

1976

外93-2

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

アルミニウム合金の熱間
直接押出しに関する研究

申請者

沖 善成

Yosinari Oki

平成 5 年 5 月

押出加工は、1795年イギリスで水道管用鉛管製作に用いる縦型プレスを発明し特許をとったことが初めてと言われている。日本では、戦後、アルミニウムが民需用に使用できるようになってから、押出性の良好なAl-Mg-Si系6063合金開発もあって、昭和30年代から建築用材料として、窓枠であるサッシのアルミニウム化が始まった。

サッシ主要構成部材のアルミニウム型材を製造する方法である本研究主題のアルミニウム合金熱間直接押出加工法の工業的位置づけを、国内アルミニウム消費量の点から見ると、1991年度の国内アルミニウム全消費量は約380万トンで、押出材は約120万トンで、この内約95万トンが、本研究対象のAl-Mg-Si系6063合金である。サッシなど建築用材料として、約85万トンが熱間直接押出加工法で用いられており、アルミニウム材料の中で一加工法としては最大級の分野である。

この分野は、使用量が多いにも関わらずアルミニウムという比較的加工性の良い材料を対象としているので、技術的解析研究より主に現場改善の積み上げとして経験則で対応されてきた。その経験則の多くは、押出しダイスを修正して、試行錯誤的に対応したものである。その結果、基本的な課題でも技術的には未解決のものがあつた。ダイスは、押出工程において最も重要なもので、品質、生産性をともに決定すると言っても過言ではない。しかし、この10年間、多品種少量短納期生産の必要性が高まり、押出型材の肉厚も薄く外形寸法も大きくなり、単に経験則だけでは対応出来なくなった。その結果、解析的研究による本質的解決が重要になってきた。

本研究は、アルミニウム合金熱間直接押出加工法の実操業における問題を押出加工の順に取り上げ、特に押出生産性に最重要な押出しダイスを中心に研究している。従来は、押出諸特性は観念的にダイスが原因とされ、ダイスの形状を変更して対策を採ろうとしてきたが、これらの問題を、従来、着目されることの少なかった初期挙動についてピレット初期加熱問題、押出し前のピレット初期圧縮時メタルフローのメカニズムを明らかにして解決を図っている。そして、最も重要といわれながら経験的にしか評価されなかったダイスの押出生産性を、ダイス設計段階での数値的評価を可能とする計算方法を開発するとともに、ダイス製法として鑄造法を使った信頼性の高い製法を開発し、さらに、これを使って高押出生産性と高信頼性の半球状耐圧構造ダイスを開発することを目的としている。

従来の研究では、ピレットをコンテナに装填し圧縮充填する初期圧縮時のピレット表皮のメタルフローに触れたものはない。ピレット加熱についても、誘導加熱の特性やピレット温度分布の解析に関する報告は、実操業に使用されている形態の炉に応用できるものは少ない。押出圧力計算についても、異形中空型材を押出す場合によく用いられているポートホールダイス構造の違いを考慮にいれたものはない。コスト面で大きな比率を占めるホローダイスについて、コスト低減、製作期間短縮の点から新製法を示したものは少ない。アルミニウムの熱間押出しに必要な、材質特性や押出し特性を考慮したダイスの設計、開発に関するものは少ない。

本論文は、全7章で構成されており、以下に、各章の概要を順を追って述べる。

第1章は、序論として、押出加工法の発祥と各種押出加工法の特徴を述べている。従来の研究については、押出しのメタルフロー、ピレットの誘導加熱による温度分布、押出圧力計算法、ダイスに関するものについて述べている。そして、本研究を行った動機と意義について論じた後、本研究の目的についてまとめている。

第2章では、押出しの前の誘導加熱によるピレット温度分布が押出しに及ぼす影響について述べる。ピレット加熱の温度分布は、押出しの安定性やピレット表皮の巻き込み等の不良発生に大きく影響する。押出し現場では、径方向の温度分布不均一や、テーパヒートによる温度分布が変動するという問題がある。特に太径ピレットほど加熱毎のテーパヒートによる温度分布状態が不安定になり易い。従来から誘導加熱の特性やピレット温度分布の解析に関する報告はあつたが、工場の休日明けにピレットを常温から加熱開始する時の問題や、特に太径ピレットでの問題を扱ったものは無い。本章では、実際の押出し現場で多く使用されている3ゾーンタイプの誘導加熱炉で、2本のピレットを同時に予熱及び本加熱する直列型誘導加熱装置を対象としている。2本のピレット断面を格子状に切った各点で熱エネルギーバランスを考え、二分法による数値計算で各点の近似値を求める解析プログラムを開発して、ピレット断面の温度分布やその経時変化を解析検討している。

第3章は、ピレット後端の材料表皮の変形について論じている。直接押出しにおいてピレット表皮は、押出し中にコンテナとピレットの摩擦により、ディスクカード中に堆積すると言われてきた。しかし、ピレットはコンテナに入れた後、押出す前にコンテナとの隙間を埋めるために圧縮され、空気を抜くために一度ステムを少し後退させ改めて押出しされる。実験室規模の押出しでは、この初期圧縮について考慮せずピレット表皮の巻き込みを論じているが、本章では、ピレット表皮は、すでに初期圧縮の段階でピレット後端部に巻き込まれていることを明らかにしている。押出し後ディスクカード断面を見ると、この巻き込みは、パイピング現象のように見えるが、初期圧縮終了後のピレットを取り出し、その断面を観察すると巻き込みはすでにピレット後端部に発生している。従来、ダイス形状を変更して問題が偶然軽減されることもあつたが、本研究で初めて現象のメカニズムを明らかにして本質的問題解決を図り、従来の経験的ダイス設計制約条件を取り除くことが可能となった。

第4章は、ダイス設計段階で押出性評価を可能とした押出圧力計算プログラムについて述べている。従来の押出圧力計算式には、実際の押出しダイス構造を考慮したものは少なく、軸対称で押出最高圧力を求めたものが多い。材料を押出すに伴い、押出速度変化や機械的エネルギーによる発熱や、コンテナとの熱伝導によるピレット温度の変化を考慮したものは少ない。本プログラムは、ダイス構造や押出条件を考慮し、逐次計算によって押出し中の機械的エネルギーを変形発熱に換算して、メタルの温度上昇による変形抵抗、摩擦抵抗の変化を考慮している。ダイス設計要素は、

ポートホールダイスの外接円直径，面積，周長，ブリッジ高さ及びベアリングの面積，周長等，そして，ソリッドダイスのフローガイド面積，周長，厚さ及びベアリング面積，周長等を含んでいる．押出条件は，押出速度，ピレットの直径，長さ，加熱温度，テーパヒート状態，コンテナ径，加熱温度及びダイス加熱温度等である．さらに，実際の大型薄肉形材押出し用ダイス設計へ適用し，ダイスの押出性評価を，最高押出圧力負荷時の初期押出速度に着目して，ダイス設計段階で数値計算を可能にし，従来の押出製造範囲を拡大した大型薄肉形材製造事例について述べている．

第5章は，中空形材用ダイスについて多品種少量短納期生産に対応すべく，ダイスの製作時間短縮を可能とした高信頼性の鑄造によるニアネットシェイプブロック製法について述べている．鍛造品でも金属組織を観察すると中心部には鑄造組織部分が残っている．太径の鍛造材では，中心部まで鍛錬効果が利かない為である．そこで，鑄造組織でも，一個のダイス毎に高品質な鑄造をすれば使用に耐えるものがあると考えた．一個のダイス全体を一様な材質にするより，押出し中の応力分布に応じた必要強度を有するものにすれば良いと考え，FEM解析で応力分布を求めた．亀裂により破損することが多い引張応力の高い部分の凝固速度を上げれば鑄造品質も上がると考え，凝固熱解析を用い応力分布で最も引張応力の高い部分の凝固速度を変えるチラー位置を得て試作した．その結果，押出し時に最大引張応力発生部の温度勾配が3K/mm以上であれば使用に耐えることが明らかになった．

第6章は，押出生産性を極限まで高めるべく，メタルフロ抵抗を小さくする新形状ダイスを研究考案した．このダイスはコア部重量が従来のポートホールダイスコアに比べ約10分の1になり，最近のダイス大型化に伴い，従来形状では300kgを越すものが30kg程度になり，取り扱う際にも非常に有利なものである．この半球状ダイスと呼ぶものは，マンドレル付け根とブリッジの交差部の応力状態が圧縮側に移行され，引張応力を緩和しダイス寿命を決定する要因の一つであるき裂発生と進展を抑制する効果がある．これによってコアの大幅軽量化が可能となり材料費節減と取り扱い性も向上した．有限要素法でポートホールダイスと半球状ダイスを静的強度解析し，応力分布に基づいて半球状ダイスを設計・製作し，ダイス重量と押出結果をポートホールダイスと比較検討した．半球状ダイスを鍛造材より切削加工すると，加工歩留りが低く加工時間も長いため，先の鑄造ダイス法を使ってニアネットシェイプブロックを製作し切削仕上げ加工した．鍛造材から切削加工する場合より，加工時間が50%短縮し加工歩留りが2.6倍向上した．

第7章は，各章の結論をまとめて総括とし，押出し加工法の将来への展望として，超ジュラルミン等の押出生産性向上や，押出し能力を最大限に発揮させる新しい付帯設備について述べている．

最後に付録として，ダイス寿命を決定するダイス製作コストと押出材料歩留りのバランスを計算する方法についても述べている．