する研究
審査委員	主　査　濱田　泰以 委　員　猿山　靖夫 委　員　北野　武 委　員　成澤　郁夫

論文内容の要旨

包装材料としてプラスチックフィルムは、日常生活の上で広く使用されており、内容物を保護し、商品価値を高めるために、今やなくてはならないものである。包装材は、袋を形成して用いられることが多く、製袋および包装の工程で端部は熱接合される。熱接合部の強度は袋を安全に使用するために非常に重要な特性である。そこで、本研究では、フィルムの熱接合部を一つの成形加工過程を経た成形体として捉え、その力学的特性と高分子の高次構造および熱接合条件の関係について検討した。主に用いた材料はポリプロピレンラミネートフィルムであり、ラミネートフィルムの強度を担う二軸延伸ポリプロピレンフィルム（OPP）と熱接合用に融点が低い無延伸ポリプロピレンフィルム（CPP）を積層したラミネートフィルムである。これは、包装材料として最も一般的な材料である。

本論文は、以下に略述する全 7 章から構成されている。

第 1 章では、緒言として、本研究の背景とその必要性を述べ、本研究に至った経緯を述べた。また、本研究に用いた材料、熱接合装置、分析装置について述べた。

第 2 章では、JIS Z1713 に準じた試験法にて、はく離試験を行い、その強度を求めた。はく離強度は熱接合部の特性を直接的に示しているとは言い難く、単に熱接合開始温度を示しているだけに過ぎないと結論付けた。はく離試験だけでは、熱接合の評価は適当ではなく、新たに円孔切り欠きを有する試験片における引張試験法を提案し、その引張強度を検討した。その結果、熱接合部での破壊が観察でき、熱接合温度による強度依存性についての知見が得られ、特に、熱接合部の強度最大となる熱接合温度が存在することがわかった。また、破壊様相を詳しく観察し、次章への考察の参考とした。

第 3 章では、熱接合部の結晶性を調べるために、DSC と顕微 FT－IR により熱接合部の OPP および CPP の結晶性について解析し、第 2 章で求めた熱接合部の引張強度は、熱接合部内の OPP および CPP の結晶性に依存し、CPP が融解、再結晶化し、結晶化度が最大になる条件において、熱接合部の引張強度が大きくなることを示した。

第 4 章では、フィルム厚み方向に対して熱機械測定（TMA）をして、分子配向性について検討した。その結果、熱接合における延伸フィルムの分子配向状態の推定が可能であることがわかっ

た。熱接合温度 160℃以上の条件で引張強度が急激に低下することは、接合部内の OPP の分子配向緩和が原因であることがわかった。したがって、結晶化度が最大となる条件で、かつ分子配向が緩和しない条件が最適な熱接合温度であることがわかった。

第 5 章では、熱接合部の端部に生じる破壊（エッジ切れとする）要因を探るため、熱接合部およびその境界領域の力学特性とその高次構造を解析した。力学特性では円孔付き引張試験において、円孔の場所を変化させて、エッジ切れの要因を探ろうとしたが、その違いは小さいものであった。このことは、エッジ切れの要因となる領域が本章で用いた直径 10mm の円孔より小さい範囲であること、すなわち局所的に存在していると推察された。そこで、局所的な物性をとらえるために、鋭い亀裂を有する試験片を作製して評価した。その結果、亀裂を導入した部位により、応力拡大係数は異なり、熱接合部の極めて近傍の外側に力学的物性が劣る部分があることが示唆された。また、DSC および IR イメージングの結果から、熱接合によって、分子配向性と結晶化度の変化が生じ、エッジ切れの要因となっていることが示唆された。特に、IR イメージングから、熱接合温度が高くなると、接合部エッジ付近が最も結晶化度が大きくなることと、分子配向が大きく変化することがわかった。

第 6 章では、基材フィルムと融着材の融解温度が比較的離れている材料系、二軸延伸ナイロン 6 フィルム（ONY）と長鎖状低密度ポリエチレンフィルム（LLDPE）のラミネートフィルム（ONY/LLDPE）選択し、それらの熱接合強度に及ぼす接合温度条件の影響について検討した。ONY/LLDPE 熱接合部の強度は、基材フィルムの物性が保持された上で、融着層である LLDPE の熱接合時の融解、再結晶などによる高次構造の変化に大きく影響を受けることがわかった。LLDPE の結晶性を制御することにより、熱接合部の機械的特性を制御できることがわかった。また、高速応答性に優れた入力補償 DSC により、熱接合のシミュレーション法を提案して、その有効性を示した。

第 7 章では、本研究の結果をまとめ、包装用プラスチックフィルムの接合強度に及ぼす成形条件の影響に関して論じた。

論文審査の結果の要旨

本論文は，破損事故のない包装材料を成形することを目的とし、熱接合強度に及ぼす成形条件の影響に関して検討している。熱接合条件が熱接合部の強度に及ぼす影響に関して、材料力学的観点からの研究は以前からなされてはいるが、さらに踏み込んで、その力学的特性を熱的特性および分光学的観点から考察し、最適な成形条件を検討した研究はなく、この点に関して本論文は意義深いものと考えられる。

本論文では、まず材料として、ポリプロピレンラミネートフィルムを用い、熱接合部をいわゆる一つの成形体と捉える観点から検討をはじめている。熱接合部自体の強度を求める方法として、はく離試験のみでは力学的特性が把握しきれないことを示し、そこで、円孔切欠きを有する引張試験法を提案し、力学的特性を考察することに成功している。また、DSC、TMA と顕微 FT-IR を用いて、熱接合部の高次構造を考察し、その力学的特性に及ぼす条件について解析し、最適熱接合条件を見出す結果が得られている。これらの手法は、ほとんどのフィルム包装材料の熱接合に応用できるものと考えられ、熱接合部の特性評価として高く評価される。第 6 章はその応用例

である。これらの結果をもとに他の異なったフィルム，あるいは繊維など異なる形態の高分子材料にも本研究の手法を応用してできるものと考えられる．

次に、フィルム包装材の主な事故の一つとして、“エッジ切れ”と呼ばれる熱接合部境界で破断する現象の解析を取り上げている。ここでも、力学的特性評価と DSC および最新 IR 分析手法である高速 IR イメージング測定法を駆使し、明確な結果を得ている。局所的な物性をとらえるために、鋭い亀裂を有する試験片を作製して評価している。その結果、亀裂を導入した部位により、応力拡大係数は異なり、熱接合部の極めて近傍の外側に力学的物性が劣る部分があることが示唆された。また、DSC および IR イメージングの結果から、熱接合によって、分子配向性と結晶化度の変化が生じ、エッジ切れの要因となっていることが示唆された。特に、IR イメージングから、熱接合温度が高くなると、接合部エッジ付近が最も結晶化度が大きくなることと、分子配向が大きく変化することがわかった。これらのことは、生産現場における事故究明解析にも提案できるものとして、高く評価される。以上、本論文により、プラスチックフィルムの接合強度に及ぼす成形条件の影響に関する知見が明らかにされ、あらたな材料系に対しても特性評価法が開発されたことは意義深いと考えられる。

本論文の内容は主に下記の 4 篇の論文を基に構成されたものであり、すべて申請者が筆頭著者となっている。

1. 辻井哲也、森本光彦、恩田宣彦、藤田泰弘、北川和男、溝口真知子、渡辺大祐、濱田泰以「プラスチックフィルム熱接合部の特性評価」プラスチック成形加工学会誌「成形加工」Vol.15, No.2, 63-68, 2003

2. Tetsuya Tsujii、 Kazuo Kitagawa、 Machiko Mizoguchi、 Daisuke Watanabe、 Hiroyuki Hamada “Characterization of Heat Sealing Part on Plastic Films” Proceedings of Annual Technical Conference for the Plastics Industry (2002)

3. 辻井哲也、橋本静生、藤田泰弘、北川和男、溝口真知子、渡辺大祐、濱田泰以「熱機械測定によるプラスチックフィルムの熱接合部の解析」プラスチック成形加工学会誌「成形加工」Vol.15, No.3, 2003 掲載決定

4. Tetsuya Tsujii、 Kazuyoshi Takahashi、 Mitsuhiko Morimoto、 Nobuhiko Onda、 Yasuhiro Fujita、 Kazuo Kitagawa、 Yasuo Hashimoto、 Daisuke Watanabe、 Machiko Mizoguchi、 Asami Nakai、 Hiroyuki Hamada、 “Characterization of Heat Sealing Part on Plastic Films” “Plastics Rubber and Composites” （投稿中）

以上の結果より、本論文は学位論文として価値があると認められる。