

論文内容要旨 (和文)

平成18年度入学 大学院博士後期課程

物質生産工学専攻 材料物理工学講座

学生番号 06522203

氏名 角前 洋介



(英文の場合は、その和訳を () を付して併記すること。)

論文題目 エレクトロスピンニングにおける繊維形状と変形挙動に関する研究

エレクトロスピンニング法は高分子溶液または溶融体に高電圧を印加することで、超極細繊維による繊維構造体を作製することができる技術である。この技術によって作製される繊維は、通常の紡糸法である溶融紡糸や溶液紡糸に比べて非常に細い繊維径と、非常に大きな表面積を持ち、これらの特性は様々な分野で応用が期待されている。しかし、エレクトロスピンニング法では、しばしばビーズと呼ばれる球状の物体が発生し製品物性に影響を与えることが報告されている。このビーズは、レーリー不安定性によって発生すると言われているが、ジェットの変形挙動とビーズの関係については、まだ詳しく分かっていない。また、エレクトロスピンニングでは、放電現象が起きるような高電圧を印加しているにもかかわらず、放電については報告例がほとんどない。本研究では、試料条件と紡糸条件を変化させたときの変形挙動、放電現象について明らかにし、ジェットの変形挙動とビーズ発生の関係を明らかにすることが目的である。

本論文は全7章から構成されている。各章の内容を以下に示す。

第1章 「序論」ではナノファイバーとその応用、これまでのエレクトロスピンニングに関する代表的な研究を述べ本研究の着想と目的について記述した。

第2章 「溶液濃度が繊維形状とジェットの変形挙動に及ぼす影響」では、溶液濃度を変化させたときの高分子鎖の絡み合いの増加に着目し、溶液濃度が高く、粘度が高い試料ではジェットが不安定領域に入る直前の粘度が高い値を示し、ビーズが発生しないことを明らかにした。これは、粘度が高いためにレーリー不安定性が抑制されているためであると考察した。また、溶液濃度の低い試料では球状のビーズと楕円状のビーズが発生することを明らかにした。

第3章 「分子量が繊維形状とジェットの変形挙動に及ぼす影響」では、溶液粘度がほぼ同じで分子量の異なる試料を作製し、緩和時間に着目した。その結果、分子量が高く緩和時間が長い試料ではジェットが不安定領域に入る直前の粘度が高い値を示し、ビーズが発生しないことを明らかにした。これは、緩和時間が長い試料ではレーリー不安定性が抑制されるためであると考察した。

第4章 「高分子量ブレンドが繊維形状とジェットの変形挙動に及ぼす影響」では、ビーズが多数発生するような分子量の低い試料に、ビーズの発生しない高分子量の試料をブレンドし、変形挙動と繊維形状に及ぼす影響について検討した。その結果、高分子量の試料の添加量が多いほど、ジェットが不安定領域に入る直前の粘度が高くなり、ビーズが発生しないことを明らかにした。これは、高分子量の試料の添加量が多いほど緩和時間が長くなりレーリー不安定性が抑制されるためであると考察した。

第5章 「印加電圧が繊維形状とジェットの変形挙動に及ぼす影響」では印加電圧を放電が発生しない電圧から発生する電圧まで変化させたときの繊維形状と変形挙動について調査した。その結果、放電が発生していないと思われる電圧ではビーズが確認されなかったのに対し、放電が発生すると予想される電圧ではジェットの変形が緩慢になりビーズが発生することを明らかにした。このとき、放電が起きない電圧では放電が起きる電圧と比較して変形速度が速いためジェットの不安定領域に入る直前の粘度が高い値を示し、レーリー不安定性を抑制したと考えた。

第6章 「紡糸中の放電挙動の観察」では暗視スコープと高速度カメラ、オシロスコープを用いて、エレクトロスピン中の放電挙動と紡糸挙動を観察した。その結果、印加電圧が高い条件では、放電に起因すると見られるパルス状の電流波形が確認でき、ジェットが途切れた直後に放電光を確認できた。

第7章 「総括」ではこれまでの結果から、ジェットの不安定領域に入る直前の粘度が高いほど、レーリー不安定性が抑制でき、ビーズ発生を抑えられることが明らかになった。また、球状のビーズはジェットが切断されていることによって形成され、楕円状のビーズはジェットがレーリー不安定性によって揺らぐために出来ることが明らかになった。

論文内容要旨 (英文)

平成18年度入学 大学院博士後期課程 物質生産工学専攻 材料物理工学講座

学生番号 06522203

氏名 角前 洋介



論文題目 Study on Beads Formation and Jet Profiles in Electrospinning

Electrospinning is a process to produce nonwovens of nanofibers from a polymer solution or a melt by applying a high voltage between a tip of needle and a grounded collector. The electrospun fibers have quite thinner diameters and larger surfaces than those obtained by the conventional fiber spinning processes. These unique characteristics bring us possibilities of a number of applications. One of the most serious problems in applications of electrospinning is a formation of beads on fibers.

In this doctoral thesis, relation between jet profiles and beads formation is investigated by changing concentration of polymer solution, molecular weight, blend ratio of high and low molecular weight and voltage.

Chapter 1 describes the application of nanofibers, historical background of electrospinning and purpose of this study.

Chapter 2 examines the effect of concentration on jet profiles and beads formation by changing concentration of polymer solution. The beads are suppressed with increasing concentration. High concentration gives increasing the viscosity of jet at the end of stable region.

Chapter 3 investigates the effect of molecular weight on jet profiles and beads formation by changing molecular weight at constant solution viscosity. Long relaxation time gives high viscosity of jet at the end of stable region and beads-less fibers.

Chapter 4 focuses on the relaxation time to suppress the beads formation by changing blend ratio of high and low molecular weight.

Chapter 5 examines the effect of voltage on jet profiles and beads formation at the view point of discharge. The beads are formed in high voltage region. The discharge suppresses the jet elongation. And then the jet viscosity at the end of stable region decreases with increasing voltage.

Chapter 6 discusses the discharge in electrospinning process. The jet ejection becomes intermittently with increasing voltage. Then, the emission like the spark at the tip of cone is observed by the night vision high speed camera.

Chapter 7 concludes that the beads formation is suppressed with increasing jet viscosity at the end of stable region because of the Rayleigh instability is suppressed.

(12pt シングルスペース 300 語程度)

別紙

専攻名	物質生産工学	氏名	角前 洋介
学位論文の審査結果の要旨			
<p>エレクトロスピンニングは、近年、最も注目されているナノファイバー作製法の一つである。このエレクトロスピンニング法では、しばしばビーズと呼ばれる構造が形成されるが、このビーズによって製品物性が異なる。そのため、ビーズの発生制御やメカニズムの解明が強く望まれている。そこで本論文では、レオロジー的観点から紡糸中のレオロジー変化とビーズ発生の関係と、電気工学的観点から紡糸中の放電挙動とビーズ発生の関係について研究を行ったものである。以下に、本論文の具体的な内容について述べる。</p>			
<p>第1章では、ナノファイバーの特徴と応用、これまでの研究について概観し、研究の目的とその重要性について述べている。</p>			
<p>第2章では、装置の電界分布、紡糸中のレオロジー的解析手法について述べた後、溶液濃度を変化させたときの紡糸中のレオロジー変化とビーズ発生について述べている。ジェットの直線領域終端での粘度が高いほどビーズが抑制出来ることを明らかにしている。また、このとき、レーリー不安定性の成長時間と、試料の緩和時間からデボラ数を定義し、デボラ数が大きいほどレーリー不安定性が抑制されるためビーズが発生しないことを明らかにしている。</p>			
<p>第3章では、ゼロせん断粘度が同じで分子量が異なる試料を用いて緩和時間の影響について詳しく調査を行っている。分子量が高いほど、デボラ数が高く、ジェット直線領域終端の粘度が上昇しビーズを抑制できることを明らかにしている。</p>			
<p>第4章では、ビーズの発生する低分子の試料と、ビーズの発生しない高分子の試料をブレンドし、高分子量ブレンドがビーズ発生に及ぼす影響について調査を行っている。このとき、デボラ数はほとんど変わらないが、ジェット終端の粘度は高分子量成分の添加量が多い試料ほど高く、ビーズが発生しないことを報告している。また、ビーズが発生する試料では放電が発生することを示唆している。</p>			
<p>第5章では、電圧を変化させ、放電の発生する領域と発生しない領域にわけ、放電が発生するとビーズが発生し、放電が発生しない領域ではビーズが発生しないことを報告している。</p>			
<p>第6章では、紡糸中の放電がどのように発生するかを詳細に検討し、放電が発生する系ではジェットの切断によってビーズが形成することを明らかにしている。</p>			
<p>第7章では、総括としてデボラ数と放電、ジェット終端の粘度がビーズ発生に及ぼす影響についてまとめている。</p>			
<p>本研究で得られた成果は、本人が成形加工学会や繊維学会をはじめとする国内の学会19件、国際学会8件の研究発表、および学術雑誌には国外で2報（英文2報）掲載されており、成果の発表も十分行われていると判断される。以上の通り、審査委員一同は本学の規定に従い、本論文は学術的、工学的に価値がある知見を多く含んでおり、学位論文の価値を有するものと判断し、合格であると判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>本学の規定に従い、口頭により本論文とそれに関連する分野に対して最終試験を行なった。本学位申請者は基礎的学力を有しており、未解決の課題に対しても独創的観点から実験を計画、実行し、学術的に考察することができる能力も有すると審査員一同が認めた。よって博士（工学）の学位授与に関する最終試験に合格であると判定した。</p>			