

氏名	わん くんたお 王 存涛
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第729号
学位授与の日付	平成26年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイバ科学専攻
学位論文題目	Study on the Mechanical and Interfacial Property of Injection Molded Fiber Reinforced Thermoplastics (射出成形による繊維強化熱可塑性樹脂の力学特性と界面特性に関する研究)
審査委員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 横山敦士 東華大学紡績学院准教授 陽 玉球 国立大学法人名古屋大学ナショナルコンポジットセンター特任教授 長岡 猛

論文内容の要旨

繊維強化射出成形品は、比剛性および比強度に優れていることから、自動車や電気製品など多分野にわたり広く用いられている。本材料において力学的特性に及ぼす因子は数多くあるが、界面特性も重要な因子であることは広く認識されている。本研究では、それら界面に関わる項目をいくつか取り上げ、成形、物性評価を行った。特に、ウェルドラインを有する試験片を用いることにより、界面引張強度を定義し、測定方法も開発することができた。また、新しい繊維強化射出成形方法である、繊維直接投入射出成形法によって得られる成形品の界面特性も測定した。さらに巨視的に見た界面として、インサート射出成形品の物性についても検討を行った。以下、各章ごとに結果を示す。

第1章においては、繊維強化射出成形品の物性に関わる過去の文献をレビューして、本研究の目的とする考えの独自性を確かめた。第2章においては、近年、環境親和性に優れているグリーンコンポジット、麻繊維、ジュート繊維とポリ乳酸 (Polylactic acid, PLA) を対象にして、長繊維ペレットと通常のペレットでの物性の違いを検討した。さらに長繊維ペレットを再ペレットしたりペレット材料も比較検討の対象とした。界面の特性は、再ペレットした方が高いことが明らかになった。また、成形条件として保圧の影響が大きいことも示した。

第3章においては、Jute/PLAに加えて、自動車関連部品で使われるガラス繊維強化ポリプロピレン (GF/PP) も検討対象材料にした。成形品より繊維長分布測定を、一試料あたり2000本以上行い、正確な繊維長分布を得て、そのデータを基礎として、Kelly-Tysonモデルにより界面せん断強度を算出した。この結果、GF/PPの界面強度と比較すると、Jute/PLAのほうが値が低いことがわかった。さらに繊維配向係数を測定した上、Kelly-Tysonモデルを用いてウェルドラインを有する試験片の引張強度を計算した。しかし、実験値より計算した値が高いことがわかった。繊維配向の観察結果より、ウェルドラインを有する試験片においても、界面に垂直に配向しているジュート繊維があることが見られた。

ここで界面の評価として、せん断応力に基づくせん断強度だけでは総合的に行っていないのではないかと疑問が出てきた。そこで第4章においては、界面に垂直な応力が生じた時の界面特性の評価のため、界面引張強度を測定すべく、ウェルドラインを有する試験片を用いて検討を行った。その結果、界面引張強度が得ることができ、せん断強度と比較してより低い値であった。界面せん断強度は荷重方向に配向している繊維が担うものであり、界面引張強度は、荷重方向に垂直に配向した繊維が担うことになる。界面せん断強度のみを用いる強度予測式には、繊維の配向状況を表す配向係数が必要である。界面引張強度との併用により、繊維配向状況を、荷重方向に配向する繊維とそれに垂直の繊維とに分割するモデルを用いれば、繊維配向係数を用いる必要がなく、新たな強度予測式の提案ができた。

第5章以降は、界面に関わるいくつかの項目を取り上げて検討している。第5章では短時間での成形加工とエネルギー消費の低減を実現させた、ペレット化の工程をおこなわないベント式射出成形技術を用いる繊維直接投入射出成形方法を構築した。これにより作製した炭素繊維強化ポリカーボネー

ト (CF/PC) 複合材料をナノインデンテーションおよび、 Kelly-Tyson モデルを用いて界面評価し、比較・検討をおこなった。ここでナノインデンテーション試験で得られた値と界面せん断強度の相関を見ることができた。第 6 章は、ウェルドラインの特性をより明確に把握するために、表面に傷を有する試験片との物性の違いを比較検討した。

第 7 章は、インサート成形を取り上げた。これは成形された材料を金型内にインサートして、そこに材料を射出するもので、その界面が問題となる。本章では、界面での接触状態を変化させた。GF/PP と GF/PC をインサートしたダンベル試験片を作製し、引張試験により評価した。その結果、界面破壊から母材破壊へと遷移する条件を見出した。第 8 章においては、これら繊維強化射出成形品の界面に関わる研究を総括した。

論文審査の結果の要旨

本研究は、繊維強化射出成形品の界面特性を総合的に取り扱っている。その中で、従来の界面評価方法である界面せん断強度だけでなく、界面引張強度を提案できたことに大きな工学上の意義があると言えよう。また、その評価方法も開発し、モデル材料でなく実際の射出成形された試験片から値が得られることは、今後成形条件の影響なども論議が可能で汎用性があり、実用的な評価方法といえることができよう。界面特性の評価は、ナノインデンテーション測定にも広げており、試験片の作製の仕方などの困難を乗り越えて値を得ることに成功している。また、その値と界面せん断強度との値を比較して、相関がみられることを提示できたことは、複合材料界面工学においては、非常に意義が深いものである。界面特性の問題認識を、インサート成形に広げたことも論文提出者の先見性を意味するものである。今後、連続繊維強化複合材料インサート射出成形が、様々な部品の中で使われるであろう現在の環境において、基礎的なデータを示すことができたことは、今後のこの分野の発展に寄与するものと考えられる。

本論文の内容は次の 8 報に報告されている。

- 1. Effect of Molding Condition and Pellets Material on the Weld Property of Injection Molded Jute/Polylactic Acid**
Cuntao Wang, Putinun Uawongsuwan, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada
POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Volume 53, Issue 8, pp. 1657-1666, (2013)
- 2. Weld lining strength of Injection Molded Jute/PLA and Jute/PP**
Cuntao WANG, Yuqiu YANG, Masuo Murakami, Hiroyuki HAMADA
Proceedings of The ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Volume 3, pp. 1363-1370(2012)
- 3. MECHANICAL PROPERTY OF INJECTION MOLDED UNTWISTED JUTE/PP WITH WELD LINE**
Cuntao WANG, Yuqiu YANG, Hiroyuki HAMADA
Proceedings of the Polymer Processing Society 28th Annual Meeting ~PPS-28~December 11-15, 2012, Pattaya (Thailand)
- 4. EFFECT OF MOLDING CONDITIONS ON THE WELD LINE PROPERTY OF INJECTION MOLDED JUTE/PP COMPOSITES**
Cuntao Wang, Xiahui Liu, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada
SPE (the Society of Plastic Engineers) ANTEC © 2013, pp. 1431-1434, (2013)
- 5. CHARACTERIZATION OF INTERFACIAL PROPERTY OF DIRECT FIBER FEEDING INJECTION MOLDED CARBON/POLYCARBONATE BY NANO INDENTATION AND KELLY-TYSON METHOD**
Cuntao WANG, Kazuhisa TO, Yuqiu YANG, Hiroaki ICHIKAWA, Hiroyuki INOYA, Hiroyuki HAMADA
SPE (the Society of Plastic Engineers) ANTEC © 2014, pp 1503- 1507 (2014)
- 6. EFFECT OF WELD LINE AND SCRATCH ON THE MECHANICAL PROPERTY OF INJECTION MOLDED POLYPROPYLENE AND POLYCARBONATE PLATES**
Cuntao Wang, Xiahui Liu, Yuqiu Yang, Masuo Murakami, Hiroyuki Hamada
SPE (the Society of Plastic Engineers) ANTEC © 2013, pp. 1440-1444, (2013)
- 7. Evaluation of adhesive property in glass fiber reinforced thermoplastic inserted injection moldings**
Cuntao WANG, Putinun UAWONGSUWAN, Hiroyuki MORI, Yuqiu YANG, Asami NAKAI, Hiroyuki HAMADA
Proceedings of the American Society for Composites 2013-Twenty-Eighth Technical Conference, pp.437-444
- 8. ADHESIVE PROPERTY OF INSERT-INJECTION MOLDED GLASS FIBER REINFORCED THERMOPLASTICS**

C. Wang, Y. Nagao, Y. Yang, and H. Hamada

The 14th annual SPE Automotive Composites Conference and Exhibition, September 9-11, 2014 (Submitted)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。