

アルミニウム熱間後方押し材の流れに関する研究

著者	池田 千里
号	495
発行年	1980
URL	http://hdl.handle.net/10097/11444

氏 名	いけ だ せん り 池 田 千 里
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 55 年 7 月 2 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 45 年 3 月 東北大学大学院工学研究科金属工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	アルミニウム熱間後方押し材の流れに関する研究
論文審査委員	東北大学教授 田中英八郎 東北大学教授 高橋 裕男 東北大学教授 和泉 修 東北大学助教授 志村 宗昭 東北大学助教授 池田 圭介

論 文 内 容 要 旨

第一章 緒 論

押し加工は三軸の圧縮応力下での変形であるため、一回の工程で複雑な形状断面の棒材が仕上り良く得られること、断面形状を簡単に換えられること、などの利点を有しており、熱間・冷間共に広く利用されている加工法の一つである。しかし一工程で大変形を与えることは、工程の簡素化にとって有利である反面、付加的せん断変形量も大きく、材料各部での変形が不均一になることは避けられない。特に鑄塊の分塊も兼ねて一工程で最終形状まで変形させる熱間押し加工では変形の不均一度が高く、それだけに種々の欠陥も生じ易い。

現在、熱間押しのはほとんどは前方押し法によって行なわれており、ガラス潤滑を用いる鉄鋼あるいは高融点金属を除くと、デッド・ゾーンの形成があり、デッド・ゾーン界面におけるせん断変形がさらに不均一な変形を助長すると言われている。押し加工にはもう一つ後方押し法があり、ピレット・コンテナ間に摩擦力が存在しない分かなりの変形力が軽減されること、デッド・ゾーンが形成されにくい、などの特徴がある。それにも拘らず従来から前方押しが採用されてきたのは、後方押しの上原理上、押し製品の長さに制限があること、連続操業の効率の点で劣るためである。しかし近年、後方押し法の利点が見直されるようになり、押し装置の改良も急速に進み、実用化の段階に到達しつつある。

押し出し加工における流れは、各種欠陥の発生と密接に関係するので、多くの人々によって研究されている。しかしどちらかと言えば定性的な解析が多く、定量的な解析は押し出し比が小さくかつ潤滑条件が良好な場合に限定されているのも、一つには押し出し加工での大きなせん断変形に追従して変位を測定する、有効な手段が欠けていたためである。それでも前方押し出しに関しては、過去の永い経験と研究の蓄積により、未知の問題を残しながらも流れの特徴的様相と欠陥発生の因果関係および幾つかの欠陥防止の対策は把握されている。しかるに後方押し出しは、新しい加工法とも言えるので、流れに関する知見については未だ浅薄な段階と言ってよい。工具面摩擦は変形時の流れを左右する主要因子の一つであるが、後方押し出しの流れに及ぼすダイス面摩擦の影響すら言及されたことがないという状況からも、後方押し出しの流れに関する研究が欠如していることが理解されるであろう。流れの問題は後方押し出しの実用化にとって一つのネックになっているとも言える。

以上の観点から、本研究では押し出し加工が重要な地位を占めるアルミニウムを例にとり、熱間後方押し出しを試み、押し出し材の組織、流れを金属組織学的立場から検討すると同時に、塑性加工学からのアプローチにより、後方押し出しにおける変形を全体的に把握することを目的とした。本研究は全編6章から成り、以下第2章以後を順を追って説明する。

第2章 アルミニウム熱間押し出し材の組織

付加的せん断変形と呼ばれるものには二つの形態がある。一つは変形域内での変位速度の差によって生ずるせん断変形であり、変形後格子線のゆがみとしてその大きさを知ることができる。他の一つは変形域への流入・流出時に変位方向が変えられることに伴うせん断変形であるが、流入・流出時でせん断方向が逆向きのため、見掛け上は現われてこない。付加的せん断変形は材料内に不均一なひずみ分布をもたらし、種々の欠陥発生の原因となる。たとえば、アルミニウム合金熱間押し出し材の表面層に粗大再結晶粒が出現し易いことは古くから知られており、その原因の一つとして、表面層での著しく大きなひずみあるいはひずみ勾配が考えられてきている。

以上のことを鑑み、本章では後方押し出しにおける流れの特性を究明する端緒として押し出し材を金属組織学的立場から検討し、更に押し出し材表面粗大粒組織と押し出し条件との関係について検討を加えた。

熱間後方押し出ししたアルミニウムの組織は、冷間押し出し材の組織に類似して加工方向に沿った繊維状組織を形成し、また押し出し温度、速度、加工率の増加につれて表面近傍に粗大再結晶粒を発生するようになること、その層の厚さはそれらの因子に依存して増大することが示された。繊維状伸長粒の径は中心部から外周部に向うにつれて減少する点でも冷間押し出し組織と同様であるが、温度依存性があることから必ずしもひずみ分布によって一義的に左右されるわけではないことを示している。この繊維状組織を詳細に観察すると、個々の繊維の中に等方性亜結晶粒からなる下部組織が認められ、ポリゴン化粒界であることが観察されることから、繊維状伸長粒径は冷間押し出し材と異なり、ひずみ分布に対応するよりは、主としてひずみ速度分布に対応している動的回復組織であると同一視された。

前方押しでは良く知られている表面粗大再結晶粒組織が、後方押しであっても依然観察されることが示されたが、更に、同一条件下で前方押しした場合の組織と比較を行なった結果、従来からの予測に反して、デッド・ゾーンの発生しない後方押し材の方がむしろ表面粗大粒組織の層の幅が大きいことが示された。実験結果のいずれもが表面粗大再結晶粒組織が変形直後の静的再結晶によることを示しており、変形中の表面のひずみによる発熱のための温度上昇による再結晶化の可能性が考えられる。しかし温度上昇はきわめて僅かであり、かつ明瞭な依存関係は認められず、表面粗大粒組織形成には変形中の温度上昇が主たる因子となる可能性は薄いことが示された。

先述のポリゴン化組織形成との関連も含めて、ひずみ分布、ひずみ速度分布などの押し変形の動力学的詳細に渡る定量的な解析が表面粗大再結晶粒発生の機構を究明する上で必要であることが実験結果から示唆された。

第3章 後方押しにおける変位分布

塑性加工時の変位分布測定には格子線法が最も一般的に用いられているが、押し流れの定量的な解析を行なうには、工具やデッド・ゾーン界面でのせん断変形にも追従できる変位実測の手段を得ることが不可欠である。これまで押し加工での変位分布の定量的測定が、潤滑良好でかつ低押し比に限られていたのも、実測のための適切なマーカーが得られなかったためである。

そこではじめに格子溝中に各種マーカー用材料を充てんした押し試験を行ない、純金線を圧着させて埋込んだマーカーが変形域や表面近傍での著しいせん断変形にも良く追従して伸び、変位分布を精度良く得る手段を見出した。前方押しにおけるデッド・ゾーン界面での大きなせん断変形にもよく追従するマーカーは他に例を見ない。

この金線圧着法により、平面ダイスでの押しにおける変位分布の定量的測定を行なった。潤滑良好なダイスによる前・後方押しでは、変形域はダイス面直下まで拡がるが、摩擦が小さいにも拘らずダイス面直下での変位速度はきわめて遅いこと、ダイス面直下での変位速度を押し速度で割った値はどの押し速度でも同一となり、速度場のひずみ速度依存性はないことが判明した。

一方無潤滑後方押しの場合、ダイス面直下では必ずしも有限の変位速度を有しない。すなわち粒子の流れは外周近傍からダイス・コンテナ隅まで到達した後、ダイス出口にかけて円弧に沿って侵入して流れ、ダイス面直下に円弧状の滞留領域が存在することが確認された。

無潤滑前方押しでは、よく知られているように、ダイス・コンテナ隅にくさび状のデッド・メタルが形成されるが、実質のダイス角度がその分だけ減少するので、デッド・ゾーン界面に沿う変位速度は必ずしも小さくはない。半径方向線の変形後のゆがみの測定から、中心部に対する表面での変位の遅れが、前・後方押しで大きな差異はない、という結果が得られた。

第4章 上界接近法に基づく後方押しの解析

前章での後方押し流れの実測結果に基づき、流れの特徴を良く反映させた後方押しの動的

許容速度場を提案し、変形の理論解析を行なった。簡潔な解析法にしては変位分布は実験結果と良く一致する傾向を示し、またひずみ分布も、限られた条件での結果しか比較できなかったが、優れた対応が得られた。後方押しの変形の特徴に関して得られた結果をまとめると、ダイス半角 70° 以上では中心から $0.8 \sim 1.0 r$ (r は押し棒半径)の領域でひずみが急激に増大する、前方押しでの工具面摩擦は全体の流れの様子を変化させるが、後方押しでの工具面摩擦は中心層のひずみには大きな差異をもたらさず、表面近傍($0.8 r$ 以上)でのひずみを急激に増大させる、などが挙げられる。

無潤滑平面ダイスによる後方押しにおいて、滞留領域が観察されるが、上界接近法に基づく解析から、デッド・ゾーン形成角度と押し比の関係について検討した。潤滑良好な状態では、押し比 $9 \sim 10$ 以上であれば全くデッド・ゾーンが形成されない、という結果が得られ、また無潤滑でも押し比 10 以上ではわずかに数度角のデッド・ゾーンしか存在しない解が得られた。しかし実験結果では潤滑良好な場合、押し比 $3 \sim 7.5$ でもデッド・ゾーンは形成されておらず、上界接近法に含まれていない別の観点からの検討を行なった。すなわち、デッド・ゾーンが剛体として存在し得る臨界条件を導入して検討した結果、実験事実と良く一致する傾向にあることが確かめられた。

円弧状の滞留領域の形成過程については、前方押しのような三角形の楔型デッド・ゾーン領域がコンテナ壁に向って拡がっていることは、無潤滑の後方押しでは摩擦仕事量の増大を招くことになるので、コンテナ壁上では縮小する傾向となり、円弧状を呈するものと考えられる。

第5章 後方押しの流れと組織に及ぼすデッド・ゾーンとダイス角の影響について

前章の解析からダイス角に対応したひずみあるいはひずみ速度分布を予測することが可能になったのみならず、強制的にデッド・ゾーンを形成させることによって、実効ダイス角度を 90° 以下にできる条件も導かれている。

以上の予測をふまえて、アルミニウム後方押しの流れと組織に対するダイス角依存性、デッド・ゾーンの形成とその影響について検討することによって、押し材表面粗大粒形成機構を考察することが本章の目的である。

潤滑良好な後方押しの場合、 100° 以上のダイス角でデッド・ゾーンが観察され、 120° ダイスでは $65 \sim 70^\circ$ のデッド・ゾーンが明瞭に形成された。表面粗大粒層の深さは 90° の場合を最大として、 60° へと減少、 120° へと増加するにしたがっていずれも減少する傾向にあった。特に 120° ダイスの場合、デッド・ゾーンが形成されているにも拘らず、 60° ダイスの押し材と同程度まで減少している。この結果はデッド・ゾーンの界面のせん断変形は粗大粒形成にはほとんど影響を与えておらず、実効ダイス角が主要な因子であるという予測を裏付けるものである。

ひずみ分布の計算からは、表面近傍の過大なひずみ量が主因となって表面粗大再結晶粒が生じるとする従来の考え方には無理があることが重ねて裏付けられた。

変形域でのひずみ速度分布を算定し、押し材表面近傍でのひずみ速度を中心のそれとの割合

で押し条件別に比較したところ、実験による粗大粒組織形成の結果とは依存関係は見られなかった。

アルミニウムの熱間押し組織がポリゴン化組織であること、表面粗大再結晶粒が変形直後の静的再結晶による、という二つの事実は、押し材表面層が変形中動的回復を抑制されていたことを意味する。動的回復はひずみ速度に密接に関係する過程であるから、押し工程において、コンテナ、ダイス付近の流線に沿っての大きなひずみ速度勾配が表面粗大再結晶粒発生の主因であると見なされた。簡潔なモデルを考え、流線に沿って変位する過程において動的回復の抑制が起り得るか否かを検討し、実験結果との一致した傾向が見られた。変形経路に沿うひずみ速度勾配、すなわちひずみの加速度が高温変形組織に影響するということは新たな知見である。

第 6 章 総 括

以上に述べた本研究における主要な結果を要約した。

審査結果の要旨

アルミニウムおよびその合金の熱間押し加工は、大半が前方押し法によるが、近年省エネルギーの立場から後方押し法が注目されるようになり、押し技術の面では多くの改善努力がはらわれている。しかるに後方押しの変形過程に関しては、これまで系統的に検討されたことがなく、金属工学の立場からの基礎的知見の積み重ねが急がれている。

本論文は、アルミニウムの熱間後方押しにおける流れの特徴を、前方押しと対比しつつ、明らかにし、熱間押し組織との関連を詳細に検討した結果をまとめたもので、全編6章からなる。

第1章は序論であり、本研究を行うに至った経緯、目的および研究の意義について述べている。

第2章はアルミニウム熱間押し材を金属組織学的に検討した結果について述べている。熱間押し材に観察されるせん維状組織は動的回復組織であること、アルミニウム熱間押し材の重大欠陥の1つである表面粗大再結晶粒は、従来からの予測に反し、前方押しより後方押しにおいて顕著に現われることを示す結果を得た。

第3章は押し変形における流れを測定する手段と測定結果について述べたものである。大変形に対しても十分追隨して変位を細部まで測定可能にする方法を考案し、前方、後方押しにおける流れの差異を明らかにした。また摩擦の影響についても検討を行っている。

第4章では、前章の結果に基づき、後方押しの流れの特徴を良く反映させた動的許容速度場を提案し、変形の解析を行った結果について述べている。後方押し材の歪分布は前方押し材に比して均一ではなく、むしろ実質ダイス角度が大きい分だけ不均一になること、後方押しで形成されるデッド・ゾーンはピレット表皮の巻込みを生じ易くすることを示す有用な知見を得ている。

第5章では、熱間後方押し組織に及ぼすダイス角の影響について検討し、アルミニウム熱間押し材に出現する表面粗大再結晶粒の成因は、従来言われているデッド・ゾーン界面での過大なせん断変形ではないことを実証する結果を得ている。本章までの結果から、表面粗大再結晶粒の発生機構を改めて考察し、アルミニウムは、高温変形において、動的回復を起こすことと、ダイス孔近傍に大きな歪速度の勾配があることの結果として生ずるものであるとの結論に到達している。

第6章は総括である。

以上要するに、本論文はアルミニウムの熱間後方押しの流れと金属組織に及ぼす影響について詳細な検討を加え、熱間後方押しの実用化に際しての多くの重要な基礎的知見を提供したものであり、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。