

報告番号 ※ 甲 第 1486号

主論文の要旨

題名 流体のスクリー押し出しに関する研究

氏名 岩田政司

主論文の要旨

報告番号

※ 甲 第

号

氏 名

岩 田 政 司

スクリー押し出し機は、熱可塑性樹脂、窯業材料などの成形加工や高粘性流体の輸送において広く利用されており、また最近ではスクリー押し出し機と類似の機構を有するスクリープレスがスラリーの連続圧搾分離に利用され始めている。流体のスクリー押し出し操作については既に数多くの研究が行われており、押し出し流量や押し出し圧力の推定のために種々の解析法が提出されている。しかしながら、その多くはスクリーのねじ山とバレルとの間隙を流れる漏洩流を無視して解析しており、設計上非常に大きな誤差をもたらす場合が多い。漏洩流を考慮したより実際に即した解析法については、ニュートン流体について研究されたCarleyらの数値計算法やべき乗則流体に関する林田の試行計算法がわずかに提出されているのみである。特に、スクリー軸方向に溝深さやピッチが次第に変化するスクリーについては、漏洩流を考慮した簡単な推定法は皆無に等しく、厳密さを失うことなく汎用性のある簡易理論を確立することが必要と考えられる。また、非ニュートン流体のスクリー押し出し理論においてはこれまで主にスクリー溝側壁の影響を無視した一次元的解析が行われているが、非ニュートン流体の粘度が変形速度テンソルの不変量の関数であることを考慮するとニュートン流体以上の側壁効果が予想され、この点に関しても十分な検討を行う必要があると考えられる。

本論文は、流体のスクリー押し出し操作における、より実際に即した解析を行うため、漏洩流およびスクリー溝側壁の影響を考慮して、工業的に重要なニュートン流体、べき乗則流体およびビン

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※ 甲 第

号

氏 名

岩 田 政 司

ガム流体に対するスクリー溝内の流動基礎式を導き、更にこの基礎式に立脚して、一定ピッチ・直線紋リ勾配型および一定溝深さ・減少ピッチ型スクリー押し出し機のスクリー特性、機内圧力分布の簡易推定法を確立し、スクリー押し出し機ヤスクリープレス設計上の指針を与えることを目的としている。

第一章においては、流体のスクリー押し出し操作における既往の研究について、ニュートン流体、べき乗則流体およびビンガム流体の押し出し理論を中心に概説した。スクリー押し出し機を設計する際に必要な知見は、スクリー特性すなわちスクリー出口に種々なダイ抵抗を設けた場合の押し出し流量と押し出し圧力の関係、機内の混合状態ならびに機内の圧力分布である。これらの諸特性値を推定するために、既に、スクリー軸のらせん流路を2平板間の平行流路や矩形断面を有する平行流路で近似して解を求める近似解析法、スクリーのらせん流路を矩形断面を有する円環流路で近似しその軸対称流について3方向の速度成分を考慮した運動方程式を解く数値解析法などが提案されている。これらの研究を総括し、従来の解析法を用いて溝断面の寸法が変化するより一般的なスクリー押し出し機における漏洩流を考慮した押し出し過程の推定を行うには、極めて煩雑な計算を必要とする場合が多いことを述べた。

第二章においては、ニュートン流体のスクリー押し出し過程について漏洩流を考慮した簡易解析法を提案した。押し出し流量は、スクリー溝とバレルとの相対運動によって生ずる牽引流量、スクリー溝に沿って発生する圧力勾配によって生ずる圧力流量および

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※ 甲 第

号

氏 名

岩 田 政 司

スクリーンのねじ山とバレルの間隙を流れる漏洩流量の3者によって定まる。本章では、Carley・McKelveyがスクリー溝を平行平板流路で近似し牽引流量と圧力流量のみを考慮して得た流動基礎式を、漏洩流が牽引流と圧力流のねじ山をよぎる成分によって生ずることを考慮して修正し、スクリー軸方向に溝断面の寸法が変化するスクリー押し出し機にも適用できる流動基礎式を導いた。更に、一定ピッチ・直線紋り勾配型および一定溝深さ・減少ピッチ型スクリー押し出し機を対象として漏洩流およびスクリー溝の側壁の影響も考慮した機内圧力分布式を求め、これをカーブフィッティングによって単純化し実用性を考慮した簡易圧力分布式を提案した。設計計算においてスクリー溝側壁の影響を考慮するため、スクリーのらせん流路を矩形断面を有する円環流路で近似し、3方向の速度成分を考慮してNavier-Stokes式を数値計算することによって平行平板流路の誤差を補正する形状係数を求め、この特性値が溝深さと溝幅の比の一次式として与えられることを示した。理論の妥当性を検討するため、ニュートン流体の実験試料として粘度5.39~113 Pa・sの水アメ水溶液を用い、スクリー回転数、フィード圧力およびダイ抵抗を種々変化させた場合のスクリー押し出し実験を行い、押し出し流量および機内圧力分布を測定した。次に、本章で提出した理論に基づき、押し出し流量および機内圧力分布を推定して実験結果と比較し、本章の簡易理論が一定ピッチ・直線紋り勾配型スクリー、一定溝深さ・減少ピッチ型スクリーによる押し出し過程に比較的精度よく適用できることを示した。

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※甲第

号

氏名

岩 田 政 司

第三章においては、第二章の理論的解析法に立脚して、高分子材料の成形加工において重要なべき乗則流体のスクリュウ押し出し過程について漏洩流を考慮した解析法を求め、その単純化について述べた。平行平板モデルに基づく従来の設計理論では、スクリュウ溝断面内の応力中立面の位置によって適用すべき流動基礎式が異なるため、スクリュウ特性あるいは機内圧力分布の推定に極めて煩雑な計算を必要とした。本章では、平行平板流路で近似したスクリュウ溝断面内の平均見かけ粘度として断面中央の剪断応力に対応した微分粘度を用いるとともに、その微分粘度を用いる誤差を補正する修正係数を定義し、その値を服部、林田の圧力流量の計算式から求めることができることを示し、修正係数を使用すればべき乗則流体においてもニュートン流体の場合と同様にして、一定ピッチ・直線絞り勾配型や一定溝深さ・減少ピッチ型スクリュウの押し出し過程が漏洩流を考慮して簡単に推定できることを明らかにした。更に、これまでほとんど検討がなされていなかったべき乗則流体のスクリュウ押し出しにおけるスクリュウ溝側壁の効果を検討するため、らせん流路を矩形断面を有する円環流路で近似し3方向の速度成分を考慮して運動方程式を数値解析して平行平板モデルを補正する形状係数を求め、側壁効果は流動特性指数 n が小さくなる程大きくなることを明らかにするとともに、溝深さと溝幅の比および流動特性指数 n の関数として形状係数の計算式を与えた。2wt%ポリアクリル酸ナトリウム水溶液、4wt%カルボキシメチルセルロースナトリウム水溶液および朝鮮カオリンと水アメ水溶液の混合試料(カオリンのシ

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※ 甲 第

号

氏 名

岩 田 政 司

量分率 0.25) を実験試料に用い、スクリー回転数、フィード圧力およびダイ抵抗を種々変化させて、流動特性指数 $n = 0.120 \sim 0.876$ 、粘稠度係数 $K = 9.23 \sim 86.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$ の範囲でスクリー押し出し実験を行い、押し出し流量および機内圧力分布を実測した。漏洩流の影響は、ダイ抵抗が大きい程、また流動特性指数 n が小さく非ニュートン性が大きい程顕著となるが、これらの場合においても本章の推定結果は実験結果とよい一致を示すことを明らかにした。

第四章においては、窯業材料やせっけんのような塑性材料の工学的モデルとしてビンガム流体を選び、ニュートン流体およびべき乗則流体の解析法を拡張して、漏洩流およびスクリー溝側壁の影響を考慮した押し出し過程の解析法を提示した。すなわち、スクリー溝を2平板間の平行流路で近似し、スクリー溝内の平均見かけ粘度として断面中央の剪断応力に対応した微分粘度を導入し、平行平板モデルに基づく森・乙竹らの圧力流量の解析解から微分粘度を導入する誤差を補正する修正係数の値を求めて、ニュートン流体およびべき乗則流体のスクリー押し出し過程と同様にして流動基礎式ならびに一定ピッチ・直線紋リ勾配型スクリー、一定溝深さ・減少ピッチ型スクリーに対する機内圧力分布の簡易推定式を導いた。また、塑性材料を対象とした Hill, 吉岡らの最大原理に基づいて、らせん流路を矩形断面を有する直線流路で近似した場合のビンガム流体の牽引流量および圧力流量を計算して、スクリー溝側壁の影響が、ビンガム数 N_B が大きく非ニュートン性が大きくなる程顕著になることを明らかにするとともに、溝深さと溝幅の比およびビンガ

主 論 文 の 要 旨

報告番号

※ 甲 第

号

氏 名

岩 田 政 司

ム数 N_B の関数とした形状係数の計算式を与えた。また理論の検討のために、実験試料として朝鮮カオリンと水アメ水溶液の混合試料（カオリンの重量分率 0.357, 0.444）を用い、塑性粘度 $\mu_p = 8.13 \sim 14.6$ Pa·s, 降伏応力 $\tau_y = 119 \sim 283$ Pa, ビンガム数 $N_B = 1.03 \sim 16.6$ の範囲でスクリー回転数, ダイ抵抗を種々変化させた場合のスクリー押し出し実験を行い, 押し出し流量および機内圧力分布を実測した。漏洩流は, ベキ乗則流体の場合と同様に, ダイ抵抗が大きく出口閉塞状態に近い程, またビンガム数 N_B が大きく非ニュートン性が大きい程押し出し過程に大きな影響を及ぼすが, 本章の推定結果は一定ピッチ・直線絞り勾配型スクリーおよび一定溝深さ・減少ピッチ型スクリー押し出し機を用いた実験結果とよい一致を示すことを明らかにした。

従来のスクリー押し出し理論は, そのほとんどが漏洩流の取り扱いを無視している。また使用する設計式は, 流体の種類, スクリー溝内の応力中立面の位置によって種々異なっているため, 押し出し過程の推定には極めて複雑な計算が必要であった。本論文では, スクリー溝断面中央の剪断応力に対応した微分粘度を断面内の非ニュートン流体の平均見かけ粘度として用い, 微分粘度を導入する誤差を補正する修正係数を定義することによって, ニュートン流体, ベキ乗則流体およびビンガム流体の押し出し過程に共通した流動基礎式と圧力分布式を与えるスクリー押し出し理論を得た。