

塗布工程における粘塑性体の流動に関する流体力学的研究

長 島 正 幸*

A Study of Flow Behavior in a Slot Die using Viscoplastic Fluids based on Fluid Dynamics

by Masayuki NAGASHIMA

本論文は、押出し金型塗布において、塗布する流体が粘塑性体である場合の金型内部の流動解析について行った研究結果をまとめたものである。

第1章 序論

本章では、本研究の背景と目的について述べている。均一な厚さの塗布膜を得るのに適した押出し金型塗布方式においては、ニュートン流体を使用する場合、分配室の断面やスリットの間隙が一定な単純形状でも偏差の少ない吐出が得られることが知られている。しかし、近年使用されるようになってきた非ニュートン性を持つ流体、特に間欠塗布等の低速塗布において無視できなくなる降伏応力を持った粘塑性体を塗布する場合は、吐出偏差を抑制するために、内部流路形状を特別に設計する必要がある。この設計にあたっては、実験的手法や3次元数値解析という手段もあるが、コスト的、時間的に負荷がかなり大きい。そこで、本研究においては、降伏応力の顕著な粘塑性体について、降伏応力が生む吐出偏差を0にできる理想的な金型の内部流路の形状を、精度良くかつ効率的に導出できる解析手法を提案する。また、任意の内部形状を持つ金型を用いた場合の吐出偏差を予測する手法も提案する。

第2章 押出し金型におけるビンガム流体の内部流動の解析

本章では、ずり応力と降伏応力の差がずり速度に

比例するビンガム流体の研究結果について述べている。押出し金型内のビンガム流体の流動を、分配室1次元圧力流れとスリットの1次元圧力流れの独立した2つの流れに分離し、圧力と流量を共有パラメータとして連立させることで、理想的な金型内部流路の形状を高速計算できる代数的手法を用いた低次元解析手法を提案した。同時に、吐出偏差に影響を与えるパラメータを抽出し、その特徴についての評価および考察を行った。また、本手法による解析結果と、実際のビンガム流体を用いた実験値結果について比較を行った。その結果、両者には良い一致が見られ、押出し金型の内部流路設計に対する本手法の有効性が確認できた。

第3章 押出し金型におけるハーシェル・バルクレイ流体の内部流動の解析

本章では、ビンガム流体をさらに拡張したハーシェル・バルクレイ流体の研究結果について述べている。シェア・シニング性と降伏応力をともに表現した本モデルは、ビンガム流体モデルのみならず、power-law 流体モデルも包括した汎用性の高い流体モデルであり、実在する塗布液の流動曲線を幅広く表現できる。第2章と同様に、押出し金型内の流動を独立した2つの流れに分離し、共有パラメータを用いて連立させ、これを4次までのTaylor展開を用いた近似手法を利用して代数的に解くことで、理想的な金型内部流路の形状を高速計算できる代数的近

*新潟大学大学院自然科学研究科

現在 大日本印刷株式会社

〔新潟大学博士（工学）平成16年9月授与〕

似解析手法を提案した。本流体モデルについても吐出偏差影響を与えるパラメータを抽出し、その特徴についての評価および考察を行った。また、本手法による解析結果と実際のハーシェル・バルクレイ流体を用いた実験値結果を比較するとともに、過去に行われた power-law 流体モデルに対しての解析手法および第2章で述べている解析手法による計算結果とも比較を行った。その結果、すべてにおいて良い一致が見られ、本手法の有効性が確認できた。

第4章 押出し金型における粘塑性体の流量分配予測

本章では、任意の金型内部形状における粘塑性体の吐出偏差予測に関する研究結果について述べている。第2, 3章において、粘塑性体の吐出偏差を解消できる理想的な内部流路の形状を、精度良くかつ効率的に導出できる解析手法を提案しているが、導出された理想的な形状は一般的には単純な関数で表現することのできない複雑な曲線であるため、実際にこの形状を加工することは容易ではない。この対策として、算出された理想的な形状を比較的加工の容易な直線や単純な曲線で近似して、金型を加工する方法が有効であるが、これにより生じる吐出偏差が、製品が所望する許容範囲内に収まるかを評価する必要がある。そこで、ここでは吐出偏差の評価を目的として、ビンガム流体に対する前報の結果を応

用した、任意のスリット形状における吐出偏差を予測する手法を提案した。

また本手法についても、計算結果と実験値の比較を行い、内部流路流動解析における有効性を確認した。

第5章 結論

本章では、全体を総括するとともに、今後の展望について述べている。これまでに様々な粘性流体モデル (power-law モデル, Ellis モデル, Carreau-Yasuda モデル等) に対する押出し金型の内部流動解析についての研究が報告されてきたが、本研究ではこれを拡張し、降伏応力の影響が無視できない粘塑性体モデル (ビンガム流体モデルおよびハーシェル・バルクレイ流体モデル) を用いた場合の流動解析手法を提案した。本論文に記された3つの解析手法はどれも工業的に十分な精度を持った効率的な手法であることも確認した。今後はさらに拡張した、弾性を考慮した粘弾性流体に対しても適応可能な内部流動の解析手法の研究が望まれる。

本論文作成にあたり、終始ご指導を賜った新潟大学機械システム工学科 (同大学大学院自然科学研究科長) 長谷川富市教授に対し謹んで感謝の意を表します。