

氏 名	ちばたなすーんとーん わでい <b>CHIVATANASOONTORN VADEE</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 644 号
学位授与の日付	平成 24 年 3 月 26 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	<b>Study on Structure and Surface Fracture of Polymers under Scratch Loading</b> (高分子材料の内部構造とスクラッチ荷重下における表面破壊に関する研究)
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 木村照夫 教授 西村寛之 准教授 小滝雅也

### 論文内容の要旨

高分子材料は、その用途拡大にともない、表面の意匠性を重視する製品においても多く使用されるようになった。これらの用途における技術課題のひとつは、材料表面の「耐傷つき性（スクラッチ特性）の向上」である。材料表面に形成される「傷」は、二つの物体の接触および移動により形成される「表面損傷」と定義できる。すなわち、高分子材料のスクラッチ特性の向上を達成するためには、高分子材料の表面破壊挙動のメカニズムを明らかにする必要がある。

本研究では、高分子材料のスクラッチ荷重下における表面破壊機構を明らかにすることを目的とし、内部構造と表面破壊挙動の関係を詳細に検討した。スクラッチ挙動の解析には、スクラッチ特性の定量評価が可能であることを特長とする「荷重増分法」を採用した（ASTM D7027-05、ISO19252）。高分子材料には、ポリカーボネート（PC）、ポリビニルクロライド（PVC）およびポリプロピレン（PP）を、延性材料、柔軟材料および硬質材料のモデル試料として用いた。

第 1 章では、緒論として本研究の背景を述べるとともに、高分子材料の破壊に関するこれまでの知見をまとめ、本研究で取り扱う「表面破壊」の学術的な位置づけを明確にし、本研究の目的と意義を述べた。

第 2 章では、高分子材料のスクラッチ試験法および高分子材料の表面破壊挙動に関する研究動向をまとめ、本研究課題の重要性および現状を述べた。

第 3 章では、PP の表面破壊挙動に及ぼすスクラッチ速度の影響について検討を行った。その結果、スクラッチ速度の増加にともない傷発生荷重が低下すること、それは試験片断面の降伏領域の狭小化、すなわち破壊の表面近傍への局所化が原因であることを明らかにした。

第 4 章では、延性材料のモデル試料として PC を用いて、表面破壊挙動に及ぼす分子構造の影響について検討した。試料として、ビスフェノール A (BPA) 型およびビスフェノール Z (BPZ) 型の PC を用い、BPA 型の PC においては分子量を変化させた。その結果、BPZ 型 PC の方が BPA 型 PC よりも高い傷発生荷重を示すこと、分子量の増加にともない傷発生荷重が増加することを示した。この傾向は、成形品表面近傍の分子配向性、表面の微小押込弾性率およびせん断強度と相関性が高いことを明らかにした。また、傷発生荷重と断面の降伏領域の大きさ、分子量依存性の検討においては、クレイズ強度と相関があることも明らかにした。

第 5 章では、柔軟材料のモデル試料として PVC を用いて、重合度の影響を検討した。重合度の増加にともない、傷発生荷重が増加することを示した。これは、重合度の増加にともなう微小押

込弾性率およびせん断強度の増加と関連があることがわかった。

第6章では、硬質材料のモデル試料としてPPを用いて、射出速度の影響について検討した。射出速度は、10、100、1000mm/secと変化させた。射出速度の増加により、傷発生荷重が大きく増加した。傷発生荷重の増加は、表面近傍の結晶配向性の増加、ひいては表面近傍のせん断強度の増加と関連があることが明らかとなった。

第7章では、PPをモデル試料とし、表面破壊挙動に及ぼす表面形態の影響について検討を行った。表面形態として、球状シボを異なる間隔で配置した試料を用いた。球状シボを緻密に配置し、圧子との接触点を増加させることにより、傷発生荷重が増加することを示した。

第8章では、本論文で得られた結果を総括し、結論とした。本研究では、特性の異なる3種類の高分子材料をモデル試料として検討を行い、高分子材料の表面破壊挙動は、材料の降伏変形挙動およびクレイズ変形挙動と関連があることを示した。また、表面近傍の内部構造と表面破壊挙動の関係について検討を行った結果、表面近傍の分子配向性および結晶配向性が表面破壊挙動と密接に関係しており、高い分子/結晶配向性が優れたスクラッチ特性発現に寄与することが明らかとなった。さらに、微小押込弾性率および表面近傍のせん断強度が、スクラッチ特性と高い相関性を示すことを示した。本研究で得られた知見は、スクラッチ荷重下における高分子材料の表面破壊挙動の理解に役立ち、優れたスクラッチ特性を有する材料設計に貢献するものと考える。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、ポリカーボネート(PC)、ポリビニルクロライド(PVC)およびポリプロピレン(PP)を、延性材料、柔軟材料および硬質材料のモデル試料として用い、高分子材料の表面破壊機構を検討した。具体的には、表面破壊挙動に及ぼすスクラッチ速度、分子構造、成形条件、表面形態の影響について検討を行った。特性が異なる幅広い材料において、荷重増加型スクラッチ試験法を適用し、表面近傍の内部構造と表面破壊挙動の関係を系統的に検討したことが本論文の特長である。その結果、高分子材料の表面破壊挙動は、材料の降伏挙動と密接な関係があり、クレイズ強度に支配される場合があることも明らかにした。また、微小押込弾性率および表面近傍のせん断強度の向上が、スクラッチ特性発現に重要であることが明らかとなった。それらは、表面近傍の分子配向性および結晶配向性の向上により達成されることを示した。

本研究で得られた成果は、高分子材料の表面破壊挙動の理解に関わる知見として学術的に意義があると考えられる。また、試験条件因子、材料因子、成形因子、表面形態因子と表面破壊挙動の関係を具体的に示したことは、工業的にも重要であり、高く評価できる。本研究は、高分子材料の表面破壊挙動を支配する材料の変形様式に関わる理解に寄与するとともに、高分子材料の耐傷つき性向上のための材料設計指針として貢献することが期待できる。

本論文の基礎となっている学術論文は、レフェリー制度の確立した雑誌に掲載および投稿中である。全6篇のうち、5篇において申請者が筆頭著者である。

- (1) Vadee Chivatanausoontorn and Masaya Kotaki, Influence of Surface Texture on Scratch Behavior of Injection Molded Plastics, Society of Plastics Engineers, Proceeding of Annual Technical Conference2010, 741-744 (2010).

- (2) Shogo Tatsumi, Vadee Chivatanausoontorn and Masaya Kotaki, Effect of Molecular Orientation Induced by Ultra-High Injection Speed on Scratch Behavior of Polypropylene (PP), Society of Plastics Engineers, Proceeding of Annual Technical Conference 2010, 374-377 (2010).
- (3) Vadee Chivatanausoontorn and Masaya Kotaki, Effect of Molecular Weight on Scratch Property of Injection Molded Polycarbonate (PC), Society of Plastics Engineers, Proceeding of Annual Technical Conference 2011, 977-981 (2011).
- (4) Vadee Chivatanausoontorn, Naoya Aoki and Masaya Kotaki, Effect of Scratch Velocity on Scratch Behavior of Injection-Molded Polypropylene, Journal of Applied Polymer Science, 2011. (in press)
- (5) Vadee Chivatanausoontorn, Shun Tsukise and Masaya Kotaki, Surface Texture Effect on Scratch Behavior of Injection Molded Plastics, Polymer Engineering and Science. (in press)
- (6) Vadee Chivatanausoontorn, Shogo Tatsumi, Koji Yamada and Masaya Kotaki, Surface Mechanical Properties of Highly Oriented Polypropylene, Macromolecules. (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、さらに学術的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。